RENAN DE PAULA MACIEL

MAXIMIZAÇÃO DA POTÊNCIA CARACTERÍSTICA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO USANDO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR

CAMPINAS
2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

RENAN DE PAULA MACIEL

MAXIMIZAÇÃO DA POTÊNCIA CARACTERÍSTICA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO USANDO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR

VOLUME I

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, na área de Energia Elétrica.

Orientador: Prof.ª Dr.ª Maria Cristina Dias Tavares

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO RENAN DE PAULA MACIEL, E ORIENTADA PELA PROF.A DR.A MARIA CRISTINA DIAS TAVARES

_____

CAMPINAS
2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

M187m

Maciel, Renan de Paula, 1984-
Maximização da potência característica de linhas de transmissão usando método de otimização não linear / Renan de Paula Maciel. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Maria Cristina Dias Tavares.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Energia elétrica - Transmissão. 2. Linhas de transmissão. 3. Otimização. 4. Método do gradiente projetado. I. Tavares, Maria Cristina Dias,1962-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Maximization of transmission line surge impedance loading by using non linear optimization method
Palavras-chave em inglês:
Electric power - Transmission
Transmission lines
Optimization
Projected gradient method
Área de concentração: Energia Elétrica
Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica
Banca examinadora:
Maria Cristina Dias Tavares [Orientador]
João Clavio Salari
Ernesto Ruppert Filho
Data de defesa: 11-03-2013
Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidato: Renan de Paula Maciel

Data da Defesa: 11 de março de 2013

Título da Tese: "Maximização da Potência Característica de Linhas de Transmissão Usando Método de Otimização Não Linear"

Profa. Dra. Maria Cristina Dias Tavares (Presidente): _____

Dr. João Clavio Salari: _____

Prof. Dr. Ernesto Ruppert Filho: _____

RESUMO

Neste trabalho é proposto um método de otimização para maximizar a potência característica de linhas de transmissão constituída por condutores em feixe. O método iterativo, baseado na minimização pelo gradiente, altera, a cada passo, a posição dos condutores dada na silhueta da torre construindo uma nova configuração dos feixes. Tal configuração corresponde a uma modificação da geometria dos feixes deslocando os condutores na direção que leva à máxima redução da função objetivo. São avaliadas a redução da impedância característica e a otimização do campo elétrico superficial dos condutores. A primeira busca o aumento da potência característica atuando diretamente no caminho de máxima redução da impedância característica. A segunda atua na uniformização do campo elétrico superficial dos condutores, cujo valor limite representa a principal restrição eletromagnética frente à elevação da potência característica no projeto de linhas de transmissão. A última se mostrou mais eficaz quando se permite a expansão dos feixes até que o campo elétrico superficial atinja o seu valor limite, resultando em linhas otimizadas com maior potência característica, porém, levando a feixes com dimensões mais elevadas.

Palavras-chave: Energia elétrica - Tansmissão. Linhas de Transmissão. Otimização. Método do gradiente projetado.

ABSTRACT

This work presents an optimization method aiming to maximize the surge impedance loading of bundled transmission lines. The iterative method, based on gradient optimization, changes, on each step, the conductors' position generating a new bundle configuration. Such configuration matches a change on bundles geometry by shifting conductors on the direction that leads to the maximum reduction of the objective function. Both the reduction of natural impedance and the optimization of conductor's superficial electric field are evaluated. The former seeks the increase of surge impedance loading actuating directly on the maximal surge impedance reduction path. The second acts on the uniformization of conductor's superficial electric field, whose upper bound is the main electromagnetic restriction on the surge impedance loading increase when designing transmission lines. The last one was most effective when bundle's expansion is allowed until superficial electric field reaches its limit, resulting in greatest natural power transmission lines, yet, leading to most expanded bundles.

Keywords: Electric power - Transmission. Transmission lines. Optimization. Projected gradient method.

SUMÁRIO

VOLUME I

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 1
1.1 - MOTIVAÇÃO 1
1.2 - INTRODUÇÃO AOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS 2
1.3 - ESTRUTURA DO TRABALHO 5
1.4 - PUBLICAÇÕES 7
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8
2.1 - BREVE HISTÓRICO DO ESTUDO E DA APLICAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM CONDUTORES EM FEIXE 8
2.2 - BREVE DESCRIÇÃO DE TRABALHOS RELACIONADOS POR TEMA 9
2.3 - DOS CONDUTORES EM FEIXE 10
2.4 - DO CAMPO ELÉTRICO EM VÃOS 11
2.5 - DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL 12
2.5.1 - Dos Objetivos 12
2.5.2 - Da Abordagem 13
2.5.3 - Detalhamento 13
2.6 - DAS PROPOSTAS DE LINHA DE TRANSMISSÃO 14
CAPÍTULO 3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 16
3.1 - INTRODUÇÃO 16
3.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS LONGITUDINAIS 16
3.3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS TRANSVERSAIS 17
3.4 - PARÂMETROS ELÉTRICOS EM COMPONENTES SIMÉTRICAS 18
3.5 - ANÁLISE NUMÉRICA DA PARTICIPAÇÃO DAS COMPONENTES DA IMPEDÂNCIA LONGITUDINAL DE SEQUÊNCIA POSITIVA 20
3.6 - POTÊNCIA CARACTERÍSTICA 24
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA IMPEDÂNCIA LONGITUDINAL DE SEQUÊNCIA POSITIVA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 28
4.1 - INTRODUÇÃO 28
4.2 - FORMA RECURSIVA DA REDUÇÃO DE KRON 28
4.3 - EXPANSÃO DA DERIVADA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 29

4.4 - DERIVADA DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS CONDICIONADA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 32
CAPÍTULO 5 - PRINCÍPIOS DE OTIMIZAÇÃO NÃO-LINEAR 39
5.1 - INTRODUÇÃO 39
5.2 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO IRRESTRITA 39
5.3 - PRINCÍPIOS GERAIS DE RESOLUÇÃO 40
5.4 - MÉTODO DAS APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS OU MÉTODO DO GRADIENTE 40
5.5 - PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO COM RESTRIÇÕES DE DESIGUALDADE E O MÉTODO DO GRADIENTE PROJETADO 41
5.6 - TRANSFORMAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA FEIXES SIMÉTRICOS 44
5.7 - APLICABILIDADE DO MÉTODO DO GRADIENTE À OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 45
CAPÍTULO 6 - MINIMIZAÇÃO DA REATÂNCIA EXTERNA 47
6.1 - PRINCÍPIOS BÁSICOS E METODOLOGIA 47
6.2 - OBJETIVO E PROCEDIMENTO 49
6.3 - PROGRAMA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO 51
6.3.1 - Estrutura do programa 51
6.4 - CONJUNTO DE CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS NA INICIALIZAÇÃO DO PROCESSO 56
6.5 - RESULTADOS OBTIDOS 60
6.5.1 - Caracterização das configurações otimizadas 61
6.5.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 62
6.5.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 75
6.5.2 - Análise da evolução de casos representativos 102
6.5.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 103
6.5.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 130
6.5.3 - Análise consolidada dos resultados 164
6.5.3.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 164
6.5.3.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 185
CAPÍTULO 7 - CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL E O EFEITO COROA 205
7.1 - INTRODUÇÃO 205
7.2 - CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL MÉDIO 208
7.3 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL 208

7.4 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM FEIXES COM DISPOSIÇÃO REGULAR DE CONDUTORES 210
7.5 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM FEIXES COM DISPOSIÇÃO QUALQUER DE CONDUTORES 215
7.6 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DAS OUTRAS FASES 220
7.7 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM CADA UMA DAS FASES 229
7.8 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL PARA TODA A LINHA 231
7.9 - EXPRESSÃO APROXIMADA DA POTÊNCIA CARACTERÍSTICA 232
CAPÍTULO 8 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 234
8.1 - INTRODUÇÃO 234
8.2 - SENSIBILIDADE DA IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 234
8.3 - DERIVADA DA MATRIZ DE CAPACITÂNCIAS EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 243
8.4 - DERIVADA DO FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS 245
CAPÍTULO 9 - MINIMIZAÇÃO DO FATOR DE IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL 248
9.1 - PRINCÍPIOS BÁSICOS E METODOLOGIA 248
9.2 - RESULTADOS OBTIDOS 249
9.2.1 - Caracterização das configurações otimizadas 249
9.2.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 250
9.2.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 263
9.2.2 - Análise da evolução de casos representativos 290
9.2.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 290
9.2.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 314
9.2.3 - Análise consolidada dos resultados 345
9.2.3.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 345
9.2.3.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 365
CAPÍTULO 10 - CONCLUSÕES 384
10.1 - TRABALHOS FUTUROS 387
REFERÊNCIAS 388
APÊNDICES 393

APÊNDICE A – CÁLCULO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 394
A.1 - INTRODUÇÃO 394
A.2 - IMPEDÂNCIA INTERNA 395
A.3 - REATÂNCIA EXTERNA 401
A.4 - REATÂNCIA EXTERNA MÚTUA 405
A.5 - IMPEDÂNCIA DEVIDO AO EFEITO DO SOLO REAL 407
A.6 - ADMITÂNCIA TRANSVERSAL 411
A.7 - ADMITÂNCIA TRANSVERSAL MÚTUA 416
APÊNDICE B - CÁLCULO MATRICIAL DE PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHA DE TRANSMISSÃO COM CONDUTORES EM FEIXE 419
B.1 - INTRODUÇÃO 419
B.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS LONGITUDINAIS NA FORMA MATRICIAL 419
B.3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS TRANSVERSAIS NA FORMA MATRICIAL 420
B.4 - REDUÇÃO DOS PARÂMETROS DE LINHA DE TRANSMISSÃO A UM ELEMENTO TRIFÁSICO 422
B.5 - CONDICIONAMENTO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS 423
B.5.1 - Aplicação da condição de contorno das tensões 423
B.5.2 - Aplicação da condição de contorno das correntes 425
B.6 - REDUÇÃO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS CONDICIONADA 427
B.7 - CONSIDERAÇÃO SOBRE OS CABOS PÁRA-RAIOS NA REDUÇÃO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS 428
B.7.1 - Cabos pára-raios continuamente aterrados 428
B.7.2 - Cabos pára-raios isolados 428
B.8 - REDUÇÃO DA MATRIZ DE ADMITÂNCIAS TRANSVERSAIS 429
B.9 - CONSIDERAÇÃO SOBRE OS CABOS PÁRA-RAIOS NA REDUÇÃO DA MATRIZ DE ADMITÂNCIAS TRANSVERSAIS 431
B.9.1 - Cabos pára-raios continuamente aterrados 431
B.9.2 - Cabos pára-raios isolados 432
B.10 - TRANSPOSIÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 432
APÊNDICE C - PARÂMETROS ELÉTRICOS EM MODOS DE COMPONENTES SIMÉTRICAS 435
C.1 - MODOS DE COMPONENTES SIMÉTRICAS 435
C.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS DISTRIBUÍDOS 441

APÊNDICE D – CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO PRÓXIMO AO SOLO 449
APÊNDICE E - CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO PRÓXIMO AO SOLO..... 452
APÊNDICE F - CÁLCULO DO VALOR MÁXIMO DE UM VETOR BIDIMENSIONAL 455
APÊNDICE G - CÁLCULO DAS CORRENTES NOS SUBCONDUTORES..... 456

VOLUME II

APÊNDICE H – RESULTADOS DA MINIMIZAÇÃO DA REATÂNCIA EXTERNA 1
H.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES OTIMIZADAS 1
H.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical..... 1
H.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 22
H.2 - EVOLUÇÃO DE CASOS REPRESENTATIVOS 59
H.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical..... 59
H.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 132
APÊNDICE I – RESULTADOS DA MINIMIZAÇÃO DO FATOR DE IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL 185
I.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES OTIMIZADAS 185
I.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 185
I.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical..... 207
I.2 - EVOLUÇÃO DE CASOS REPRESENTATIVOS 244
I.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 244
I.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical..... 284

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, aos meus amigos e à minha companheira, Alejandra

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores da FEEC, pelo conhecimento passado durante as aulas ministradas. Aos companheiros de laboratório pelas contribuições através de comentários e discussões no dia-a-dia e em nossas reuniões. À professora Maria Cristina, pelo ensino, orientação e trabalho em conjunto ao longo de todo o período do curso.

Aos meus familiares, especialmente aos meus pais por todo apoio e incentivo à continuidade de meus estudos. Aos meus amigos que me acompanharam na graduação, na FEG-UNESP e na pós-graduação na UNICAMP, e que tornaram o período de estudos uma ótima experiência de vida.

Especialmente à minha companheira, Alejandra, por sempre estar ao meu lado me apoiando e me fazendo feliz.

À UNICAMP por disponibilizar uma estrutura acadêmica excelente e à CAPES pelo oferecimento da bolsa de estudos.

LISTA DE FIGURAS

VOLUME I

Figura 1.1: Campo magnético H e campo elétrico E no entorno do condutor, o produto vetorial de ambos fornece vetor de Poynting P. 2

Figura 1.2: Disposição horizontal de fases sem (a) e com (b) deslocamento vertical da fase central. 4

Figura 3.1: Silhueta da torre da linha de transmissão. 21

Figura 6.1: Coordenadas da posição de um condutor na silhueta da torre – y corresponde à altura média do condutor ao longo da linha. 48

Figura 6.2: Exemplo de deslocamento dos condutores. 49

Figura 6.3: Fluxograma de uma iteração do processo de otimização 52

Figura 6.4: Exemplos de feixes com simetria vertical (a) e sem simetria vertical (b) 59

Figura 6.5: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com dois subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d). 59

Figura 6.6: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com quatro subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d). 60

Figura 6.7: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com seis subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d). 60

Figura 6.8: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 106

Figura 6.9: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 106

Figura 6.10: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 107

Figura 6.11: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 108

Figura 6.12: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 109

Figura 6.13: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional..... 109

Figura 6.14: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional..... 110

Figura 6.15: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 111

Figura 6.16: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 112

Figura 6.17: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 112

Figura 6.18: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 113

Figura 6.19: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 114

Figura 6.20: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 115

Figura 6.21: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 115

Figura 6.22: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 116

Figura 6.23: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 117

Figura 6.24: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 118

Figura 6.25: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 118

Figura 6.26: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 119

Figura 6.27: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 120

Figura 6.28: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 121

Figura 6.29: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 121

Figura 6.30: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 122

Figura 6.31: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 123

Figura 6.32: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 124

Figura 6.33: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 124

Figura 6.34: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 125

Figura 6.35: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 126

Figura 6.36: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)..... 127

Figura 6.37: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta 127

Figura 6.38: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta..... 128

Figura 6.39: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 129

Figura 6.40: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 131

Figura 6.41: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional..... 131

Figura 6.42: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional..... 132

Figura 6.43: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 133

Figura 6.44: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 134

Figura 6.45: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 134

Figura 6.46: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 135

Figura 6.47: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 136

Figura 6.48: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 137

Figura 6.49: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 137

Figura 6.50: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 138

Figura 6.51: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 139

Figura 6.52: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 140

Figura 6.53: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional..... 140

Figura 6.54: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 141

Figura 6.55: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 142

Figura 6.56: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 143

Figura 6.57: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 143

Figura 6.58: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 144

Figura 6.59: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 145

Figura 6.60: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 146

Figura 6.61: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 146

Figura 6.62: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 147

Figura 6.63: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 148

Figura 6.64: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de

isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 149

Figura 6.65: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 149

Figura 6.66: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 150

Figura 6.67: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 151

Figura 6.68: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 152

Figura 6.69: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 152

Figura 6.70: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 153

Figura 6.71: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 154

Figura 6.72: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 155

Figura 6.73: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional..... 155

Figura 6.74: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional..... 156

Figura 6.75: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 157

Figura 6.76: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 158

Figura 6.77: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 158

Figura 6.78: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional..... 159

Figura 6.79: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 160

Figura 6.80: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 161

Figura 6.81: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 161

Figura 6.82: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 162

Figura 6.83: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 163

Figura 6.84: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 167

Figura 6.85: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 168

Figura 6.86: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 168

Figura 6.87: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 169

Figura 6.88: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 169

Figura 6.89: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 170

Figura 6.90: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 170

Figura 6.91: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 171

Figura 6.92: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 171

Figura 6.93: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 172

Figura 6.94: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 172

Figura 6.95: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 173

Figura 6.96: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 173

Figura 6.97: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o

nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 174

Figura 6.98: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 174

Figura 6.99: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 175

Figura 6.100: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 175

Figura 6.101: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 176

Figura 6.102: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 176

Figura 6.103: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 177

Figura 6.104: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 177

Figura 6.105: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 178

Figura 6.106: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 178

Figura 6.107: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 179

Figura 6.108: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 179

Figura 6.109: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 180

Figura 6.110: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 180

Figura 6.111: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 181

Figura 6.112: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 181

Figura 6.113: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 182

Figura 6.114: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 182

Figura 6.115: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 183

Figura 6.116: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 183

Figura 6.117: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 184

Figura 6.118: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 184

Figura 6.119: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 185

Figura 6.120: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 187

Figura 6.121: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 187

Figura 6.122: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 188

Figura 6.123: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 188

Figura 6.124: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 189

Figura 6.125: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 189

Figura 6.126: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 190

Figura 6.127: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 190

Figura 6.128: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 191

Figura 6.129: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica

o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 191

Figura 6.130: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 192

Figura 6.131: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 192

Figura 6.132: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 193

Figura 6.133: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 193

Figura 6.134: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 194

Figura 6.135: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 194

Figura 6.136: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 195

Figura 6.137: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 195

Figura 6.138: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 196

Figura 6.139: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 196

Figura 6.140: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 197

Figura 6.141: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 197

Figura 6.142: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 198

Figura 6.143: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 198

Figura 6.144: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 199

Figura 6.145: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 199

Figura 6.146: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 200

Figura 6.147: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 200

Figura 6.148: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 201

Figura 6.149: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 201

Figura 6.150: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda

indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 202

Figura 6.151: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 202

Figura 6.152: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 203

Figura 6.153: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 203

Figura 6.154: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 204

Figura 6.155: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 204

Figura 7.1 - Representação dos parâmetros associados à geometria do feixe. 210

Figura 7.2 - Efeito de um condutor descarregado inserido em um campo elétrico uniforme. 212

Figura 7.3 - Representação do raio do feixe R_0, do raio expandido R'_0 considerando o deslocamento das linhas de carga e das distâncias R_a e R_b..... 214

Figura 7.4 - Grandezas associadas ao cálculo do fator de irregularidade de feixes assimétricos: distâncias entre condutores (a) e deslocamento da linha de carga no interior do condutor (b)... 216

Figura 9.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 293

Figura 9.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 293

Figura 9.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com

disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 294

Figura 9.4: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 295

Figura 9.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 296

Figura 9.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 296

Figura 9.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 297

Figura 9.8: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 298

Figura 9.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 299

Figura 9.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 299

Figura 9.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 300

Figura 9.12: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 301

Figura 9.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 302

Figura 9.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 302

Figura 9.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 303

Figura 9.16: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 304

Figura 9.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 305

Figura 9.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 305

Figura 9.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 306

Figura 9.20: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 307

Figura 9.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 308

Figura 9.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 308

Figura 9.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 309

Figura 9.24: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 310

Figura 9.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 311

Figura 9.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 311

Figura 9.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 312

Figura 9.28: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 313

Figura 9.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 315

Figura 9.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional..... 315

Figura 9.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional..... 316

Figura 9.32: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 317

Figura 9.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 318

Figura 9.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 318

Figura 9.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 319

Figura 9.36: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 320

Figura 9.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 321

Figura 9.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 321

Figura 9.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 322

Figura 9.40: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 323

Figura 9.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 324

Figura 9.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 324

Figura 9.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 325

Figura 9.44: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 326

Figura 9.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 327

Figura 9.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 327

Figura 9.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 328

Figura 9.48: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 329

Figura 9.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 330

Figura 9.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 330

Figura 9.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 331

Figura 9.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 332

Figura 9.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 333

Figura 9.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 333

Figura 9.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 334

Figura 9.56: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 335

Figura 9.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 336

Figura 9.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 336

Figura 9.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 337

Figura 9.60: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 338

Figura 9.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 339

Figura 9.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 339

Figura 9.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 340

Figura 9.64: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 341

Figura 9.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 342

Figura 9.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 342

Figura 9.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da

linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 343

Figura 9.68: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 344

Figura 9.69: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 347

Figura 9.70: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 347

Figura 9.71: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 348

Figura 9.72: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 348

Figura 9.73: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 349

Figura 9.74: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 349

Figura 9.75: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 350

Figura 9.76: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 350

Figura 9.77: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 351

Figura 9.78: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 351

Figura 9.79: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 352

Figura 9.80: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 352

Figura 9.81: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 353

Figura 9.82: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 353

Figura 9.83: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 354

Figura 9.84: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 354

Figura 9.85: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 355

Figura 9.86: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 355

Figura 9.87: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 356

Figura 9.88: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 356

Figura 9.89: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 357

Figura 9.90: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 357

Figura 9.91: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 358

Figura 9.92: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 358

Figura 9.93: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 359

Figura 9.94: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 359

Figura 9.95: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 360

Figura 9.96: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 360

Figura 9.97: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 361

Figura 9.98: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 361

Figura 9.99: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A

legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 362

Figura 9.100: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 362

Figura 9.101: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 363

Figura 9.102: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 363

Figura 9.103: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 364

Figura 9.104: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 364

Figura 9.105: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 366

Figura 9.106: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 366

Figura 9.107: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 367

Figura 9.108: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 367

Figura 9.109: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria

vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 368

Figura 9.110: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 368

Figura 9.111: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 369

Figura 9.112: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 369

Figura 9.113: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 370

Figura 9.114: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 370

Figura 9.115: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 371

Figura 9.116: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 371

Figura 9.117: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 372

Figura 9.118: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 372

Figura 9.119: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos

feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 373

Figura 9.120: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 373

Figura 9.121: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 374

Figura 9.122: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 374

Figura 9.123: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 375

Figura 9.124: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 375

Figura 9.125: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 376

Figura 9.126: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 376

Figura 9.127: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 377

Figura 9.128: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A

legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 377

Figura 9.129: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 378

Figura 9.130: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 378

Figura 9.131: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 379

Figura 9.132: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 379

Figura 9.133: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 380

Figura 9.134: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 380

Figura 9.135: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 381

Figura 9.136: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 381

Figura 9.137: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 382

Figura 9.138: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 382

Figura 9.139: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 383

Figura 9.140: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 383

Figura A.1 - Dimensões representadas nos cortes transversal e longitudinal do condutor cilíndrico. 395

Figura A.2 - Campo magnético gerado em torno do condutor. 402

Figura A.3 - Campo magnético no corte transversal de um condutor cilíndrico. 403

Figura A.4 - Indutância entre dois pontos no corte transversal de um condutor cilíndrico. 403

Figura A.5 - Condutor cilíndrico conduzindo corrente *I* sobre o solo ideal. A imagem representa o retorno da corrente pelo solo. 404

Figura A.6 - Dois condutores conduzindo corrente sobre o solo ideal. As imagens representam o retorno das correntes pelo solo. 406

Figura A.7 - Condutores i e p sobre o solo. 409

Figura A.8 - Condutor cilíndrico energizado com densidade linear de carga *q*. A curva *L* é concêntrica ao cilindro. 412

Figura A.9 - Capacitância entre dois pontos devida à presença do condutor cilíndrico carregado com densidade linear de carga *q*. 413

Figura A.10 - Condutor energizado disposto sobre o solo. 414

Figura A.11 - Condutor cilíndrico carregado com densidade linear de carga *q* sobre o solo ideal. A imagem representa a carga induzida no solo. 415

Figura A.12 - Dois condutores energizados sobre o solo ideal. As imagens representam as cargas induzidas no solo. 416

Figura B.1 - Transposição de fases, usual para correção do desequilíbrio de parâmetros elétricos. 433

Figura C.1 - Elemento longitudinal curto de uma linha monofásica. 441

Figura D.1 - Campo elétrico em um ponto *p* acima do solo. 449

Figura E.1 - Campo magnético no ponto *p* provocado pela condução de corrente no condutor *i*. 452

VOLUME II

Figura H.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional..... 60

Figura H.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional..... 60

Figura H.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional..... 61

Figura H.4: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional..... 62

Figura H.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta..... 63

Figura H.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta..... 63

Figura H.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta..... 64

Figura H.8: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta..... 65

Figura H.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional..... 66

Figura H.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional..... 66

Figura H.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional..... 67

Figura H.12: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional..... 68

Figura H.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional..... 69

Figura H.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional..... 69

Figura H.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional..... 70

Figura H.16: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional..... 71

Figura H.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 72

Figura H.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 72

Figura H.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 73

Figura H.20: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 74

Figura H.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 75

Figura H.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 75

Figura H.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 76

Figura H.24: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 77

Figura H.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 78

Figura H.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 78

Figura H.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 79

Figura H.28: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 80

Figura H.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 81

Figura H.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 81

Figura H.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 82

Figura H.32: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 83

Figura H.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 84

Figura H.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 84

Figura H.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 85

Figura H.36: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 86

Figura H.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 87

Figura H.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 87

Figura H.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 88

Figura H.40: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 89

Figura H.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 90

Figura H.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 90

Figura H.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por

condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 91

Figura H.44: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 92

Figura H.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 93

Figura H.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 93

Figura H.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 94

Figura H.48: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 95

Figura H.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 96

Figura H.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta 96

Figura H.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta 97

Figura H.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 98

Figura H.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 99

Figura H.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 99

Figura H.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 100

Figura H.56: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 101

Figura H.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 102

Figura H.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 102

Figura H.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 103

Figura H.60: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 104

Figura H.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 105

Figura H.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 105

Figura H.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 106

Figura H.64: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 107

Figura H.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 108

Figura H.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 108

Figura H.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 109

Figura H.68: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 110

Figura H.69: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 111

Figura H.70: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 111

Figura H.71: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 112

Figura H.72: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 113

Figura H.73: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 114

Figura H.74: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 114

Figura H.75: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 115

Figura H.76: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 116

Figura H.77: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 117

Figura H.78: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 117

Figura H.79: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 118

Figura H.80: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 119

Figura H.81: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 120

Figura H.82: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 120

Figura H.83: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 121

Figura H.84: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 122

Figura H.85: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 123

Figura H.86: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 123

Figura H.87: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por

condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 124

Figura H.88: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 125

Figura H.89: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 126

Figura H.90: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 126

Figura H.91: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 127

Figura H.92: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 128

Figura H.93: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 129

Figura H.94: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta 129

Figura H.95: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta 130

Figura H.96: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 131

Figura H.97: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 133

Figura H.98: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 133

Figura H.99: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 134

Figura H.100: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 135

Figura H.101: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional..... 136

Figura H.102: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional..... 136

Figura H.103: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional..... 137

Figura H.104: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional..... 138

Figura H.105: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional..... 139

Figura H.106: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional..... 139

Figura H.107: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional..... 140

Figura H.108: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional..... 141

Figura H.109: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 142

Figura H.110: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 142

Figura H.111: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 143

Figura H.112: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 144

Figura H.113: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 145

Figura H.114: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 145

Figura H.115: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 146

Figura H.116: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 147

Figura H.117: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 148

Figura H.118: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 148

Figura H.119: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 149

Figura H.120: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 150

Figura H.121: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 151

Figura H.122: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 151

Figura H.123: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 152

Figura H.124: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 153

Figura H.125: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 154

Figura H.126: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 154

Figura H.127: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 155

Figura H.128: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 156

Figura H.129: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 157

Figura H.130: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 157

Figura H.131: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e

deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 158

Figura H.132: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 159

Figura H.133: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 160

Figura H.134: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 160

Figura H.135: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 161

Figura H.136: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 162

Figura H.137: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 163

Figura H.138: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 163

Figura H.139: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 164

Figura H.140: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 165

Figura H.141: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 166

Figura H.142: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 166

Figura H.143: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 167

Figura H.144: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 168

Figura H.145: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 169

Figura H.146: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 169

Figura H.147: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 170

Figura H.148: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 171

Figura H.149: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 172

Figura H.150: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 172

Figura H.151: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 173

Figura H.152: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 174

Figura H.153: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta 175

Figura H.154: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta..... 175

Figura H.155: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta..... 176

Figura H.156: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta..... 177

Figura H.157: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 178

Figura H.158: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 178

Figura H.159: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 179

Figura H.160: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 180

Figura H.161: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 181

Figura H.162: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 181

Figura H.163: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 182

Figura H.164: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 183

Figura I.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 245

Figura I.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 245

Figura I.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 246

Figura I.4: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 247

Figura I.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 248

Figura I.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 248

Figura I.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 249

Figura I.8: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 250

Figura I.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 251

Figura I.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 251

Figura I.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 252

Figura I.12: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 253

Figura I.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 254

Figura I.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 254

Figura I.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 255

Figura I.16: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 256

Figura I.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 257

Figura I.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 257

Figura I.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 258

Figura I.20: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 259

Figura I.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 260

Figura I.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 260

Figura I.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J

(g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 261

Figura I.24: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 262

Figura I.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 263

Figura I.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 263

Figura I.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 264

Figura I.28: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 265

Figura I.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 266

Figura I.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 266

Figura I.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 267

Figura I.32: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 268

Figura I.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 269

Figura I.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 269

Figura I.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 270

Figura I.36: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 271

Figura I.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 272

Figura I.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 272

Figura I.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 273

Figura I.40: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 274

Figura I.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 275

Figura I.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 275

Figura I.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 276

Figura I.44: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 277

Figura I.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 278

Figura I.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 278

Figura I.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 279

Figura I.48: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 280

Figura I.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 281

Figura I.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional 281

Figura I.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 282

Figura I.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 283

Figura I.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 285

Figura I.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 285

Figura I.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com

disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 286

Figura I.56: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 287

Figura I.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 288

Figura I.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 288

Figura I.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 289

Figura I.60: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 290

Figura I.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 291

Figura I.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 291

Figura I.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 292

Figura I.64: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 293

Figura I.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 294

Figura I.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 294

Figura I.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 295

Figura I.68: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 296

Figura I.69: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional..... 297

Figura I.70: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional..... 297

Figura I.71: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional..... 298

Figura I.72: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional..... 299

Figura I.73: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 300

Figura I.74: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional..... 300

Figura I.75: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional..... 301

Figura I.76: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 302

Figura I.77: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 303

Figura I.78: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 303

Figura I.79: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 304

Figura I.80: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 305

Figura I.81: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 306

Figura I.82: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 306

Figura I.83: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 307

Figura I.84: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 308

Figura I.85: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 309

Figura I.86: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 309

Figura I.87: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 310

Figura I.88: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 311

Figura I.89: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 312

Figura I.90: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 312

Figura I.91: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 313

Figura I.92: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 314

Figura I.93: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 315

Figura I.94: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 315

Figura I.95: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 316

Figura I.96: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 317

Figura I.97: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 318

Figura I.98: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 318

Figura I.99: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento

vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 319

Figura I.100: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 320

Figura I.101: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 321

Figura I.102: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 321

Figura I.103: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 322

Figura I.104: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 323

Figura I.105: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 324

Figura I.106: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 324

Figura I.107: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 325

Figura I.108: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 326

Figura I.109: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 327

Figura I.110: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 327

Figura I.111: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 328

Figura I.112: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 329

Figura I.113: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 330

Figura I.114: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional 330

Figura I.115: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional 331

Figura I.116: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 332

Figura I.117: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 333

Figura I.118: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 333

Figura I.119: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 334

Figura I.120: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 335

Figura I.121: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de

isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 336

Figura I.122: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 336

Figura I.123: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 337

Figura I.124: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 338

Figura I.125: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 339

Figura I.126: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 339

Figura I.127: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 340

Figura I.128: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 341

Figura I.129: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 342

Figura I.130: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 342

Figura I.131: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 343

Figura I.132: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 344

Figura I.133: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 345

Figura I.134: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 345

Figura I.135: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 346

Figura I.136: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 347

LISTA DE TABELAS

VOLUME I

Tabela 3.1 - Dados dos cabos de fase. 21

Tabela 6.1: Condutores escolhidos para o processo de otimização 57

Tabela 6.2: Níveis de tensão de operação adotados para as linhas de transmissão a serem otimizadas 57

Tabela 6.3: Distâncias de isolação adotadas para os correspondentes níveis de tensão de operação para linhas convencional e compacta 58

Tabela 6.4: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 63

Tabela 6.5: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 67

Tabela 6.6: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 71

Tabela 6.7: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 73

Tabela 6.8: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 76

Tabela 6.9: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 85

Tabela 6.10: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 94

Tabela 6.11: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 98

Tabela 6.12: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 108

Tabela 6.13: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 108

Tabela 6.14: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 111

Tabela 6.15: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 111

Tabela 6.16: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 114

Tabela 6.17: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 114

Tabela 6.18: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 117

Tabela 6.19: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 117

Tabela 6.20: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 120

Tabela 6.21: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 120

Tabela 6.22: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 123

Tabela 6.23: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 123

Tabela 6.24: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 126

Tabela 6.25: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 126

Tabela 6.26: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta 129

Tabela 6.27: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta 129

Tabela 6.28: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional 133

Tabela 6.29: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional 133

Tabela 6.30: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 136

Tabela 6.31: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 136

Tabela 6.32: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 139

Tabela 6.33: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 139

Tabela 6.34: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 142

Tabela 6.35: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 142

Tabela 6.36: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 145

Tabela 6.37: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 145

Tabela 6.38: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 148

Tabela 6.39: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 148

Tabela 6.40: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 151

Tabela 6.41: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 151

Tabela 6.42: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 154

Tabela 6.43: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 154

Tabela 6.44: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 157

Tabela 6.45: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 157

Tabela 6.46: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 160

Tabela 6.47: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 160

Tabela 6.48: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 163

Tabela 6.49: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 163

Tabela 7.1 - Fatores de superfície, segundo Miller. 207

Tabela 9.1: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 251

Tabela 9.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 255

Tabela 9.3: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 259

Tabela 9.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 261

Tabela 9.5: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 264

Tabela 9.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 273

Tabela 9.7: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 282

Tabela 9.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 286

Tabela 9.9: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 295

Tabela 9.10: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 295

Tabela 9.11: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 298

Tabela 9.12: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 298

Tabela 9.13: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 301

Tabela 9.14: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 301

Tabela 9.15: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 304

Tabela 9.16: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 304

Tabela 9.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 307

Tabela 9.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 307

Tabela 9.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 310

Tabela 9.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 310

Tabela 9.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 313

Tabela 9.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 313

Tabela 9.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 317

Tabela 9.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 317

Tabela 9.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 320

Tabela 9.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 320

Tabela 9.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 323

Tabela 9.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 323

Tabela 9.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 326

Tabela 9.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 326

Tabela 9.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 329

Tabela 9.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 329

Tabela 9.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 332

Tabela 9.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 332

Tabela 9.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 335

Tabela 9.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 335

Tabela 9.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 338

Tabela 9.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 338

Tabela 9.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 341

Tabela 9.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 341

Tabela 9.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 344

Tabela 9.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 344

VOLUME II

Tabela H.1: Parâmetros elétricos das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 2

abela H.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 3

Tabela H.3: Parâmetros elétricos das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 4

Tabela H.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 5

Tabela H.5: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 6

Tabela H.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 9

Tabela H.7: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 12

Tabela H.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 16

Tabela H.9: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 20

Tabela H.10: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 21

Tabela H.11: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 23

Tabela H.12: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 29

Tabela H.13: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 35

Tabela H.14: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 45

Tabela H.15: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 55

Tabela H.16: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 57

Tabela H.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 62

Tabela H.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 62

Tabela H.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta 65

Tabela H.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta 65

Tabela H.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional 68

Tabela H.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional 68

Tabela H.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 71

Tabela H.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 71

Tabela H.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 74

Tabela H.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 74

Tabela H.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 77

Tabela H.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 77

Tabela H.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 80

Tabela H.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 80

Tabela H.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 83

Tabela H.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 83

Tabela H.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 86

Tabela H.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 86

Tabela H.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 89

Tabela H.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 89

Tabela H.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 92

Tabela H.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 92

Tabela H.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 95

Tabela H.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 95

Tabela H.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta 98

Tabela H.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta 98

Tabela H.43: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 101

Tabela H.44: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 101

Tabela H.45: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 104

Tabela H.46: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 104

Tabela H.47: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 107

Tabela H.48: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 107

Tabela H.49: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 110

Tabela H.50: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 110

Tabela H.51: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 113

Tabela H.52: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 113

Tabela H.53: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 116

Tabela H.54: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 116

Tabela H.55: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 119

Tabela H.56: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 119

Tabela H.57: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 122

Tabela H.58: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 122

Tabela H.59: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 125

Tabela H.60: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 125

Tabela H.61: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 128

Tabela H.62: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 128

Tabela H.63: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta 131

Tabela H.64: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta 131

Tabela H.65: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 135

Tabela H.66: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 135

Tabela H.67: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional 138

Tabela H.68: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional 138

Tabela H.69: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 141

Tabela H.70: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 141

Tabela H.71: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 144

Tabela H.72: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 144

Tabela H.73: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 147

Tabela H.74: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 147

Tabela H.75: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 150

Tabela H.76: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 150

Tabela H.77: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 153

Tabela H.78: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 153

Tabela H.79: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 156

Tabela H.80: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 156

Tabela H.81: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 159

Tabela H.82: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 159

Tabela H.83: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 162

Tabela H.84: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 162

Tabela H.85: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 165

Tabela H.86: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 165

Tabela H.87: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 168

Tabela H.88: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 168

Tabela H.89: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 171

Tabela H.90: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 171

Tabela H.91: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 174

Tabela H.92: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 174

Tabela H.93: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta 177

Tabela H.94: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta 177

Tabela H.95: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 180

Tabela H.96: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 180

Tabela H.97: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 183

Tabela H.98: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 183

Tabela I.1: Parâmetros elétricos das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 186

Tabela I.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 187

Tabela I.3: Parâmetros elétricos das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 188

Tabela I.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 189

Tabela I.5: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 190

Tabela I.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 194

Tabela I.7: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 197

Tabela I.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 201

Tabela I.9: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 205

Tabela I.10: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 206

Tabela I.11: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 208

Tabela I.12: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 214

Tabela I.13: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 220

Tabela I.14: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 230

Tabela I.15: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 240

Tabela I.16: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 242

Tabela I.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 247

Tabela I.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 247

Tabela I.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 250

Tabela I.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 250

Tabela I.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 253

Tabela I.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 253

Tabela I.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 256

Tabela I.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 256

Tabela I.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 259

Tabela I.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 259

Tabela I.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 262

Tabela I.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 262

Tabela I.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 265

Tabela I.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 265

Tabela I.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 268

Tabela I.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 268

Tabela I.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 271

Tabela I.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 271

Tabela I.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 274

Tabela I.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 274

Tabela I.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 277

Tabela I.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 277

Tabela I.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 280

Tabela I.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 280

Tabela I.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional 283

Tabela I.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional 283

Tabela I.43: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 287

Tabela I.44: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 287

Tabela I.45: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 290

Tabela I.46: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 290

Tabela I.47: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 293

Tabela I.48: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 293

Tabela I.49: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 296

Tabela I.50: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 296

Tabela I.51: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 299

Tabela I.52: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 299

Tabela I.53: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 302

Tabela I.54: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 302

Tabela I.55: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 305

Tabela I.56: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 305

Tabela I.57: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 308

Tabela I.58: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 308

Tabela I.59: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 311

Tabela I.60: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 311

Tabela I.61: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 314

Tabela I.62: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 314

Tabela I.63: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 317

Tabela I.64: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 317

Tabela I.65: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 320

Tabela I.66: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 320

Tabela I.67: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 323

Tabela I.68: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 323

Tabela I.69: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 326

Tabela I.70: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 326

Tabela I.71: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 329

Tabela I.72: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 329

Tabela I.73: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional 332

Tabela I.74: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional 332

Tabela I.75: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 335

Tabela I.76: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 335

Tabela I.77: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 338

Tabela I.78: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 338

Tabela I.79: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional 341

Tabela I.80: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional 341

Tabela I.81: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 344

Tabela I.82: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 344

Tabela I.83: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 347

Tabela I.84: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 347

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LPNE - Linha de Potência Natural Elevada

EHV - *Extra High Voltage*

UHV - *Ultra High Voltage*

RI - Rádio-Interferência

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

Com a demanda por blocos de energia cada vez maiores é eminente a necessidade de construção de linhas de transmissão com capacidade de transferir potências cada vez mais elevadas. No cenário atual do sistema de transmissão brasileiro destacam-se as grandes distâncias entre locais com elevados potenciais de geração e os grandes centros de consumo. Como exemplo tem-se as grandes usinas hidrelétricas, cujas construções já estão previstas (ou em andamento), localizadas na Região Amazônica. Há, então, a necessidade de se transmitir potências elevadas por grandes distâncias.

Para cumprir esta tarefa de forma mais econômica é necessária a operação em níveis de tensão elevados, o que torna o projeto das linhas de transmissão mais restritivo. As longas distâncias aumentam consideravelmente os custos de construção da linha.

O uso de condutores em feixe possibilitou a redução do campo elétrico superficial nos condutores e, assim, a operação em níveis de tensão que se tornariam inviáveis com condutores simples. No entanto, a geometria dos feixes convencionais resulta em irregularidade na distribuição do campo elétrico superficial nos condutores, causada pelo diferente acoplamento eletromagnético entre os subcondutores e os feixes das outras fases. A irregularidade do campo elétrico limita a máxima tensão de operação da linha, pois o campo elétrico, proporcional à tensão nos condutores, ao se aproximar do valor crítico visual (quando o efeito luminoso se manifesta) irá intensificar as manifestações do efeito coroa, gerando perturbações para o sistema elétrico e interferências para a vizinhança da linha de transmissão. Assim, o aproveitamento da superfície dos condutores será reduzido e a capacidade de transmissão também será afetada.

O uso de feixes regulares e expandidos e linhas compactas são técnicas que vêm aumentar a capacidade de transmissão da linha, com campo elétrico superficial máximo mais elevado, porém, com maior irregularidade do campo elétrico superficial.

Diversos trabalhos demonstram que feixes assimétricos adequadamente dimensionados teriam tal irregularidade reduzida, assim, poderiam ser energizados com maior carga elétrica, resultando em maior capacitância e, consequentemente, potência característica mais elevada.

1.2 - INTRODUÇÃO AOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Transmitindo energia, uma linha de transmissão está energizada, com tensão aplicada aos cabos, e conduzindo corrente elétrica. A energização irá produzir o campo elétrico no entorno dos condutores da linha de transmissão e a corrente transmitida irá induzir o campo magnético, também mais intenso no entorno dos condutores. O produto vetorial de ambos fornece a densidade de potência sendo transmitida, que se concentra majoritariamente no entorno dos condutores [1], a Figura 1.1 ilustra o vetor de Poynting.

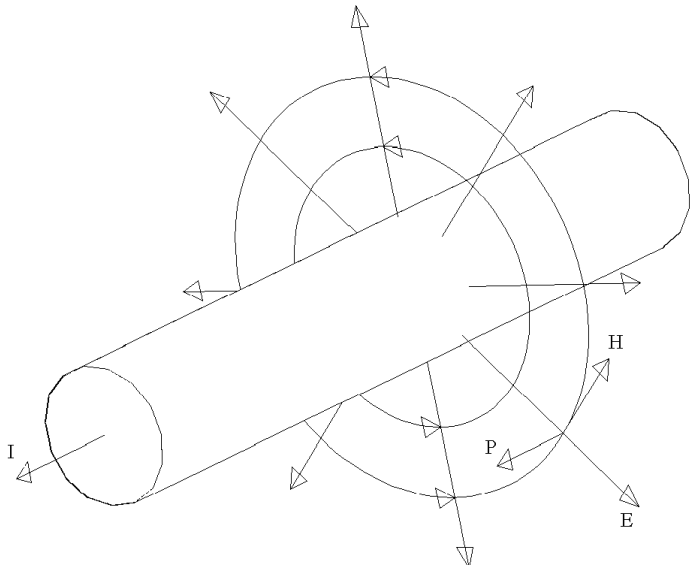

Figura 1.1: Campo magnético H e campo elétrico E no entorno do condutor, o produto vetorial de ambos fornece vetor de Poynting P.

A energia reativa capacitiva é armazenada na forma de campo elétrico, assim, uma linha energizada está fornecendo um suporte de potência reativa. Em contrapartida, a energia reativa indutiva é armazenada na forma de campo magnético que, portanto, é consumidor de potência reativa.

Quando há equilíbrio entre a potência reativa gerada e consumida pela linha de transmissão, diz-se que ela está transmitindo potência característica, ou seja, ela está alimentando uma carga cuja impedância é equivalente à sua impedância característica.

O excesso e a falta de suporte de reativos irão causar, respectivamente, elevação e queda na tensão de operação no lado consumidor para linhas de comprimentos menores do que ¼ do comprimento de onda da frequência fundamental. Portanto, quando transmitindo potência abaixo

da potência característica, o excesso de potência reativa provida pela linha de transmissão irá provocar elevação na tensão de operação. Analogamente, quando transmitindo potência acima da potência característica, o excesso de potência reativa consumida pela linha de transmissão é responsável por causar afundamento na tensão de operação no lado consumidor.

Nos níveis de EHV e UHV o efeito coroa se apresenta como uma limitação importante imposta à operação, portanto, ao projeto da linha de transmissão. O efeito coroa resulta da aceleração de elétrons livres existentes na superfície dos condutores onde o campo elétrico é superior ao valor crítico disruptivo do ar, acima do qual as manifestações do efeito coroa são intensificadas. O campo elétrico crítico disruptivo depende de condições tais como a pressão atmosférica e a presença de vapor d'água e no entorno de um condutor, onde o campo elétrico é não uniforme e a divergência do campo exerce influência adicional [2].

Nas linhas de transmissão o efeito coroa se manifesta na superfície dos condutores e nos elementos de suspensão dos feixes, no entanto, é na superfície dos condutores onde as manifestações são mais representativas, por constituir uma superfície de área muito superior.

O emprego de condutores em feixe é uma técnica que foi adotada para reduzir a intensidade do campo elétrico na superfície dos condutores [2]. A densidade de carga elétrica fica dividida entre os subcondutores do feixe e o campo elétrico é então reduzido, permitindo que a tensão de operação seja mais elevada sem que se inicie o efeito coroa.

A potência transferida pelo feixe de condutores é limitada pela máxima tensão que lhe pode ser aplicada e pela corrente que o feixe todo é capaz de conduzir. Idealmente espera-se que, operando nos limites de suas restrições, os n condutores sejam capazes de transmitir n vezes a potência que um único condutor seria capaz.

O que ocorre na realidade é que a proximidade entre os condutores do feixe torna muito elevada a influência de um condutor sobre o campo elétrico na superfície dos outros condutores. Com distribuição irregular do campo elétrico, o feixe fica restrito a um nível de tensão de operação inferior ao nível ideal.

A má distribuição da densidade de carga elétrica entre os subcondutores é outro fator que limita a utilização das superfícies dos condutores. Quando uma linha com feixes convencionais tem disposição horizontal de fases, conforme ilustra a Figura 1.2, por exemplo, a fase central fica sujeita à maior carga elétrica e, portanto, ao campo elétrico mais intenso, limitando ainda mais o aproveitamento da superfície dos condutores.

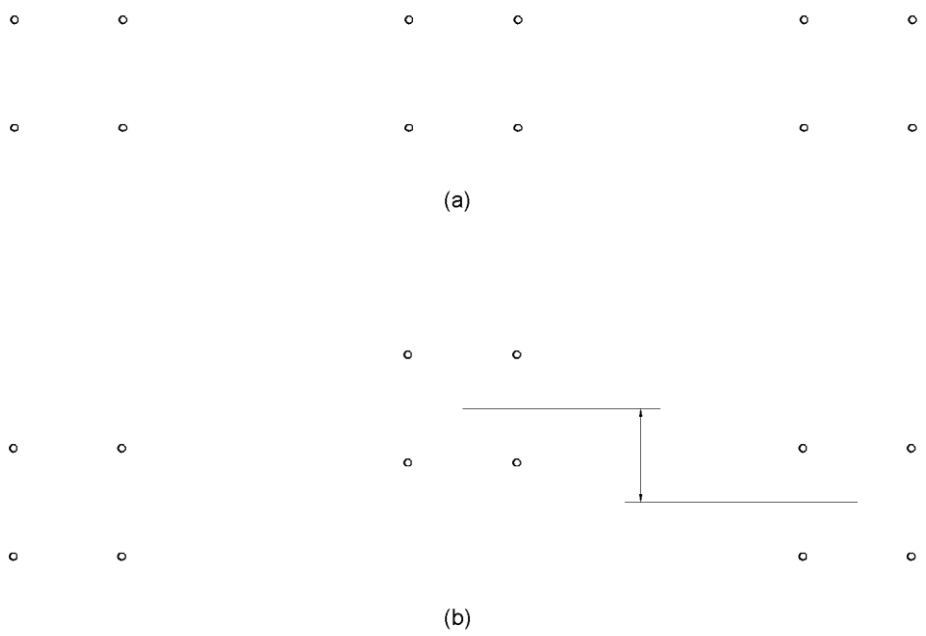

Figura 1.2: Disposição horizontal de fases sem (a) e com (b) deslocamento vertical da fase central.

Enquanto a prática convencional faz uso de feixes com disposição regular dos condutores, é no sentido de melhorar o aproveitamento dos condutores e, consequentemente, da faixa de passagem da linha de transmissão, que alguns trabalhos têm sido desenvolvidos com métodos para otimização dos feixes de condutores, buscando melhor desempenho em linhas com configurações não-regulares ou assimétricas de condutores.

Na prática, a compensação reativa faz o papel de alternativa ao aumento da potência característica da linha para se transmitir mais potência. Com capacitores em derivação alocados nos extremos da linha obtém-se resultado semelhante ao aumento da capacitância de sequência positiva por unidade de comprimento da linha. Mantido o suporte de energia reativa necessária para a transmissão deve-se aceitar que os condutores operem com corrente elétrica mais elevada, o que resulta em maiores perdas de energia e maior aquecimento dos condutores, que podem operar nesta condição em regime permanente ou para durante os picos de demanda. Teoricamente, se uma linha é projetada com potência característica mais elevada, o uso de capacitores em derivação pode complementar a capacidade de transmissão da linha, que será limitada pelo aquecimento dos condutores, em sua suportabilidade térmica ou flecha máxima admissível.

O presente trabalho busca desenvolver um método para maximizar a potência característica de linhas de transmissão de forma que se possa obter um melhor aproveitamento dos seus condutores.

Consideram-se na elevação da potência característica: a minimização da impedância característica e a minimização da irregularidade na distribuição do campo elétrico. A primeira está relacionada ao aporte de energia reativa fornecida naturalmente pela linha durante a operação em vazio ou em carga leve, sem adição de equipamentos de compensação. A segunda tem sua importância dada pelas restrições operativas impostas pelo efeito coroa. Em suma, o campo elétrico máximo deve ser mantido abaixo do limiar crítico visual do ar, ou seja, acima do qual ocorrem manifestações visuais do efeito coroa, além da intensificação de outras manifestações indesejadas, como a emissão de ruído audível e rádio-interferência.

O método desenvolvido neste trabalho permite que a concepção dos feixes possam ser regular ou irregular, sendo o primeiro um caso específico do segundo.

Com relação à aplicabilidade pode-se citar, no contexto atual, a previsão de expansão do sistema de energia elétrica brasileiro, que prevê a inserção de usinas de grande porte e, assim, traz naturalmente o problema de se transferir esta potência gerada aos centros de consumo, em especial àqueles que demandam potência elevada.

1.3 - ESTRUTURA DO TRABALHO

O texto da dissertação é constituído pelo presente capítulo, onde é apresentada a motivação da pesquisa e são descritos os principais objetivos do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica de diversos trabalhos relacionados à transmissão de energia, principalmente às linhas que operam em níveis de tensão elevados.

Inicialmente são apresentados os parâmetros elétricos de uma linha de transmissão na forma de impedâncias longitudinais e admitâncias transversais. O equacionamento de parâmetros é feito na forma matricial, relacionando tensões e correntes em todos os condutores da linha. São apresentados as matrizes reduzidas e os parâmetros em componentes simétricas e, por fim, a potência característica. Adicionalmente, é feita uma análise da contribuição de cada componente da impedância longitudinal na impedância de sequência positiva, sendo esta análise fundamental para o desenvolvimento do trabalho (Capítulo 3).

Através de cálculo diferencial são desenvolvidas as equações das sensibilidades da reatância externa em relação às posições dos condutores dadas na silhueta da torre (Capítulo 4).

É feita uma apresentação dos conceitos básicos da otimização numérica, os quais serão usados para a aplicação do método do gradiente (Capítulo 5) na minimização da impedância característica, cujos resultados são analisados no Capítulo 6.

São apresentados o efeito coroa e o desenvolvimento das formulações do fator de irregularidade do campo elétrico superficial para feixes assimétricos, considerando a influência de todos os condutores da linha. Em seguida é apresentada uma formulação da potência característica em função do campo elétrico superficial (Capítulo 7).

No Capítulo 8 são desenvolvidas as expressões de sensibilidade do fator de irregularidade do campo elétrico superficial em relação às posições dos condutores a serem aplicadas no método do gradiente, cujos resultados são apresentados no Capítulo 9.

No Capítulo 10 são apresentadas as principais conclusões da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

No APÊNDICE A é mostrado o desenvolvimento das expressões de cada parcela dos parâmetros elétricos da linha de transmissão, sendo a impedância longitudinal composta por: impedância interna, reatância externa e impedância devido ao efeito do solo real; e a admitância transversal da linha.

No APÊNDICE B é mostrado o desenvolvimento dos parâmetros elétricos longitudinais e transversais na forma matricial, o condicionamento da matriz de impedâncias longitudinais e a redução da matriz de impedâncias longitudinais condicionada e da matriz de admitâncias transversais a elementos trifásicos. São feitas considerações sobre a inclusão dos cabos pára-raios e sobre a transposição da linha de transmissão.

No APÊNDICE C é mostrado a obtenção dos parâmetros elétricos de uma linha balanceada em componentes simétricas.

No APÊNDICE D e no APÊNDICE E é mostrado o desenvolvimento das expressões de campo elétrico ao nível do solo e campo magnético ao nível do solo, respectivamente. O APÊNDICE F é auxiliar aos dois anteriores e mostra o cálculo do valor máximo de um vetor bidimensional.

O APÊNDICE G mostra a formulação das expressões de corrente elétrica em cada subcondutor dos feixes.

O APÊNDICE H apresenta um conjunto de resultados obtidos com a minimização da reatância externa e o APÊNDICE I apresenta um conjunto de resultados obtidos com a minimização do fator de irregularidade do campo elétricco superficial dos condutores**.**

1.4- PUBLICAÇÕES

Maciel, R. P.; Tavares, M. C.; *Maximização da Potência Característica de Linhas de Transmissão*, IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Goiânia - GO, 15 a 18 de maio de 2012.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - BREVE HISTÓRICO DO ESTUDO E DA APLICAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM CONDUTORES EM FEIXE

Em [3] é apresentada a bibliografia sobre condutores em feixe organizada em ordem cronológica contendo publicações que datam desde 1909, quando os primeiros trabalhos foram publicados, até o ano de 1960. Os parágrafos seguintes apresentam uma breve descrição dos primeiros trabalhos desenvolvidos.

Destaca-se pelo pioneirismo, P. H. Thomas [4], [5], indicando, em 1909, o potencial do uso de condutores em feixe para o aumento da capacitância e redução da indutância da linha. Na época, ao menos duas patentes da técnica foram registradas por B. Whitehead [6] em 1910 e G. Faccioli em 1911 [7].

Após vinte anos, ao longo dos quais consta apenas uma publicação alemã por O. Burger [8], H. B. Dwight e E. B. Farmer [9] abordam aspectos mecânicos e econômicos de feixes com dois condutores em seu trabalho. E. Clarke [10] analisa as propriedades elétricas de feixes com dois a cinco condutores e faz comparação entre o uso de um único condutor e feixes com dois condutores. Seguem-se no período alguns trabalhos teóricos publicados por G. Markt e B. Mengele [11], [12].

Acredita-se que a primeira linha com condutores duplos foi construída na Suécia, em 1950, a primeira linha com condutores triplos foi construída na Áustria, em 1952, e que a pioneira na construção com condutores quádruplos foi a Alemanha, em 1957 [13].

O tamanho do espaçamento entre subcondutores praticado varia de 35 a 45 cm, num histórico de 1950 a 1964 [13]. Não há relação direta entre número de subcondutores e tensão de operação, sendo relatada a existência de linhas com dois subcondutores por feixe e com tensão de operação variando de 77 kV a 500 kV, enquanto três subcondutores são empregados em linhas de transmissão operando com tensão que varia de 380 kV a 500 kV. Linhas com quatro subcondutores foram construídas para operação com tensões de 275 kV a 500 kV, sendo o maior nível de tensão de operação à época de 500 kV.

Continuando o desenvolvimento teórico, em 1969, o trabalho de G. N. Aleksandrov [14], busca otimizar o dimensionamento de linhas de transmissão relacionando, a partir da densidade

ótima de corrente elétrica, o raio dos feixes, a distância de isolação entre fases, tensão de operação e potência característica.

Em 1982, G. N. Aleksandrov e G. V. Podporkyn publicam um artigo [15] onde expõem a otimização de feixes de condutores com o critério de suportabilidade a sobretensões. Em 1988, é publicado o trabalho de V. V. Dan [16] onde se propõe uma técnica para o dimensionamento de feixes de condutores para prevenir a manifestação do efeito coroa.

Nas décadas de 1990 e 2000 destacam-se os trabalhos brasileiros no estudo de LPNEs, incluindo aquelas com feixes de formas não convencionais (irregulares). Em 1993, J. C. Salari [1] desenvolve um método para otimização de feixes com condutores distribuídos ao longo de elipses. Em 1995, S. Gomes [17] propõe outro método de otimização onde trabalha com feixes em diversas configurações e publica trabalhos em conjunto com C. M. Portela [18], [19]. Em conjunto com pesquisadores do Instituto Politécnico de São Petersburgo, FURNAS publica seu estudo sobre uma nova concepção de LPNE, proposta a ser implantada e seu sistema de transmissão [20], em outros dois artigos, [21] e [22], constam na participação de seu projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) outros pesquisadores, dentre eles profissionais da Universidade Federal Fluminense (UFF) e do CEPEL. Em outra publicação [23] CEPEL e CHESF avaliam as características de diversas configurações de LPNE's em operação no Brasil.

2.2 - BREVE DESCRIÇÃO DE TRABALHOS RELACIONADOS POR TEMA

Os textos pesquisados foram divididos em algumas classificações. A primeira: "condutores em feixe", abrange os trabalhos que visam modelar os condutores em feixe ou então analisar seus diversos aspectos na otimização da linha.

Nos trabalhos que tratam de campos elétricos em vãos são estudadas as distâncias de isolamento necessárias nos vãos que isolam diferentes partes da linha de transmissão.

O terceiro grupo aborda um aspecto que talvez seja um dos mais estudados em linhas de transmissão que operam com feixes de condutores à alta tensão: o campo elétrico superficial. Diferentes análises buscam mensurar e estimar as consequências do efeito coroa (ou corona) correlacionando-as com o valor do campo elétrico sobre a superfície dos condutores. Muitos trabalhos buscam técnicas para se calcular o campo elétrico superficial e sua distribuição sobre a superfície dos condutores.

Por fim, algumas propostas de otimização de linhas de transmissão são enumeradas. Estas propostas poderão auxiliar na busca de melhores soluções.

2.3 - DOS CONDUTORES EM FEIXE

Nesta seção serão apresentados os textos que tratam da geometria de feixe de condutores. Alguns trabalhos ([24], [25], [26]) tratam da distribuição de corrente entre os subcondutores, que se torna menos uniforme na medida em que feixes irregulares são concebidos. Dentre eles [24] propõe novas metodologias para representação simplificada do feixe levando em consideração a distribuição irregular de corrente nos condutores.

Os textos [16], [27], [28] e [14] abordam diversos aspectos simultaneamente visando conciliar as restrições e obter um ganho na capacidade de transmissão.

Em [29], Subba Rao busca balancear os parâmetros elétricos da linha de transmissão para reduzir a necessidade de transposição.

Um histórico e evolução das práticas em transmissão com condutores em feixe são abordados em [30].

Em [1] combinam-se as análises de corrente e carga elétrica, campo elétrico e magnético ao nível do solo, blindagem dos cabos pára-raios e campo elétrico com cálculo tridimensional para a otimização dos feixes.

Em [16] é realizada uma análise para escolha do feixe de condutores. Calcula-se o raio do condutor com base no campo elétrico superficial. Fixa-se o espaçamento entre subcondutores grande o suficiente para que não haja contato entre condutores. Escolhem-se os raios de condutores mínimos necessários para que o efeito coroa não ocorra.

Em [24] é feita a descrição de uma nova metodologia para se obter um condutor equivalente em alternativa à clássica teoria do raio médio geométrico. Baseia-se na equivalência de capacitâncias. O método é concebido para aproximação assintótica da formulação existente.

Em [29] o trabalho propõe o balanceamento das indutâncias e capacitâncias, próprias e mútuas, da linha de transmissão sem a necessidade de transposição. Realiza a análise de balanceamento para cada parâmetro individualmente e simultaneamente.

Em [30] o trabalho relata o histórico do desenvolvimento de linhas de transmissão com condutores em feixe e suas características são tabeladas cronologicamente. Analisa-se a evolução

das práticas e configurações típicas adotadas: geometria das torres, configuração dos condutores, transposição, manutenção, seleção de condutores e seus aparatos de suspensão e isolamento e dos espaçadores.

Em [25] o trabalho formula o cálculo da distribuição de correntes nos subcondutores e com experimentos mostra a precisão de seu método.

Em [27] se faz uma comparação de parâmetros elétricos e da capacidade de transmissão das linhas com condutores em feixe e com condutores simples. Exibem-se tabelas que mostram diferentes parâmetros elétricos para diferentes configurações de linha de transmissão. Estuda-se o efeito da separação entre subcondutores e entre fases na capacidade de transmissão da linha.

Em [26] se propõe um novo método para estudo de tensões e correntes ao longo de uma linha em regime. Exibem-se o desenvolvimento matemático do método e uma tabela com resultados para dois exemplos de carregamento.

Em [28] faz-se uma discussão sobre a configuração dos condutores no feixe e realizam-se comparações entre linhas compactas e convencionais a 500 kV. Indicam-se os aspectos a serem analisados, exibem-se fórmulas para análise. Fazem-se cálculos e discutem-se os resultados para diferentes configurações de feixe.

Em [14], partindo da densidade ótima de corrente, traçam-se relações entre os limites operacionais da linha de transmissão e seus parâmetros físicos, visando obter configurações ótimas para diferentes níveis de tensão.

2.4 - DO CAMPO ELÉTRICO EM VÃOS

Os textos deste tópico tratam do campo elétrico em vãos de linhas de transmissão. Os vãos analisados são: entre condutores e o solo, entre fases e entre os condutores e a torre.

As descargas atmosféricas e as sobretensões de manobra são consideradas nas análises.

A influência das dimensões dos feixes e da geometria das torres sobre o desempenho dos vãos frente às sobretensões também é analisada.

Alguns trabalhos incluem resultados experimentais para validar seus estudos.

No trabalho [31] é realizado o estudo da isolação necessária para um desempenho aceitável frente a descargas atmosféricas. Estuda-se a possibilidade de retirada dos cabos pára-raios.

Já o trabalho [32] apresenta um método para o cálculo da tensão de ruptura do isolamento entre fase e solo e entre fases para qualquer configuração de feixe. Faz-se uma comparação com estudos precedentes e analisa-se a influência da configuração do feixe e do tipo de posicionamento das fases, além da distribuição de tensão entre fases.

Em [15] é proposto um método para otimização do feixe de condutores maximizando o campo elétrico entre o feixe e o solo. Faz-se experimentação de duas configurações otimizadas.

A referência [33] propõe um método geral para cálculo das tensões de ruptura entre fases, fase e solo, fase e torre para condutores em feixe, convencionais ou não. Comparam-se os resultados com os de outros modelos e com resultados experimentais.

Em [34] é apresentado um método para cálculo da tensão de ruptura entre o feixe de condutores e o solo.

Em [35] é apresentada uma análise comparativa entre o cálculo de campo elétrico e magnético gerado pelas linhas de transmissão em duas dimensões e em três dimensões, propondo uma forma de cálculo em duas dimensões corrigida.

2.5 - DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL

2.5.1 - Dos Objetivos

Os textos que serão mencionados neste tópico tratam do efeito coroa e suas consequências.

Diversos trabalhos tratam da medição e avaliação dos efeitos do campo elétrico que se apresenta na superfície dos condutores quando a linha de transmissão está energizada. Os efeitos mais estudados dentre os trabalhos pesquisados são: ruído audível, rádio-interferência, perdas de energia e o efeito visual (brilho).

A influência das condições atmosféricas nos efeitos do campo elétrico foi amplamente abordada nas medições em campo e em laboratório.

Também são encontrados trabalhos que tratam do cálculo da distribuição do campo elétrico sobre a superfície dos condutores. Outros calculam o campo elétrico superficial máximo.

Os valores calculados, quando relacionados às medições, possibilitam a previsão dos efeitos indesejáveis e, assim, minimizam-se estes efeitos na elaboração do projeto das linhas de transmissão.

2.5.2 - Da Abordagem

Os trabalhos pesquisados abrangem uma variedade grande de configurações de feixes de condutores, dentre as variáveis observadas estão: número de condutores por fase, seção transversal dos condutores, dimensões do feixe de condutores (para feixes simétricos a dimensão associada é o raio da circunferência sobre a qual se dispõe o feixe), dimensões da linha de transmissão, que, por sua vez, estão associadas à geometria da torre.

Destacam-se por relevância para o presente trabalho aqueles que analisam a efetividade de feixes assimétricos. As variedades de assimetria analisadas são de feixes não circulares, feixes com condutores de seções transversais distintas ou a combinação das duas variações.

2.5.3 - Detalhamento

Os trabalhos que serão abordados aqui tratam do cálculo do campo elétrico superficial.

Em [36] o método desenvolvido (baseado no método da simulação de cargas otimizadas ou *optimized charge simulation method*, em inglês) visa prever a tensão mínima que irá gerar o efeito coroa. Considera a irregularidade da superfície dos condutores.

Em [37] é realizado o estudo do cálculo de campo elétrico superficial em linhas de 500 kV com 2, 3 e 4 subcondutores. Relaciona graficamente a tensão máxima com os parâmetros: altura das fases, espaçamento do feixe, distância entre fases e diâmetro do condutor. A tensão máxima é calculada para um campo elétrico superficial de 16,65 kV/cm.

Em [38] é feita a proposta de um método analítico para se determinar o campo elétrico superficial em feixes regulares baseado no método dos dipolos (*dipole method*, em inglês). Representam-se os condutores como linhas de carga compostas pela carga presente na superfície do condutor mais um conjunto de dipolos incluídos para considerar o efeito da proximidade dos

demais condutores. A formulação é mostrada e os resultados do cálculo para um feixe com dois condutores são confrontados com valores conhecidos. Demonstra-se que o método é preciso quando as distâncias entre os subcondutores são pequenas em relação ao diâmetro do condutor.

Em [39] é mostrado um método para cálculo de campo elétrico superficial e das linhas equipotenciais na vizinhança dos condutores.

Em [40] é analisado o campo elétrico no solo, o campo elétrico superficial, as perdas por coroa, a RI e o ruído audível. Observa-se uma variação linear entre RI e o máximo campo elétrico superficial.

Em [41] se estuda um feixe assimétrico com 6 subcondutores proposto para reduzir o efeito coroa. Os dois condutores inferiores do feixe possuem raios maiores do que os demais subcondutores.

Em [42] é apresentado um método para cálculo de RI em feixes de condutores. Propõe-se a simplificação do feixe em um único condutor equivalente. Relacionam-se condutores padronizados através do método de equivalência.

Em [43] é feita a formulação do cálculo do campo elétrico superficial sobre um condutor monofásico. Mostram-se estudos sobre feixes com 2, 3 e 4 subcondutores.

2.6 - DAS PROPOSTAS DE LINHA DE TRANSMISSÃO

Trata dos trabalhos que apresentam propostas de otimização de linhas de transmissão. Sobre este tópico foram encontrados trabalhos voltados para a elevação da potência natural da linha de transmissão e o cálculo da tensão ótima de operação.

Em [20], [21] e [22] é feita uma análise da proposta de LPNE com seis subcondutores à 500 kV a ser considerada na expansão do sistema elétrico de FURNAS, no Brasil. Em [23] são avaliadas as concepções de diversos tipos de LPNE's à 500 kV com quatro subcondutores por feixe em operação no Brasil, em uma análise comparativa de seus parâmetros elétricos e desempenho quanto a campo elétrico na superfície de seus condutores e campo elétrico e magnético ao nível do solo.

Os trabalhos [1] e [17] desenvolvem métodos que consideram diversos aspectos na otimização das linhas, dentre os quais se destaca o campo elétrico superficial nos condutores, fator determinante para o desempenho da linha quanto à ocorrência do efeito coroa.

Em [18] e [19] são apresentadas propostas de LPNE's com feixes não convencionais cujas configurações foram obtidas através de método de otimização implementado no programa LINOPT, que é descrito em [44].

O texto [45] apresenta uma proposta de cálculo da tensão ótima de operação com vistas aos custos associados a: condutores, compensação de potência reativa e perdas de energia.

O trabalho [46] propõe um modelo de linha de transmissão compacta para transmissão de grandes blocos de energia visando o melhor aproveitamento econômico dos recursos.

CAPÍTULO 3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

3.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentada a modelagem de linhas de transmissão formada pelo equacionamento de parâmetros elétricos longitudinais e transversais por unidade de comprimento da linha. Em seguida, serão apresentados os parâmetros em modos de componentes simétricas e uma análise numérica da participação de cada componente da impedância longitudinal de sequência positiva. Finalmente será apresentada a definição de potência característica de uma linha de transmissão e o seu significado no que se refere ao comportamento da linha em regime permanente.

3.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS LONGITUDINAIS

Os parâmetros elétricos longitudinais relacionam a queda de tensão nos condutores com a corrente conduzida pelos mesmos. Tal relação é descrita pela matriz de impedâncias longitudinais da linha. A equação (3.1) ilustra o sistema de equações lineares formado pelas relações entre as grandezas longitudinais dos *n* subcondutores das três fases da linha. Os índices *a*, *b* e *c* identificam as três fases, enquanto os sub-índices numeram os subcondutores de cada fase de 1 a *n*.

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{V}_{a_1} \\ \Delta\dot{V}_{b_1} \\ \Delta\dot{V}_{c_1} \\ \vdots \\ \Delta\dot{V}_{a_n} \\ \Delta\dot{V}_{b_n} \\ \Delta\dot{V}_{c_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{a_1a_1} & Z_{a_1b_1} & Z_{a_1c_1} & \cdots & Z_{a_1a_n} & Z_{a_1b_n} & Z_{a_1c_n} \\ Z_{b_1a_1} & Z_{b_1b_1} & Z_{b_1c_1} & \cdots & Z_{b_1a_n} & Z_{b_1b_n} & Z_{b_1c_n} \\ Z_{c_1a_1} & Z_{c_1b_1} & Z_{c_1c_1} & \cdots & Z_{c_1a_n} & Z_{c_1b_n} & Z_{c_1b_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{a_na_1} & Z_{a_nb_1} & Z_{a_nc_1} & \cdots & Z_{a_na_n} & Z_{a_nb_n} & Z_{a_nc_n} \\ Z_{b_na_1} & Z_{b_nb_1} & Z_{b_nc_1} & \cdots & Z_{b_na_n} & Z_{b_nb_n} & Z_{b_nc_n} \\ Z_{c_na_1} & Z_{c_nb_1} & Z_{c_nc_1} & \cdots & Z_{c_na_n} & Z_{c_nb_n} & Z_{c_nc_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{a_1} \\ \dot{I}_{b_1} \\ \dot{I}_{c_1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{a_n} \\ \dot{I}_{b_n} \\ \dot{I}_{c_n} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.1)}$$

Quanto à natureza, a matriz de impedâncias longitudinais por unidade de comprimento é composta pela impedância interna e pela impedância externa dos condutores. A primeira compõe

apenas a impedância própria (diagonal da matriz), uma vez que a distância entre os condutores e entre um condutor e o solo é normalmente muito superior ao seu diâmetro e tal impedância se refere ao campo elétrico e magnético encerrado por sua superfície; a segunda se refere ao campo elétrico e magnético externo aos condutores e, portanto, há forte interação entre os mesmos e, consequentemente, tem participação em todos os elementos da matriz: próprios e mútuos. Um dos métodos de cálculo da impedância externa é dividi-la em duas componentes: uma é calculada considerando o solo como um plano infinito e condutor ideal e a outra complementar que adiciona a participação do solo como um plano infinito homogêneo com condutividade finita. A formulação de tais parâmetros é explicada no APÊNDICE A e, conforme exposto, a composição de cada elemento diagonal da matriz se dá na forma:

$$Z_{i,i} = Z_{\text{int}\,i} + j \cdot X_{ext\,i,i} + Z_{soloi,i} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Fora da diagonal (impedâncias mútuas) a expressão passa a ser:

$$Z_{i,p} = j \cdot X_{ext\,i,p} + Z_{soloi,p} \qquad \textbf{(3.3)}$$

Onde:

$Z_{\text{int}\,i}$: é a impedância interna do condutor;

$X_{ext\,i,i}$: é a reatância externa do condutor, considerando solo e condutor como condutores ideais;

$Z_{soloi,i}$: é a contribuição do solo com condutividade finita.

3.3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS TRANSVERSAIS

Os parâmetros elétricos transversais relacionam a variação longitudinal de corrente, ou simplesmente corrente transversal, com a tensão transversal da linha. Equacionando estas

relações para cada condutor da linha de transmissão tem-se o sistema de equações lineares representado na forma matricial pela equação (3.4):

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{t\,a_1} \\ \dot{I}_{t\,b_1} \\ \dot{I}_{t\,c_1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{t\,a_n} \\ \dot{I}_{t\,b_n} \\ \dot{I}_{t\,c_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{a_1a_1} & Y_{a_1b_1} & Y_{a_1c_1} & \cdots & Y_{a_1a_n} & Y_{a_1b_n} & Y_{a_1c_n} \\ Y_{b_1a_1} & Y_{b_1b_1} & Y_{b_1c_1} & \cdots & Y_{b_1a_n} & Y_{b_1b_n} & Y_{b_1c_n} \\ Y_{c_1a_1} & Y_{c_1b_1} & Y_{c_1c_1} & \cdots & Y_{c_1a_n} & Y_{c_1b_n} & Y_{c_1b_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{a_na_1} & Y_{a_nb_1} & Y_{a_nc_1} & \cdots & Y_{a_na_n} & Y_{a_nb_n} & Y_{a_nc_n} \\ Y_{b_na_1} & Y_{b_nb_1} & Y_{b_nc_1} & \cdots & Y_{b_na_n} & Y_{b_nb_n} & Y_{b_nc_n} \\ Y_{c_na_1} & Y_{c_nb_1} & Y_{c_nc_1} & \cdots & Y_{c_na_n} & Y_{c_nb_n} & Y_{c_nc_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{V}_{a_1} \\ \dot{V}_{b_1} \\ \dot{V}_{c_1} \\ \vdots \\ \dot{V}_{a_n} \\ \dot{V}_{b_n} \\ \dot{V}_{c_n} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.4)}$$

As admitâncias são basicamente constituídas pelas capacitâncias próprias e mútuas dos subcondutores, derivadas do equacionamento do campo elétrico concatenado entre os mesmos e com o solo. Há também o efeito de condutâncias devido às correntes nos isoladores e ao efeito coroa, mas para o propósito do presente trabalho estas condutâncias serão desprezadas. O APÊNDICE A mostra as formulações das admitâncias próprias e mútuas por unidade de comprimento dos condutores.

3.4 - PARÂMETROS ELÉTRICOS EM COMPONENTES SIMÉTRICAS

As seções anteriores tratam os parâmetros elétricos como relações entre as grandezas elétricas presentes em cada subcondutor da linha de transmissão. Para relacionar as grandezas em componentes de fase é preciso reduzir as matrizes de impedâncias longitudinais por unidade de comprimento e a matriz de admitâncias transversais por unidade de comprimento a matrizes de ordem 3, conforme é ilustrado em (3.5) e (3.6):

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.5)}$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} & Y_{ac} \\ Y_{ba} & Y_{bb} & Y_{bc} \\ Y_{ca} & Y_{cb} & Y_{cc} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.6)}$$

Com a aplicação da transposição da linha, pode-se considerar que, para a frequência de operação, os parâmetros próprios e mútuos assumem os valores médios da diagonal e fora da diagonal das matrizes respectivamente, assim, as matrizes de parâmetros longitudinais e transversais por unidade de comprimento assumem a forma ilustrada em (3.7) e (3.8).

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_P & Z_M & Z_M \\ Z_M & Z_P & Z_M \\ Z_M & Z_M & Z_P \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.7)}$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_P & Y_M & Y_M \\ Y_M & Y_P & Y_M \\ Y_M & Y_M & Y_P \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.8)}$$

Dentre as possíveis transformações fase-modo para a linha balanceada foi utilizada a transformada de Fortescue ou de sequência, de modo a obter três modos de operação desacoplados: de sequência positiva, negativa e zero. O objetivo do trabalho se concentra em analisar os parâmetros de sequência positiva que corresponde ao modo pelo qual a potência é transmitida. Os parâmetros de sequência positiva são calculados conforme mostram as equações (3.9) e (3.10):

$$Z^+ = Z_P - Z_M \quad \textbf{(3.9)}$$

$$Y^+ = Y_P - Y_M \quad \textbf{(3.10)}$$

A redução das matrizes, a transposição da linha e os modos de componentes simétricas são descritos no Apêndice B e no Apêndice C, respectivamente.

3.5 - ANÁLISE NUMÉRICA DA PARTICIPAÇÃO DAS COMPONENTES DA IMPEDÂNCIA LONGITUDINAL DE SEQUÊNCIA POSITIVA

Para exemplificar o valor das componentes da impedância longitudinal será adotada como exemplo a configuração de uma linha de transmissão de 765 kV.

Serão calculadas as matrizes reduzidas a elementos trifásicos a partir das matrizes primitivas compostas por:

- Reatâncias externas: jX_{ext};
- Reatâncias externas com adição da contribuição do solo: $jX_{ext} + Z_{solo}$;
- Reatâncias externas com adição da impedância interna do condutor: $jX_{ext} + Z_{int}$;
- Reatâncias externas com adição da impedância interna do condutor e contribuição do solo: Z_{long}.

Os valores calculados serão comparados para evidenciar a participação de cada parcela impedância de sequência positiva. Os cabos pára-raios não serão incluídos nesta análise por não contribuírem para a operação equilibrada (ou de sequência positiva).

Os parâmetros são calculados para a altura média dos cabos, que é calculada como:

$$h_{med} = h_{torre} - \frac{2}{3} flecha \qquad \textbf{(3.11)}$$

Onde h_{med} e h_{torre} representam a altura média dos condutores e a altura na torre respectivamente. A *flecha* se refere à diferença entre a altura dos condutores na torre e a meio vão.

A linha em questão possui feixes formados por quatro cabos do tipo Bluejay dispostos em uma circunferência e igualmente espaçados (feixe regular). A Figura 3.1 mostra a silhueta da torre e a Tabela 3.1 mostra os dados dos cabos.

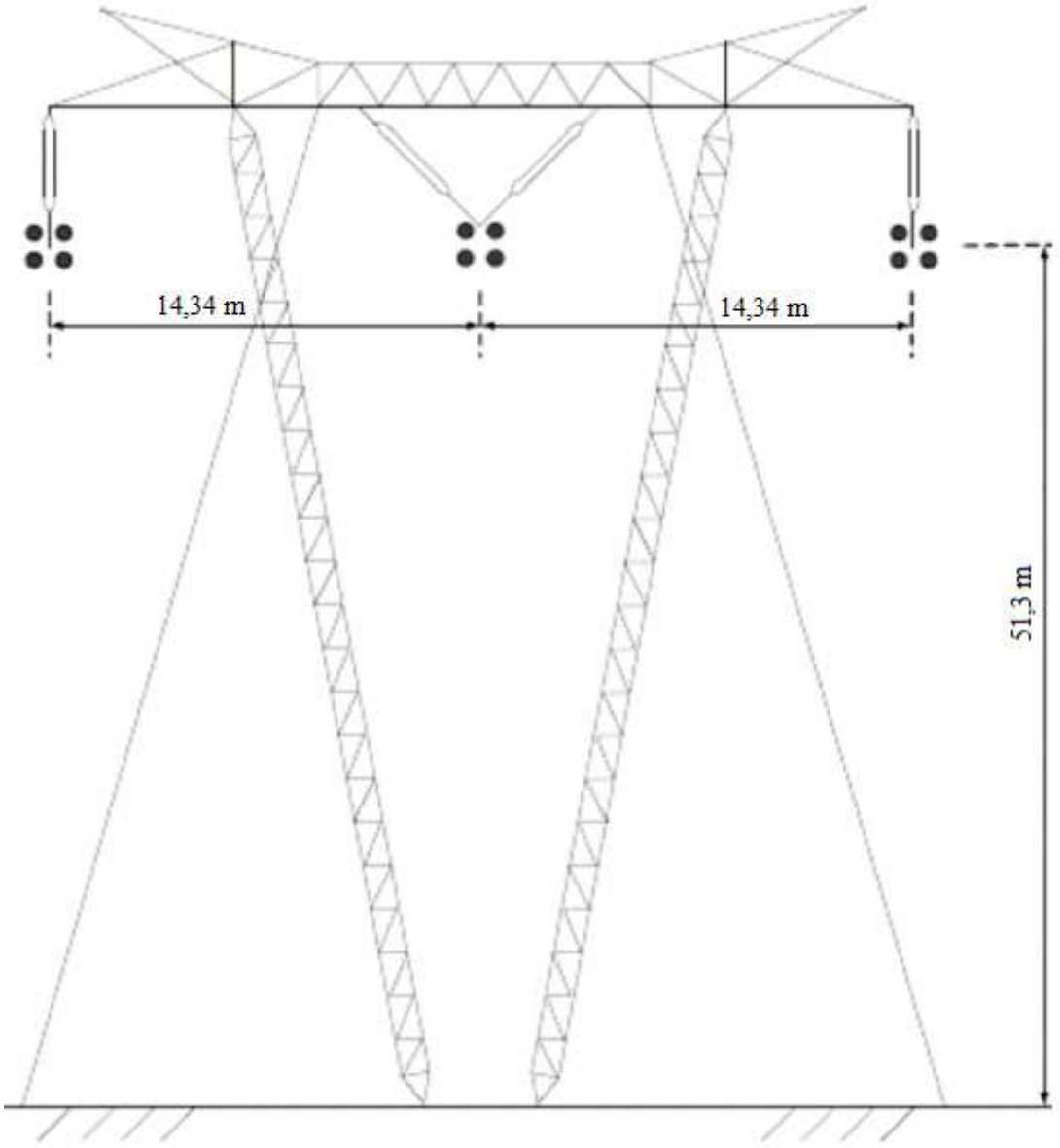

Figura 3.1: Silhueta da torre da linha de transmissão.

Tabela 3.1 - Dados dos cabos de fase.

Diâmetro externo do condutor (mm)	31,95
Diâmetro interno do condutor (mm)	7,99
Resistência a corrente contínua (Ω/km)	0,0509
Temperatura (°C)	50
Permeabilidade magnética relativa	1
Permissividade relativa	1
Flecha a meio vão (m)	14,94

Através de (A.31) pode-se calcular o valor da impedância interna por unidade de comprimento do cabo condutor para operação a 60 Hz:

$$Z_{\text{int}} = 0{,}05256 + \text{j} \cdot 0{,}01656 \left[\Omega / km\right] \text{ (para um único condutor)} \qquad \textbf{(3.12)}$$

Nota-se que o valor da resistência interna unitária é superior ao valor da reatância interna unitária. Numericamente:

$$\frac{\left|X_{\text{int}}\right|}{\left|R_{\text{int}}\right|} = \frac{\left|j \cdot 0{,}01656\right|}{\left|0{,}05256\right|} = 31{,}5\% \qquad \textbf{(3.13)}$$

Para a mesma linha de transmissão tem-se que a matriz de reatâncias externas unitárias reduzida aos elementos de fase vale:

$$X_{ext} = \begin{bmatrix} \text{j} \cdot 0{,}4486 & \text{j} \cdot 0{,}1332 & \text{j} \cdot 0{,}0841 \\ \text{j} \cdot 0{,}1332 & \text{j} \cdot 0{,}4486 & \text{j} \cdot 0{,}1332 \\ \text{j} \cdot 0{,}0841 & \text{j} \cdot 0{,}1332 & \text{j} \cdot 0{,}4486 \end{bmatrix} \quad \Omega / km \qquad \textbf{(3.14)}$$

A impedância de sequência positiva unitária correspondente vale[1]:

$$X_{ext}^{+} = j \cdot 0{,}3317 \left[\Omega / km\right] \qquad \textbf{(3.15)}$$

Incluindo a impedância interna unitária do condutor a matriz reduzida de impedâncias longitudinais por unidade de comprimento passa a valer:

$$X_{ext} + Z_{\text{int}} = \begin{bmatrix} 0{,}0131 + \text{j} \cdot 0{,}4527 & \text{j} \cdot 0{,}1332 & \text{j} \cdot 0{,}0841 \\ \text{j} \cdot 0{,}1332 & 0{,}0131 + \text{j} \cdot 0{,}4527 & \text{j} \cdot 0{,}1332 \\ \text{j} \cdot 0{,}0841 & \text{j} \cdot 0{,}1332 & 0{,}0131 + \text{j} \cdot 0{,}4527 \end{bmatrix} \Omega / km \qquad \textbf{(3.16)}$$

A impedância de sequência positiva unitária correspondente vale[2]:

[1] Significa o valor da impedância de sequência positiva quando se considera o solo como um plano infinito condutor ideal e despreza-se a impedância interna dos cabos.

[2] Significa o valor da impedância de sequência positiva quando se considera o solo como um plano infinito condutor ideal.

$$\left(X_{ext} + Z_{\text{int}}\right)^{+} = 0{,}0131 + \text{j} \cdot 0{,}3359 \qquad \Omega / km \tag{3.17}$$

A inclusão da contribuição do solo somada à matriz de reatâncias externas unitárias resulta na seguinte matriz reduzida de impedâncias longitudinais por unidade de comprimento:

$$X_{ext} + Z_{solo} = \begin{bmatrix} 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}6677 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}3512 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}2990 \\ 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}3512 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}6677 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}3512 \\ 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}2990 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}3512 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}6677 \end{bmatrix} \Omega / km \tag{3.18}$$

A impedância de sequência positiva unitária correspondente vale[3]:

$$\left(X_{ext} + Z_{solo}\right)^{+} = 0{,}0068 + \text{j} \cdot 0{,}3339 \qquad \Omega / km \tag{3.19}$$

Com ambas a contribuição do solo e a impedância interna unitária somadas à matriz de reatâncias externas unitárias resulta na seguinte matriz reduzida de impedâncias longitudinais por unidade de comprimento:

$$Z_{long} = \begin{bmatrix} 0{,}0694 + \text{j} \cdot 0{,}6719 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}3512 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}2990 \\ 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}3512 & 0{,}0694 + \text{j} \cdot 0{,}6719 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}3512 \\ 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}2990 & 0{,}0563 + \text{j} \cdot 0{,}3512 & 0{,}0694 + \text{j} \cdot 0{,}6719 \end{bmatrix} \Omega / km \tag{3.20}$$

A impedância de sequência positiva unitária correspondente vale:

$$Z_{long}^{+} = 0{,}0131 + \text{j} \cdot 0{,}3380 \qquad \Omega / km \tag{3.21}$$

As impedâncias unitárias própria e mútua decorrentes da contribuição do solo são muito próximas, resultando em um acréscimo pouco significativo à impedância longitudinal unitária de sequência positiva.

[3] Significa o valor da impedância de sequência positiva quando se despreza a impedância interna dos cabos.

Nota-se aqui que a reatância externa unitária é a componente dominante da impedância longitudinal de sequência positiva por unidade de comprimento. Numericamente:

$$\frac{\left|\left(X_{ext}+Z_{\text{int}}\right)^{+}-X_{ext}^{+}\right|}{\left|X_{ext}^{+}\right|}=\frac{\left|0{,}0131+\text{j}\cdot 0{,}3359\right|}{\left|\text{j}\cdot 0{,}3317\right|}=4{,}15\% \qquad \textbf{(3.22)}$$

$$\frac{\left|\left(X_{ext}+Z_{solo}\right)^{+}-X_{ext}^{+}\right|}{\left|X_{ext}^{+}\right|}=\frac{\left|0{,}0068+\text{j}\cdot 0{,}3339\right|}{\left|\text{j}\cdot 0{,}3317\right|}=0{,}65\% \qquad \textbf{(3.23)}$$

$$\frac{\left|Z_{long}^{+}-X_{ext}^{+}\right|}{\left|X_{ext}^{+}\right|}=\frac{\left|0{,}0131+\text{j}\cdot 0{,}3380\right|}{\left|\text{j}\cdot 0{,}33244\right|}=4{,}39\% \qquad \textbf{(3.24)}$$

Os resultados numéricos mostram que um processo de minimização da impedância longitudinal de sequência positiva unitária deve ser majoritariamente um processo de redução da reatância externa de sequência positiva por unidade de comprimento.

3.6 - POTÊNCIA CARACTERÍSTICA

0A potência característica de uma linha de transmissão trifásica é definida como:

$$P_c=\frac{\dot{V}_g^{\,2}}{Z_c} \qquad \textbf{(3.25)}$$

Onde V_g é a tensão de operação e Z_c é a impedância característica de sequência positiva da linha de transmissão.

Supondo que a linha de transmissão em regime permanente possa ser representada por sua componente de sequência positiva e que a linha esteja conduzindo corrente característica, dada por:

$$\dot{I}_c=\frac{\dot{V}_g}{Z_c} \qquad \textbf{(3.26)}$$

De acordo com a equação (C.84), a tensão em um dado ponto *x* qualquer da linha, sendo a origem medida no terminal da geração e V_g a tensão na geração, será:

$$\dot{V}(x) = \dot{V}_g \left[\cosh(\gamma \cdot x) - senh(\gamma \cdot x)\right] \quad \textbf{(3.27)}$$

Simplificando a expressão tem-se:

$$\dot{V}(x) = \dot{V}_g \cdot e^{-\gamma \cdot x} \quad \textbf{(3.28)}$$

Desprezando-se as perdas na linha (resistência nula), a expressão (3.28) pode ser reescrita como:

$$\dot{V}(x) = \dot{V}_g \cdot e^{-j \cdot \beta \cdot x} \quad \textbf{(3.29)}$$

Ou seja, em uma linha sem perdas transmitindo potência característica, o módulo da tensão em qualquer ponto da linha será constante e igual à tensão no terminal gerador. A defasagem da tensão no ponto *x* é dada por $\beta \cdot x$.

Analogamente, de acordo com a equação (C.85), a corrente em um dado ponto *x* qualquer da linha será:

$$\dot{I}(x) = \dot{I}_c \left[- senh(\gamma \cdot x) + \cosh(\gamma \cdot x)\right] \quad \textbf{(3.30)}$$

Simplificando a expressão tem-se:

$$\dot{I}(x) = \dot{I}_c \cdot e^{-\gamma \cdot x} \quad \textbf{(3.31)}$$

Assim como a tensão, a corrente elétrica na linha sem perdas terá módulo constante ao longo da linha quando esta estiver transmitindo potência característica, a defasagem da corrente

no ponto x é igualmente dada por $\beta \cdot x$, ou seja, ao longo da linha, tensão e corrente elétrica estarão em fase, transmitindo apenas potência ativa.

A potência reativa por unidade de comprimento consumida pela linha sem perdas transmitindo potência característica é dada por:

$$Q_L = I_c^2 \cdot X \tag{3.32}$$

Onde X é a reatância longitudinal por unidade de comprimento da linha. Substituindo (3.26) tem-se:

$$Q_L = \left(\frac{V_g}{Z_c}\right)^2 \cdot X \tag{3.33}$$

Para linha sem perdas tem-se:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{3.34}$$

Substituindo (3.34) em (3.33) tem-se:

$$Q_L = \frac{V_g^2}{\left(\frac{L}{C}\right)} \cdot \omega L \tag{3.35}$$

Ou então:

$$Q_L = V_g^2 \cdot \omega C \tag{3.36}$$

A expressão (3.36) equivale à potência reativa por unidade de comprimento gerada pela linha, ou seja, há equilíbrio entre a potência reativa gerada e a consumida pela linha. Assim, a

potência característica pode ser considerada uma referência para a capacidade de transmissão da linha.

Considerando que a tensão no gerador seja a referência (ângulo de fase zero), e que a mesma é determinada pelo sistema elétrico ao qual a linha de transmissão está acoplada, para o aumento da potência característica faz-se necessário a redução da impedância característica, que é o objetivo do presente trabalho.

A impedância característica apresenta uma parcela reativa capacitiva, que normalmente é muito inferior à parcela resistiva. Nas análises realizadas a potência característica será apresentada como potência ativa, por se tratar da componente de interesse.

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA IMPEDÂNCIA LONGITUDINAL DE SEQUÊNCIA POSITIVA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES

4.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado o cálculo das derivadas da reatância externa de sequência positiva em relação às posições horizontais e verticais dos condutores, dadas na silhueta da torre. O valor das derivadas fornece a sensibilidade da reatância externa em relação às posições dos condutores e irá permitir a aplicação do método do gradiente para minimizar a impedância característica de sequência positiva.

De modo distinto do presente trabalho, em [1] se estudam feixes regulares e através do desenvolvimento analítico direto são analisadas as sensibilidades do raio do feixe em relação ao número de subcondutores, raio do condutor, distância de isolação entre fases e tensão de operação da linha quando se impõe que o campo elétrico superficial nos condutores seja igual ao campo elétrico crítico.

4.2 - FORMA RECURSIVA DA REDUÇÃO DE KRON

O objetivo da redução de Kron [47] é chegar à matriz reduzida de ordem 3×3, que corresponde ao equivalente trifásico da linha de transmissão. O elemento (*i, p*) da matriz reduzida à ordem 3×3 pode ser expresso da seguinte forma:

$$Z^3_{i,p} = Z^4_{i,p} - \frac{Z^4_{i,4}\cdot Z^4_{4,p}}{Z^4_{4,4}} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Da mesma forma o elemento (*i, p*) da matriz reduzida à ordem 4×4 é dado por:

$$Z^4_{i,p} = Z^5_{i,p} - \frac{Z^5_{i,5}\cdot Z^5_{5,p}}{Z^5_{5,5}} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Substituindo a (4.2) em (4.1), tem-se:

$$Z_{i,p}^{3} = \left(Z_{i,p}^{5} - \frac{Z_{i,5}^{5} \cdot Z_{5,p}^{5}}{Z_{5,5}^{5}} \right) - \frac{Z_{i,4}^{4} \cdot Z_{4,p}^{4}}{Z_{4,4}^{4}} \qquad \textbf{(4.3)}$$

Analogamente, o elemento (*i, p*) da matriz reduzida à ordem 5×5, pode ser substituído em função da matriz reduzida à ordem 6×6:

$$Z_{i,p}^{3} = \left(\left(Z_{i,p}^{6} - \frac{Z_{i,6}^{6} \cdot Z_{6,p}^{6}}{Z_{6,6}^{6}} \right) - \frac{Z_{i,5}^{5} \cdot Z_{5,p}^{5}}{Z_{5,5}^{5}} \right) - \frac{Z_{i,4}^{4} \cdot Z_{4,p}^{4}}{Z_{4,4}^{4}} \qquad \textbf{(4.4)}$$

Continuando o mesmo processo até a dimensão da matriz condicionada, $3n \times 3n$, tem-se:

$$Z_{i,p}^{3} = Z_{i,p}^{3n} - \frac{Z_{i,3n}^{3n} \cdot Z_{3n,p}^{3n}}{Z_{3n,3n}^{3n}} - \frac{Z_{i,3n-1}^{3n-1} \cdot Z_{3n-1,p}^{3n-1}}{Z_{3n-1,3n-1}^{3n-1}} \ldots - \frac{Z_{i,5}^{5} \cdot Z_{5,p}^{5}}{Z_{5,5}^{5}} - \frac{Z_{i,4}^{4} \cdot Z_{4,p}^{4}}{Z_{4,4}^{4}} \qquad \textbf{(4.5)}$$

Pode-se perceber que a redução de Kron segue uma expansão em série recursiva, ou seja, os elementos *k* da série são funções dos elementos *k*-1.

$$Z_{i,p}^{3} = Z_{i,p}^{3n} - \sum_{k=4}^{3n} \frac{Z_{i,k}^{k} \cdot Z_{k,p}^{k}}{Z_{k,k}^{k}} \qquad \textbf{(4.6)}$$

4.3 - EXPANSÃO DA DERIVADA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES

O objetivo de toda a análise precedente é encontrar o gradiente da impedância de sequência positiva em relação às posições dos condutores, definidas no plano cartesiano (*x, y*), referidas ao plano transversal.

Derivando a (4.5) em relação à posição horizontal do condutor *3n*, denominada x_{3n}, tem-se:

$$\frac{\partial Z_{i,p}^{3}}{\partial x_{3n}} = \frac{\partial Z_{i,p}^{3n}}{\partial x_{3n}} - \frac{\partial \left(\frac{Z_{i,3n}^{3n} \cdot Z_{3n,p}^{3n}}{Z_{3n,3n}^{3n}} \right)}{\partial x_{3n}} - \frac{\partial \left(\frac{Z_{i,3n-1}^{3n-1} \cdot Z_{3n-1,p}^{3n-1}}{Z_{3n-1,3n-1}^{3n-1}} \right)}{\partial x_{3n}} \ldots - \frac{\partial \left(\frac{Z_{i,4}^{4} \cdot Z_{4,p}^{4}}{Z_{4,4}^{4}} \right)}{\partial x_{3n}} \qquad \textbf{(4.7)}$$

O primeiro termo à direita da igualdade de (4.7) é nulo, pois o elemento (*i, p*) da matriz condicionada não varia com a posição do condutor *3n*.

O segundo termo pode ser obtido a partir das regras de derivação e tem a seguinte forma:

$$\frac{\partial\left(\frac{Z_{i,3n}^{3n}\cdot Z_{3n,p}^{3n}}{Z_{3n,3n}^{3n}}\right)}{\partial x_{3n}}=\frac{Z_{3n,p}^{3n}\cdot Z_{3n,3n}^{3n}\cdot\frac{\partial Z_{i,3n}^{3n}}{\partial x_{3n}}+Z_{i,3n}^{3n}\cdot Z_{3n,3n}^{3n}\cdot\frac{\partial Z_{3n,p}^{3n}}{\partial x_{3n}}-Z_{i,3n}^{3n}\cdot Z_{3n,p}^{3n}\cdot\frac{\partial Z_{3n,3n}^{3n}}{\partial x_{3n}}}{\left(Z_{3n,3n}^{3n}\right)^2} \qquad \textbf{(4.8)}$$

Os elementos $Z_{i,3n}^{3n}$, $Z_{3n,p}^{3n}$ e $Z_{3n,3n}^{3n}$ são elementos da matriz condicionada e as suas derivadas em relação a x_{3n} são obtidas derivando-se os elementos da matriz condicionada, cujas expressões algébricas são conhecidas. Estes elementos serão denominados derivadas primitivas.

Os demais termos têm a seguinte forma:

$$\frac{\partial\left(\frac{Z_{i,k}^{k}\cdot Z_{k,p}^{k}}{Z_{k,k}^{k}}\right)}{\partial x_{3n}}=\frac{Z_{k,p}^{k}\cdot Z_{k,k}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{i,k}^{k}}{\partial x_{3n}}+Z_{i,k}^{k}\cdot Z_{k,k}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{k,p}^{k}}{\partial x_{k}}-Z_{i,k}^{k}\cdot Z_{k,p}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{k,k}^{k}}{\partial x_{3n}}}{\left(Z_{k,k}^{k}\right)^2} \qquad \textbf{(4.9)}$$

Os elementos $Z_{i,k}^{k}$, $Z_{k,p}^{k}$ e $Z_{k,k}^{k}$ são elementos da matriz reduzida à dimensão *k* e podem ser obtidos diretamente da redução de Kron.

Substituindo a expressão (4.9), para *k* variando de 4 a *3n*, em (4.7) resulta na seguinte expressão:

$$\frac{\partial Z_{i,p}^{3}}{\partial x_{3n}}=-\sum_{k=4}^{3n}\left(\frac{Z_{k,p}^{k}\cdot Z_{k,k}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{i,k}^{k}}{\partial x_{3n}}+Z_{i,k}^{k}\cdot Z_{k,k}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{k,p}^{k}}{\partial x_{3n}}-Z_{i,k}^{k}\cdot Z_{k,p}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{k,k}^{k}}{\partial x_{3n}}}{\left(Z_{k,k}^{k}\right)^2}\right) \qquad \textbf{(4.10)}$$

Ou, generalizando para a matriz reduzida à dimensão *m*:

(4.11)

$$\frac{\partial Z_{i,p}^{m}}{\partial x_{3n}} = -\sum_{k=m+1}^{3n}\left(\frac{Z_{k,p}^{k}\cdot Z_{k,k}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{i,k}^{k}}{\partial x_{3n}} + Z_{i,k}^{k}\cdot Z_{k,k}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{k,p}^{k}}{\partial x_{3n}} - Z_{i,k}^{k}\cdot Z_{k,p}^{k}\cdot\frac{\partial Z_{k,k}^{k}}{\partial x_{3n}}}{\left(Z_{k,k}^{k}\right)^{2}}\right)$$

A expressão (4.11) estabelece a relação de recursividade entre a derivada dos elementos da matriz reduzida à ordem $k \times k$ como função dos elementos de todas as matrizes reduzidas a ordens maiores que *k*.

A expressão (4.10) vai fornecer a sensibilidade de cada um dos elementos da matriz equivalente trifásica da linha de transmissão em relação à posição horizontal do condutor *3n*. O cálculo da sensibilidade da impedância de sequência positiva em relação a x_{3n} é feito considerando que a linha é transposta para a frequência de operação, ou seja:

$$\frac{\partial Z^{+}}{\partial x_{3n}} = \frac{\partial Z_{P}}{\partial x_{3n}} - \frac{\partial Z_{M}}{\partial x_{3n}} \qquad \textbf{(4.12)}$$

Onde as sensibilidades das impedâncias própria e mútua em relação a x_{3n} são dadas por:

$$\frac{\partial Z_{P}}{\partial x_{3n}} = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}\frac{\partial Z_{i,i}^{3}}{\partial x_{3n}} \qquad \textbf{(4.13)}$$

$$\frac{\partial Z_{M}}{\partial x_{3n}} = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}\sum_{p=i+1}^{3}\frac{\partial Z_{i,p}^{3}}{\partial x_{3n}} \qquad \textbf{(4.14)}$$

A sensibilidade de Z^{+} em relação à posição horizontal dos demais condutores é calculada fazendo-se a troca de linhas e colunas da matriz primitiva de forma que em cada etapa cada um dos *3n* condutores fique na última posição da matriz. O procedimento de cálculo é então executado em cada etapa.

O cálculo das sensibilidades em relação às posições verticais dos condutores é análogo, com diferença no cálculo das derivadas primitivas.

A composição do vetor gradiente da impedância de sequência positiva em relação às coordenadas (*x,y*) de todos os condutores da linha é feita em função da expressão (4.12).

$$\nabla Z^{+}(x,y)=\left(\frac{\partial Z^{+}}{\partial x_1},\frac{\partial Z^{+}}{\partial y_1},\frac{\partial Z^{+}}{\partial x_2},\frac{\partial Z^{+}}{\partial y_2},\ldots\frac{\partial Z^{+}}{\partial x_{3n}},\frac{\partial Z^{+}}{\partial y_{3n}}\right) \quad \textbf{(4.15)}$$

Representando o gradiente em sua forma compacta:

$$\nabla Z^{+}(x,y)=\left(\frac{\partial Z^{+}}{\partial x},\frac{\partial Z^{+}}{\partial y}\right) \quad \textbf{(4.16)}$$

Onde x e y são vetores que contêm todas as posições horizontais e verticais dos condutores da linha.

4.4 - DERIVADA DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS CONDICIONADA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES

Conforme visto, a variação da impedância de sequência positiva em relação à posição dos condutores pode ser obtida em função da própria matriz primitiva e das derivadas da mesma. Das componentes da matriz primitiva, apenas a reatância externa e a impedância do solo irão variar com a posição dos condutores, já que a impedância interna, por definição, não é sensível a estas variáveis. Assim, a sensibilidade da matriz de impedâncias longitudinais em relação à posição horizontal de um condutor *i* qualquer será:

$$\frac{\partial[Z]}{\partial x_i}=\frac{\partial[X_{ext}]}{\partial x_i}+\frac{\partial[Z_{solo}]}{\partial x_i} \quad \textbf{(4.17)}$$

Analogamente:

$$\frac{\partial[Z]}{\partial y_i}=\frac{\partial[X_{ext}]}{\partial y_i}+\frac{\partial[Z_{solo}]}{\partial y_i} \quad \textbf{(4.18)}$$

A sensibilidade da contribuição do solo será desprezada por ter pequena participação na impedância de sequência positiva. A matriz condicionada será então calculada em função da reatância externa.

Definindo os condutores de referência nas três primeiras posições da matriz primitiva a matriz condicionada será formada por quatro regiões marcadas pelas três primeiras linhas e colunas a serem identificadas por $i \leq 3$ ou $i > 3$. Assim, as expressões algébricas da matriz condicionada, em função das reatâncias externas, tomam a forma:

$$Z''_{k,i} = j \cdot \omega \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \begin{cases} \ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right) & se\ i \leq 3 \\ \ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right) - \left[\ln\left(\frac{D_{k,m}}{d_{k,m}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,m}}{d_{n,m}}\right)\right] & se\ i > 3 \end{cases} \quad \textbf{(4.19)}$$

Onde *n* é o índice do condutor de referência da fase que contém o condutor *k*, e *m* é o condutor de referência da fase que contém o condutor *i*.

Para $i = k > 3$ tem-se:

$$Z''_{k,k} = j \cdot \omega \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \left\{ \ln\left(\frac{2 \cdot y_k}{r_k}\right) - \ln\left(\frac{D_{k,n}}{d_{k,n}}\right) - \left[\ln\left(\frac{D_{k,n}}{d_{k,n}}\right) - \ln\left(\frac{2 \cdot y_n}{r_n}\right)\right] \right\} \quad \textbf{(4.20)}$$

Simplificando a expressão:

$$Z''_{k,k} = j \cdot \omega \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \left\{ \ln\left(\frac{y_k}{r_k}\right) + \ln\left(\frac{y_n}{r_n}\right) - 2 \cdot \ln\left(\frac{D_{k,n}}{d_{k,n}}\right) \right\} \quad \textbf{(4.21)}$$

As derivadas que interessam são da última linha ou coluna da matriz condicionada ($k = 3n$), as quais serão utilizadas para o cálculo das derivadas das matrizes reduzidas a ordens inferiores, conforme a expressão (4.11). Fazendo $k = 3n$ as derivadas dos elementos da matriz condicionada em relação à posição do condutor x_k serão:

$$\frac{\partial Z''_{k,i}}{\partial x_k} = j \cdot \omega \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\partial}{\partial x_k} \begin{cases} \ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right) & se\ \ i \le 3 \\ \ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right) - \left[\ln\left(\frac{D_{k,m}}{d_{k,m}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,m}}{d_{n,m}}\right)\right] & se\ \ i > 3 \end{cases} \quad \textbf{(4.22)}$$

Calculando o termo comum às expressões:

$$\frac{\partial}{\partial x_k} \ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) = \frac{\partial}{\partial x_k}\left(\frac{\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i + y_k)^2}}{\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2}}\right) \quad \textbf{(4.23)}$$

Desenvolvendo-se a derivada tem-se:

$$\frac{\partial}{\partial x_k} \ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) = \frac{x_i - x_k}{(y_i - y_k)^2 + (x_i - x_k)^2} - \frac{x_i - x_k}{(y_i + y_k)^2 + (x_i - x_k)^2} \quad \textbf{(4.24)}$$

Fazendo:

$$x_{k,i} = x_i - x_k \quad \textbf{(4.25)}$$

$$D_{k,i} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i + y_k)^2} \quad \textbf{(4.26)}$$

$$d_{k,i} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \quad \textbf{(4.27)}$$

Chega-se a:

$$\frac{\partial}{\partial x_k} \ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) = x_{k,i} \cdot \left(\frac{1}{d_{k,i}^2} - \frac{1}{D_{k,i}^2}\right) \quad \textbf{(4.28)}$$

Voltando à primeira expressão de (4.22):

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right)-\ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)\right]=\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)\right] \tag{4.29}$$

Como $D_{n,i}$ e $d_{n,i}$ não dependem de x_k tem-se:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right)-\ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)\right]=x_{k,i}\cdot\left(\frac{1}{d_{k,i}^2}-\frac{1}{D_{k,i}^2}\right) \tag{4.30}$$

Para a segunda expressão de (4.22) tem-se:

$$\begin{aligned}&\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right)-\ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,m}}{d_{k,m}}\right)-\ln\left(\frac{D_{n,m}}{d_{n,m}}\right)\right]=\\&\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,m}}{d_{k,m}}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{n,m}}{d_{n,m}}\right)\right]\end{aligned} \tag{4.31}$$

Como $D_{n,i}$, $D_{n,m}$, $d_{n,i}$ e $d_{n,m}$ não dependem de x_k tem-se:

$$\begin{aligned}&\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right)-\ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,m}}{d_{k,m}}\right)-\ln\left(\frac{D_{n,m}}{d_{n,m}}\right)\right]=\\&x_{k,i}\cdot\left(\frac{1}{d_{k,i}^2}-\frac{1}{D_{k,i}^2}\right)-x_{k,m}\cdot\left(\frac{1}{d_{k,m}^2}-\frac{1}{D_{k,m}^2}\right)\end{aligned} \tag{4.32}$$

Para $i=k>3$:

$$\frac{\partial Z''_{k,k}}{\partial x_k}=j\cdot\omega\cdot\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\frac{\partial}{\partial x_k}\left\{\ln\left(\frac{y_k}{r_k}\right)+\ln\left(\frac{y_n}{r_n}\right)-2\cdot\ln\left(\frac{D_{k,n}}{d_{k,n}}\right)\right\} \tag{4.33}$$

Os dois primeiros termos de (4.33) são nulos, portanto:

$$\frac{\partial Z''_{k,k}}{\partial x_k} = j\cdot\omega\cdot\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\frac{\partial}{\partial x_k}\left\{-2\cdot\ln\left(\frac{D_{k,n}}{d_{k,n}}\right)\right\} = j\cdot\omega\cdot\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\left\{-2\cdot x_{k,n}\cdot\left(\frac{1}{d_{k,n}^2}-\frac{1}{D_{k,n}^2}\right)\right\} \tag{4.34}$$

A expressão (4.22), com a substituição de (4.30), (4.32) e (4.34) toma a forma:

$$\frac{\partial Z''_{k,i}}{\partial x_k} = j\cdot\omega\cdot\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\begin{cases} x_{k,i}\cdot\left(\dfrac{1}{d_{k,i}^2}-\dfrac{1}{D_{k,i}^2}\right) & se\ \ i\le 3 \\ x_{k,i}\cdot\left(\dfrac{1}{d_{k,i}^2}-\dfrac{1}{D_{k,i}^2}\right)-x_{k,m}\cdot\left(\dfrac{1}{d_{k,m}^2}-\dfrac{1}{D_{k,m}^2}\right) & se\ \ i>3 \\ -2\cdot x_{k,n}\cdot\left(\dfrac{1}{d_{k,n}^2}-\dfrac{1}{D_{k,n}^2}\right) & se\ \ i=k \end{cases} \tag{4.35}$$

Analogamente a (4.22), a sensibilidade em relação a y_k será:

$$\frac{\partial Z''_{k,i}}{\partial y_k} = j\cdot\omega\cdot\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\frac{\partial}{\partial y_k}\begin{cases} \ln\left(\dfrac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right)-\ln\left(\dfrac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right) & se\ \ i\le 3 \\ \ln\left(\dfrac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right)-\ln\left(\dfrac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)-\left[\ln\left(\dfrac{D_{k,m}}{d_{k,m}}\right)-\ln\left(\dfrac{D_{n,m}}{d_{n,m}}\right)\right] & se\ \ i>3 \end{cases} \tag{4.36}$$

Calculando o termo comum da derivada:

$$\frac{\partial}{\partial y_k}\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) = \frac{\partial}{\partial y_k}\left(\frac{\sqrt{\left(x_i-x_k\right)^2+\left(y_i+y_k\right)^2}}{\sqrt{\left(x_i-x_k\right)^2+\left(y_i-y_k\right)^2}}\right) \tag{4.37}$$

Desenvolvendo-se a derivada tem-se:

$$\frac{\partial}{\partial y_k}\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) = \frac{y_i-y_k}{\left(y_i-y_k\right)^2+\left(x_i-x_k\right)^2}+\frac{y_i+y_k}{\left(y_i+y_k\right)^2+\left(x_i-x_k\right)^2} \tag{4.38}$$

Fazendo:

$$y_{k,i} = y_i - y_k \tag{4.39}$$

$$D_{k,i} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i + y_k)^2} \tag{4.40}$$

$$d_{k,i} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \tag{4.41}$$

Chega-se a:

$$\frac{\partial}{\partial y_k} \ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) = \frac{y_{k,i}}{d_{k,i}^2} + \frac{y_i + y_k}{D_{k,i}^2} \tag{4.42}$$

Portanto, como $D_{n,i}$ e $d_{n,i}$ não dependem de y_k tem-se:

$$\frac{\partial}{\partial y_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)\right] = \frac{y_{k,i}}{d_{k,i}^2} + \frac{y_i + y_k}{D_{k,i}^2} \tag{4.43}$$

A segunda expressão de (4.36) será:

$$\begin{aligned}&\frac{\partial}{\partial y_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,i}}{d_{k,i}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right)\right] - \frac{\partial}{\partial y_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,m}}{d_{k,m}}\right) - \ln\left(\frac{D_{n,m}}{d_{n,m}}\right)\right] = \\ &\frac{y_{k,i}}{d_{k,i}^2} + \frac{y_i + y_k}{D_{k,i}^2} - \left(\frac{y_{k,m}}{d_{k,m}^2} + \frac{y_m + y_k}{D_{k,m}^2}\right)\end{aligned} \tag{4.44}$$

Para $i = k > 3$:

$$\frac{\partial Z''_{k,k}}{\partial y_k} = j \cdot \omega \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\partial}{\partial y_k}\left\{\ln\left(\frac{y_k}{r_k}\right) + \ln\left(\frac{y_n}{r_n}\right) - 2 \cdot \ln\left(\frac{D_{k,n}}{d_{k,n}}\right)\right\} \tag{4.45}$$

Onde:

$$\frac{\partial}{\partial y_k}\left[\ln\left(\frac{y_k}{r_k}\right)\right]=\left(\frac{r_k}{y_k}\right)\cdot\frac{\partial}{\partial y_k}\left(\frac{y_k}{r_k}\right)=\left(\frac{r_k}{y_k}\right)\cdot\left(\frac{1}{r_k}\right)=\frac{1}{y_k} \qquad \textbf{(4.46)}$$

Pode-se verificar que o segundo termo de (4.45) é nulo, fazendo uso de (4.42) e (4.46), tem-se:

$$\frac{\partial Z''_{k,k}}{\partial y_k}=j\cdot\omega\cdot\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\frac{\partial}{\partial y_k}\left\{\frac{1}{y_k}-2\cdot\left(\frac{y_{k,n}}{d^2_{k,n}}+\frac{y_n+y_k}{D^2_{k,n}}\right)\right\} \qquad \textbf{(4.47)}$$

A expressão (4.36), com a substituição de (4.43), (4.44) e (4.47), toma a forma:

$$\frac{\partial Z''_{k,i}}{\partial y_k}=j\cdot\omega\cdot\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\begin{cases}\dfrac{y_{k,i}}{d^2_{k,i}}+\dfrac{y_i+y_k}{D^2_{k,i}} & se\ \ i\le 3\\ \dfrac{y_{k,i}}{d^2_{k,i}}+\dfrac{y_i+y_k}{D^2_{k,i}}-\left(\dfrac{y_{k,m}}{d^2_{k,m}}+\dfrac{y_m+y_k}{D^2_{k,m}}\right) & se\ \ i>3\\ \dfrac{1}{y_k}-2\cdot\left(\dfrac{y_{k,n}}{d^2_{k,n}}+\dfrac{y_n+y_k}{D^2_{k,n}}\right) & se\ \ i=k\end{cases} \qquad \textbf{(4.48)}$$

As expressões (4.35) e (4.48) vão fornecer as derivadas primitivas da matriz condicionada.

CAPÍTULO 5 - PRINCÍPIOS DE OTIMIZAÇÃO NÃO-LINEAR

5.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo irá apresentar os conceitos fundamentais da otimização não-linear e os princípios básicos do método do gradiente, que será utilizado no processo de otimização. Em seguida será apresentado o método do gradiente projetado, que será empregado para incluir a restrição do campo elétrico superficial. Não serão abordados aqui os métodos de segunda ordem, muito utilizados na prática por serem mais eficientes, mas cuja trajetória de otimização não é contínua, portanto, não permitem a análise que se deseja no presente.

Por se tratar de um problema não linear foi descartada a possibilidade de usar métodos de otimização linear (i.e. Simplex). Apesar de trazer elevado custo computacional ao processo, o método do gradiente foi escolhido para se obter os resultados gráficos apresentados no presente trabalho, onde são exibidas as trajetórias de otimização que permitem melhor visualização do que ocorre ao longo do processo, resultados que perderiam qualidade visual se fossem utilizados métodos de otimização de segunda ordem. Como as restrições de campo elétrico superficial são não lineares, foi empregado o método do gradiente projetado para evitar que as soluções caminhem para uma região não factível.

5.2 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO IRRESTRITA

Dado um conjunto $X \in \Re^n$ e uma função $f : X \to \Re$, denominada função objetivo, deseja-se encontrar $x^* \in X$ tal que, para todo $x \in X$, pode-se afirmar que $f(x) \geq f(x^*)$. A variável *x* é usualmente chamada de variável de controle ou variável de decisão. O problema de otimização é então dado por:

$$\min f(x) \qquad s.a. \qquad x \in X \tag{5.1}$$

5.3 - PRINCÍPIOS GERAIS DE RESOLUÇÃO

O problema de interesse é resolvido através de um algoritmo que constrói iterativamente $x_1, x_2, \ldots, x_k, \ldots$, onde *k* é o número da iteração. A cada etapa, para obter a próxima iteração, o algoritmo precisa saber alguma informação sobre o problema (*P*), essencialmente, o valor numérico de *f(x)* e o valor de *x* e suas derivadas.

A iteração de um algoritmo de otimização é constituída de duas etapas:

- O cálculo da direção: (*P*) é substituído por um modelo (P_k), que é mais simples; então (P_k) é resolvido para fornecer uma aproximação.
- Busca linear: o tamanho do passo $t_k > 0$ é calculado tal que $x_k + t_k \cdot d_k$ é "melhor" do que x_k em termos de (*P*).
- O novo ponto após a iteração é então $x_{k+1} = x_k + t_k \cdot d_k$.

5.4 - MÉTODO DAS APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS OU MÉTODO DO GRADIENTE

Supondo um problema representado pela função objetivo *f(x)*, positiva e diferenciável em *X*, sua forma linearizada para um dado deslocamento $t_k.d_k$ em torno do ponto x_k será:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + t_k \cdot g(x_k)^T d_k + r(t_k \cdot d_k) \qquad \textbf{(5.2)}$$

Sendo *g(x)* o gradiente de *f(x)*, ou seja:

$$g(x_k) = \left.\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right|_{x=x_k} \qquad \textbf{(5.3)}$$

E o novo ponto de operação é dado por:

$$x_{k+1} = x_k + t_k \cdot d_k \tag{5.4}$$

O termo $r(t_k \cdot d_k)$ representa os termos de segunda ordem e ordem superior. A direção d_k é calculada segundo o princípio $f(x_{k+1}) < f(x_k)$ e o tamanho de passo t_k é suficientemente pequeno para que $r(t_k \cdot d_k)$ seja muito inferior ao termo de primeira ordem.

O termo de primeira ordem é função do produto $g(x_k)^T d_k$, que é minimizado para:

$$d_k = -g(x_k) \tag{5.5}$$

Assim, para t_k pequeno $f(x)$ atinge seu valor mínimo nas redondezas de x_k em:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) - t_k \cdot |g(x_k)|^2 + r(-t_k \cdot g(x_k)) \tag{5.6}$$

E o ponto x é deslocado para:

$$x_{k+1} = x_k - t_k \cdot g(x_k) \tag{5.7}$$

Executando (5.7) iterativamente, $f(x)$ irá sofrer a máxima redução local a cada passo e o ponto x será deslocado para o ponto que minimiza $f(x)$ nas redondezas de x_0. Se f é uma função convexa e possui um mínimo local em x_0, então o método converge quando $g(x_k)=0$.

5.5 - PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO COM RESTRIÇÕES DE DESIGUALDADE E O MÉTODO DO GRADIENTE PROJETADO

Para a mesma função $f : X \to \Re$, se existem m restrições de desigualdade, representadas por $h : \Re^n \to \Re^m$, o problema de otimização passa a ser representado por:

$$\min f(x) \qquad s.a. \qquad x \in X,\ h(x) \le 0, \tag{5.8}$$

Onde $h(x) \le 0$ representa o conjunto de restrições de desigualdade. O ponto x é considerado factível se todas as restrições são satisfeitas e uma restrição i é considerada ativa se $h^i(x) = 0$.

Em geral a solução do problema é atingida quando pelo menos uma das restrições está ativa, caso contrário a solução do problema irrestrito é factível e é também solução do problema restrito.

A cada passo do processo de otimização o ponto de operação x deve ser mantido factível. Dentre os métodos que mantém esta condição existe o método do gradiente projetado. Tal método consiste em se projetar o gradiente sobre o subespaço tangente às funções de igualdade que representam as restrições ativas do problema, assim, a direção de deslocamento do ponto x será a direção de máxima redução da função objetivo sem que haja violação das restrições. Para restrições lineares tem-se:

$$h^i(x) = a^i x - b_i, \qquad i = 1,2,\ldots,m \tag{5.9}$$

Seja x^k um ponto factível na iteração k e definindo:

$A_k \in \Re^{m_k \times n}$: a matriz composta pelas m_k restrições ativas em $x = x_k$;

d_k : a direção tal que:

$$A_k \cdot d_k = 0 \ \text{(mantém } x \text{ factível)} \tag{5.10}$$

$$\nabla f(x_k)^T \cdot d_k < 0 \ \text{(condição de descida de } f(x)) \tag{5.11}$$

A direção de descida da função objetivo, oposta ao gradiente, pode ser representada por duas componentes: uma tangente (d_k) e outra ortogonal a A_k:

$$-g_k = d_k + A_k^T \cdot \lambda_k \qquad \textbf{(5.12)}$$

A multiplicação por A_k irá anular o termo tangente, portanto:

$$\lambda_k = -\left(A_k A_k^T\right)^{-1} A_k g_k \qquad \textbf{(5.13)}$$

Substituindo (5.13) em (5.12) e manipulando a equação a nova direção de descida pode ser calculada como:

$$d_k = -\left[I - A_k^T \left(A_k A_k^T\right)^{-1} A_k\right] g_k \qquad \textbf{(5.14)}$$

De onde se pode definir a matriz de projeção ortogonal no subespaço nulo de A_k:

$$P_k = \left[I - A_k^T \left(A_k A_k^T\right)^{-1} A_k\right] \qquad \textbf{(5.15)}$$

Quando as restrições são não-lineares a matriz A_k será composta pelo hiperplano tangente às restrições ativas, representado pela matriz Jacobiana das restrições e a projeção do gradiente se dará no subespaço nulo do hiperplano tangente:

$$P_k = \left[I - J_k^T \left(J_k J_k^T\right)^{-1} J_k\right] \qquad \textbf{(5.16)}$$

Em geral esta abordagem às restrições não-lineares leva a deslocamentos não-factíveis. Tal problema será contornado no presente trabalho considerando-se ativas as restrições que tenham valor inferior, mas próximo à igualdade.

5.6- TRANSFORMAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA FEIXES SIMÉTRICOS

A aplicação de transformação de variáveis é usada para colocar o problema de problema de otimização em função de outras variáveis de controle dependentes das variáveis originais e pode ser aplicada para acomodar restrições de igualdade no processo de otimização.

A restrição de igualdade aplicada no presente trabalho é a simetria dos feixes em relação ao seu eixo vertical conforme ilustra a Figura 6.4 do próximo capítulo. Tal restrição implica em que os subcondutores simétricos devem ter, a cada iteração, igual deslocamento vertical e deslocamento horizontal igual em módulo e oposto em sentido, de forma a sempre manter a simetria vertical do feixe. Qualquer subcondutor que não tenha um simétrico deverá estar localizado sobre o eixo de simetria e pode deslocar-se somente na direção vertical. Assim, sejam $\left(x_k^i{}', y_k^i{}'\right)$ as coordenadas retangulares de um subcondutor simétrico ao subcondutor com coordenadas $\left(x_k^i, y_k^i\right)$, as seguintes condições devem ser válidas, sendo x_c a posição horizontal do eixo de simetria vertical de feixe:

$$\left(x_c - x_k^i{}'\right) = -\left(x_c - x_k^i\right) \tag{5.17}$$

$$y_k^i{}' = y_k^i \tag{5.18}$$

As expressões (5.17) e (5.18) correspondem às condições de simetria vertical para as posições horizontais e verticais respectivamente, válidas também para:

$$x_k^i{}' = x_k^i = x_c \tag{5.19}$$

A expressão da aproximação linear pode então ser escrita como:

$$f\left(x_{k+1}\right) = f\left(x_k\right) + t_k \cdot g'\left(x_k\right)^T d_k + r\left(t_k \cdot d_k\right) \tag{5.20}$$

Onde *g'* é o gradiente modificado para acomodar a restrição de igualdade, e é dado por:

$$g'(x_k) = \frac{1}{2}\left(\left.\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right|_{x=x_k} + \left.\frac{\partial f(x')}{\partial x'}\right|_{x'=x_k'} \right) \qquad \textbf{(5.21)}$$

Onde *x'* é o vetor de variáveis de controle contendo as coordenadas horizontais dos subcondutores simétricos a *x*.

Igualmente, para as coordenadas verticais:

$$g'(y_k) = \frac{1}{2}\left(\left.\frac{\partial f(y)}{\partial y}\right|_{y=y_k} + \left.\frac{\partial f(y')}{\partial y'}\right|_{y'=y_k'} \right) \qquad \textbf{(5.22)}$$

5.7 - APLICABILIDADE DO MÉTODO DO GRADIENTE À OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

As variáveis de controle para o processo de otimização de linhas de transmissão são dadas pelas coordenadas cartesianas dos subcondutores e o ponto de operação será, portanto, composto pelas referidas coordenadas em uma dada iteração do processo. No método do gradiente o ponto de operação de cada iteração é obtido a partir de um pequeno deslocamento do ponto de operação anterior. O deslocamento deve ser feito na direção oposta ao gradiente da função objetivo e tão pequeno quanto necessário para manter o desvio em relação às componentes não lineares (derivadas de segunda ordem e superiores) dentro de um limite aceitável. Isto significa que a cada passo do processo uma nova geometria de feixes é obtida a partir de uma pequena modificação da geometria anterior e esta modificação é aquela que traz a maior redução da função objetivo, desprezado o desvio acima mencionado.

Esta característica permite uma análise mais detalhada do processo de otimização, além de permitir a melhoria incremental de uma dada geometria já concebida. Pode-se então obter geometrias intermediárias com melhores características que as geometrias originais e cujas dimensões sejam mais próximas às convencionais. É interessante também a visualização da expansão do feixe na direção do caminho de maior redução da função objetivo, permitindo ter maior sensibilidade na análise da geometria resultante, a partir do acompanhamento das grandezas referentes à linha de transmissão na trajetória de otimização.

Por ser um método básico de otimização numérica, uma vez implementado o método do gradiente outros métodos de ordem superior e com melhores características computacionais podem ser desenvolvidos, desde que seja assegurada a condição de convergência.

Como o método proposto no presente trabalho usa as coordenadas dos condutores no plano cartesiano dado em um corte transversal da linha, os condutores têm total grau de liberdade para serem deslocados. Através da transformação de variáveis é possível restringir o deslocamento dos condutores a determinadas formas e, assim, promover uma análise comparativa com linhas de transmissão otimizadas com diferentes transformações de variáveis.

CAPÍTULO 6 - MINIMIZAÇÃO DA REATÂNCIA EXTERNA

6.1 - PRINCÍPIOS BÁSICOS E METODOLOGIA

Foi demonstrado através de exemplos numéricos que a reatância externa é a componente predominante da impedância longitudinal de sequência positiva da linha de transmissão. Além disso, devido à dualidade existente entre a indutância e a capacitância de sequência positiva da linha de transmissão, a redução da primeira implica no aumento da segunda. Com a redução da impedância longitudinal de sequência positiva e o aumento da admitância transversal de sequência positiva, a impedância característica será reduzida, conforme indica a expressão (C.67). Assim, visando reduzir a impedância característica e, consequentemente, aumentar a potência característica, a reatância externa de sequência positiva será definida como função objetivo do processo de otimização:

$$f = X_{ext}^{+}([x, y]) \tag{6.1}$$

Onde [*x, y*] é o vetor que contém as posições horizontais e verticais dos condutores dadas na silhueta da torre, conforme mostra a Figura 6.1. A posição vertical *y* é dada em relação ao solo, e consiste na altura média do condutor ao longo da linha, e a posição horizontal *x* é dada em relação ao eixo de simetria vertical da torre. O ponto de operação do método é então definido pelos valores [x_k, y_k] das variáveis de controle dados na iteração *k*.

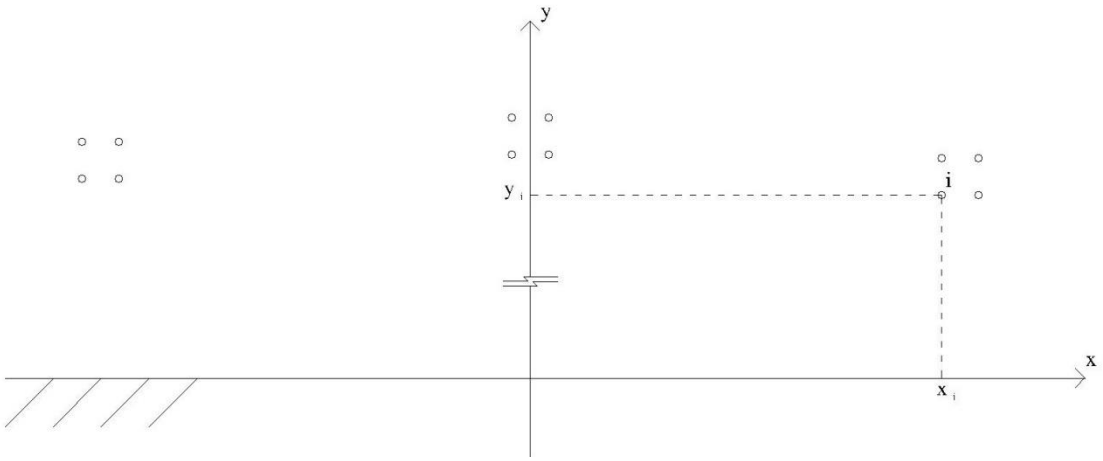

Figura 6.1: Coordenadas da posição de um condutor na silhueta da torre – y corresponde à altura média do condutor ao longo da linha.

Foram apresentadas no Capítulo 4 as derivadas da reatância externa de sequência positiva em relação às posições dos condutores que irão compor o vetor gradiente da função objetivo:

$$g = \left[g(x_k), g(y_k) \right] = \left[\frac{\partial X^+_{ext}}{\partial x}, \frac{\partial X^+_{ext}}{\partial y} \right] \tag{6.2}$$

A direção oposta ao vetor gradiente é aquela à qual se deve deslocar o ponto de operação para se obter a maior redução da reatância externa. Assim, a cada iteração a posição dos condutores é modificada pelo método do gradiente:

$$x_{k+1} = x_k - t_k \cdot g(x_k) \tag{6.3}$$

$$y_{k+1} = y_k - t_k \cdot g(y_k) \tag{6.4}$$

O passo t_k é dimensionado para resguardar a condição de linearidade do método. A Figura 6.2 mostra um exemplo de deslocamento dos condutores.

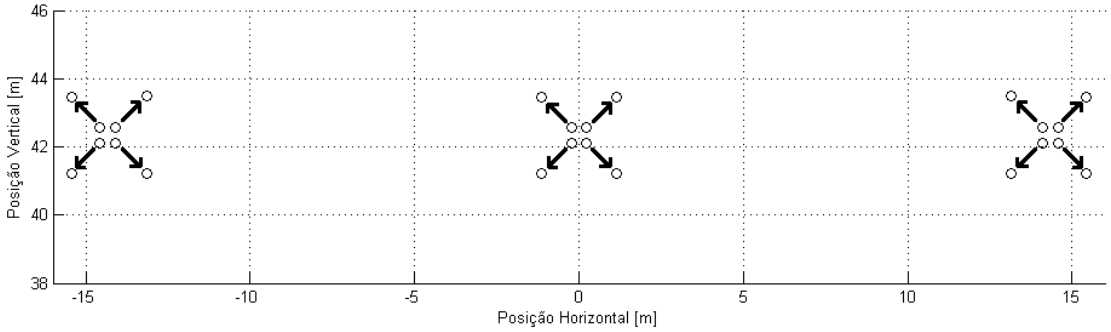

Figura 6.2: Exemplo de deslocamento dos condutores.

Os valores iniciais [x_0, y_0] são geometrias estabelecidas como configurações iniciais para o processo de otimização.

6.2 - OBJETIVO E PROCEDIMENTO

O processo de descida pelo gradiente é essencialmente uma busca por um mínimo local da função objetivo. Em certas condições o método é capaz de atingir o mínimo global do espaço de busca e a solução ótima global é então encontrada. É importante ressaltar que no presente trabalho buscou-se fazer uso de função objetivo e de derivadas analíticas em lugar de numéricas, que poderiam impedir a convergência do método.

No caso da otimização da geometria dos feixes a convergência ao mínimo global depende fortemente das restrições adotadas. Tais restrições são consequências das decisões de projeto e podem afetar drasticamente o resultado final, portanto, não é objetivo do presente trabalho definir uma configuração ideal de linha de transmissão. É possível, no entanto, definir geometrias que sejam ótimas (ponto ótimo local do processo) do ponto de vista eletromagnético e este será o objetivo do processo de otimização aqui apresentado (exceto pela otimização de linhas com restrição de simetria vertical dos feixes, que configura uma restrição de projeto).

As configurações iniciais serão geradas com características convencionais, ou seja, com feixes formados por condutores dispostos sobre os vértices de um polígono regular. O processo de otimização será aplicado e o resultado final comparado com a configuração inicial. Serão analisadas as linhas com disposição horizontal de fases, por apresentar facilidades construtivas.

Na otimização com restrição de simetria vertical dos feixes serão incluídas configurações com subcondutores alocados sobre o eixo de simetria vertical.

As restrições de campo magnético e campo elétrico ao nível do solo serão sempre respeitadas alterando-se, com igual deslocamento, a altura de todos os condutores em relação ao solo. Os valores do campo elétrico ao nível do solo e do campo magnético ao nível do solo são calculados pelo Apêndice D e pelo Apêndice E, respectivamente. A distância de isolação foi sempre mantida aplicando-se o afastamento adequado dos feixes, após a execução de cada iteração.

Para o cálculo do campo elétrico crítico visual, foi utilizada a formulação de Miller, dada pela expressão (7.5). Ao fator de superfície, *m*, foi atribuído o valor de 0,80. O campo elétrico superficial foi restringido a 90 % do valor crítico visual. Estes parâmetros são apresentados no próximo capítulo.

Os cabos pára-raios serão desprezados no processo de otimização por terem baixa participação nos parâmetros de sequência positiva. A otimização definitiva deve, no entanto, considerar a presença dos cabos pára-raios.

O tamanho do passo t_k é limitado, a cada iteração, de forma que o maior deslocamento de um único condutor seja igual a dois centímetros (valor estabelecido empiricamente). Assumir este valor fixo do tamanho de passo se mostrou adequado para que o deslocamento seja pequeno o suficiente para que não haja distanciamento da condição de linearidade e grande o suficiente para que o processo não se torne muito lento. De fato, quando se observam os resultados detalhadamente percebe-se que há uma oscilação no valor de alguns parâmetros, o que sugere que os deslocamentos estão sendo feitos em torno do trajeto ideal (tamanho de passo tendendo a zero). Com a execução de alguns casos, constatou-se que a redução do tamanho de passo fixado apenas reduz esta oscilação sem, no entanto, melhorar consideravelmente a precisão do resultado final. Por outro lado, o aumento do tamanho de passo iria aumentar a oscilação numérica, piorando a qualidade dos resultados exibidos. Fixar o máximo deslocamento dos condutores torna o número de iterações uma escala interessante para análise da evolução dos parâmetros e para comparações entre diferentes linhas otimizadas.

São consideradas como restrições de desigualdade a manutenção do campo elétrico superficial de cada subcondutor abaixo do limite estabelecido. A restrição é considerada ativa se o campo elétrico superficial atinge 99 % do valor limite. A projeção do gradiente é aplicada sobre o hiperplano suporte de todas as restrições ativas.

Após a execução do deslocamento dos subcondutores o campo elétrico máximo Emax é verificado e se o limite estabelecido é ultrapassado tenta-se factibilizar a geometria dos feixes

reduzindo todos os feixes de forma proporcional, ou seja, reduzindo na mesma proporção a distância de cada subcondutor ao centro geométrico do feixe, que é mantido constante. Caso não seja possível este ajuste o método iterativo é finalizado.

O processo iterativo foi limitado a trezentas iterações, o que significa que ao final do processo o maior deslocamento que um condutor poderá ter será de seis metros. Se nenhuma das restrições do campo elétrico superficial foi atingida dentro do número de iterações estabelecido então o processo pára. As grandezas calculadas e as posições de cada subcondutor são armazenadas para análise.

6.3 - PROGRAMA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO

Para a execução do procedimento proposto foi desenvolvido um programa computacional em linguagem MATLAB® que dispõe de diversas funções matemáticas embutidas, dentre as quais algumas foram utilizadas. O propósito principal do uso desta linguagem é a facilidade que oferece na programação de cálculo matricial, utilizado intensivamente no desenvolvimento do programa.

Exceto as funções matemáticas já embutidas, todas as funções de cálculo e otimização foram desenvolvidas. Desta forma foi possível ter o controle do processo de otimização para que se pudesse obter os resultados gráficos apresentados no presente trabalho, além de tornar o programa independente de pacotes de software oferecidos por terceiros e mais facilmente adaptável a desevolvimentos futuros.

6.3.1- Estrutura do programa

O programa foi desenvolvido com a técnica de programação orientada a objeto (POO), que permite maior robustez, manutenibilidade e uma organização lógica mais intuitiva e modularizada do que a programação estruturada.

A Figura 6.3 apresenta um fluxograma que descreve cada iteração do processo de otimização da geometria dos feixes de linhas de transmissão.

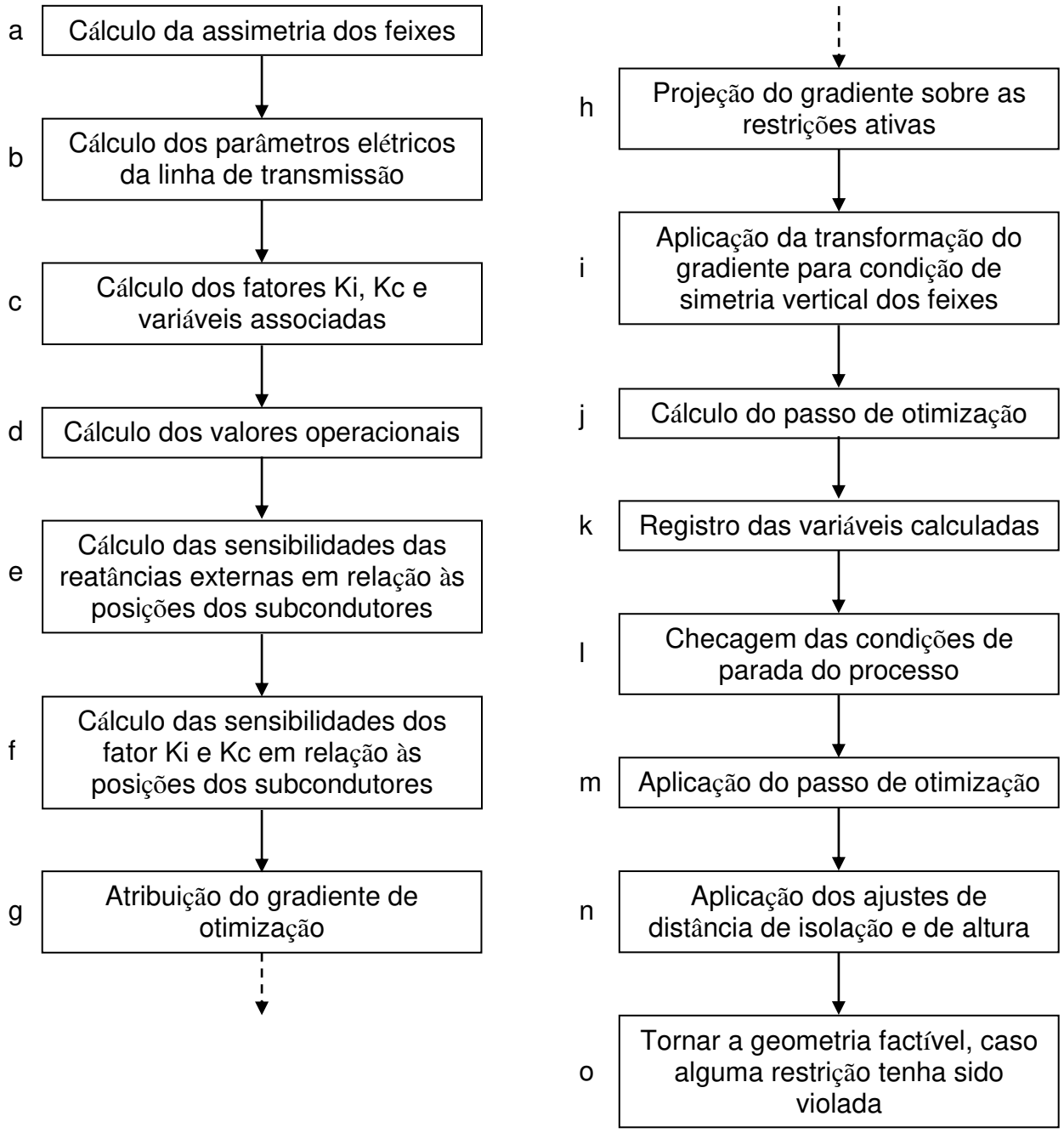

Figura 6.3: Fluxograma de uma iteração do processo de otimização

A enumeração seguinte, correspondente à Figura 6.3, descreve cada etapa do processo de otimização:

a - Cálculo da assimetria dos feixes

Nesta etapa é calculado o grau de assimetria dos feixes externos a ser registrado para análise.

b - Cálculo dos parâmetros elétricos da linha de transmissão

Nesta etapa são calculados os seguintes parâmetros elétricos por unidade de comprimento da linha de transmissão:

- Matriz primitiva de reatâncias externas;
- Matriz reduzida de reatâncias externas;
- Reatância externa própria e mútua, para linha idealmente transposta;
- Reatância externa de sequência positiva;
- Impedância interna;
- Matriz primitiva de impedâncias longitudinais;
- Matriz reduzida de impedâncias longitudinais;
- Impedância longitudinal externa própria e mútua, para linha idealmente transposta;
- Matriz de capacitâncias e admitâncias transversais;
- Admitância transversal própria e mútua, para linha idealmente transposta;
- Admitância transversal de sequência positiva;
- Impedância característica de sequência positiva;
- Potência característica de sequência positiva;
- Corrente característica de sequência positiva;

c - Cálculo dos fatores Ki, Kc e variáveis associadas

Nesta etapa são calculados os fatores Ki e Kc para cada um dos subcondutores da linha de transmissão e são armazenadas também as variáveis associadas ao cálculo dos dois fatores para uso no cálculo das sensibilidades em relação às posições dos subcondutores. É calculada a função objetivo que agrega ponderadamente o valor do produto Ki . Kc relativo a cada subcondutor. Estes fatores serão apresentados no Capítulo 7.

d - Cálculo dos valores operacionais

São calculados os valores de densidade linear de carga elétrica, corrente elétrica quando transmitindo potência característica (módulo e fase) e campo elétrico superficial médio para cada subcondutor. São calculados também campo elétrico e magnético ao nível do solo quando transmitindo potência característica.

e - Cálculo das sensibilidades das reatâncias externas em relação às posições dos subcondutores

São calculadas as sensibilidades da matriz de reatâncias externas e da reatância externa de sequência positiva em relação às posições dos subcondutores, a serem usadas como gradiente da função objetivo na minimização da impedância característica.

f - Cálculo das sensibilidades dos fator Ki e Kc em relação às posições dos subcondutores

São calculadas as sensibilidades dos fatores Ki e Kc, e das variáveis associadas ao cálculo de ambos os fatores, em relação às posições dos subcondutores, a serem usadas como gradiente da função objetivo na minimização do produto Ki . Kc.

g - Atribuição do gradiente de otimização

É atribuído o gradiente de otimização de acordo com a função objetivo do processo de otimização.

h - Projeção do gradiente sobre as restrições ativas

Verifica-se quais são as restrições ativas do processo de otimização e, caso haja alguma, é feita a projeção do gradiente sobre o hiperplano tangente às restrições ativas.

i - Aplicação da transformação do gradiente para condição de simetria vertical dos feixes

Caso o processo de otimização seja configurado com a restrição de feixes com simetria vertical é aplicada a transformação do gradiente (projetado ou não) para que a restrição seja satisfeita.

j - Cálculo do passo de otimização

É calculado o passo a ser aplicado no deslocamento dos subcondutores, tal que a condição de máximo deslocamento (2 cm) de um subcondutor seja atendida.

k - Registro das variáveis calculadas

São registradas as variáveis calculadas e que serão utilizadas na análise do processo de otimização.

l - Verificação das condições de parada do processo

São verificadas as condições de parada do processo de otimização: limite de corrente individual de um subcondutor excedido ou limite de campo elétrico superficial máximo individual de um subcondutor excedido.

m - Aplicação do passo de otimização

É executada a alteração das posições dos subcondutores de acordo com o gradiente e passo calculados.

n - Aplicação dos ajustes de distância de isolação e de altura

As posições dos subcondutores são ajustadas de forma a manter a distância de isolação especificada na configuração da linha de transmissão e os valores de campo elétrico e campo magnético ao nível do solo dentro dos limites estabelecidos. As distâncias entre subcondutores de um mesmo feixe são mantidas após o ajuste.

o - Tornar a geometria factível, caso alguma restrição tenha sido violada

É feita a alteração dos feixes para que, caso haja alguma restrição violada mesmo com a aplicação do gradiente projetado, a restrição de campo elétrico superficial máximo seja atendida. Neste ajuste é feita a alteração de escala dos feixes, ou seja, a razão entre as distâncias entre subcondutores de um mesmo feixe antes e após o ajuste é constante; o centro geométrico do feixe também é mantido.

6.4 - CONJUNTO DE CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS NA INICIALIZAÇÃO DO PROCESSO

Como a otimização da configuração dos condutores é essencialmente uma otimização local a configuração inicial será determinante no resultado final do processo. Com o intuito de limitar o espaço de busca foram estabelecidas algumas regras na geração das geometrias iniciais dos feixes.

São analisadas apenas as configurações com disposição horizontal de fases (ver Figura 1.2) por apresentar maior facilidade construtiva. O procedimento é igualmente aplicável a qualquer disposição de fases.

Foi escolhido um conjunto de tipos de condutor para a linha de transmissão de forma a cobrir uma variedade que permita uma boa análise comparativa, incluindo condutores usualmente aplicados na prática; todos são condutores do tipo ACSR (*Aluminium Conductor Steel-Reinforced*). A Tabela 6.1 exibe algumas das principais características dos condutores escolhidos. Os números apresentados ao lado do nome do condutor são o número de fios de alumínio e o número de fios de aço, respectivamente.

Tabela 6.1: Condutores escolhidos para o processo de otimização

Condutor	Diâmetro externo [mm]	Diâmetro interno [mm]	Resistência a CC [Ω/km]	Flecha a meio vão [m]
LINNET (26/7)	18,3	6,7	0,1657	12,06
GROSBEAK (26/7)	25,2	9,3	0,0876	12,32
DRAKE (26/7)	28,1	10,4	0,0702	12,32
RAIL (45/7)	29,6	7,4	0,0591	14,75
BLUEJAY (45/7)	32,0	8,0	0,0509	14,94
BITTERN (45/7)	34,2	8,5	0,0443	14,92
CHUKAR (84/19)	40,7	11,1	0,0318	14,53

São analisadas linhas com número de subcondutores variando de 2 até 10, uma faixa conveniente para os níveis de tensão de operação adotados e suficiente para inferir conclusões sobre os resultados. Todas as geometrias são geradas com espaçamento entre subcondutores igual a 0,457 m (valor convencional).

São analisadas tensões de operação em níveis convencionais variando de 138 kV até 1250 kV. A Tabela 6.2 mostra os níveis de tensão de operação adotados:

Tabela 6.2: Níveis de tensão de operação adotados para as linhas de transmissão a serem otimizadas

Tensão de operação [kV]	138	230	345	500	765	1000	1250

São analisadas linhas com distância de isolação convencional (com estrutura da torre entre os feixes) e compacta (com vão livre entre os feixes). As distâncias adotadas estabelecem um parâmetro para comparação, sendo, no entanto, necessária uma análise mais detalhada, considerando o número de subcondutores e a forma do feixe, para a determinação de tais distâncias. A Tabela 6.3 mostra os valores adotados para as distâncias de isolação:

Tabela 6.3: Distâncias de isolação adotadas para os correspondentes níveis de tensão de operação para linhas convencional e compacta

Tensão de operação [kV]	Compacta	Distância de isolação [m]
138	Sim	1,4
	Não	2,8
230	Sim	2,3
	Não	4,6
345	Sim	3,5
	Não	7,0
500	Sim	5,0
	Não	10,0
765	Sim	7,5
	Não	15,0
1000	Sim	10,0
	Não	20,0
1250	Sim	12,5
	Não	25,0

Considerando que feixes com simetria vertical (conforme mostra a Figura 6.4) mantêm o equilíbrio mecânico em relação ao ponto de sustentação é interessante analisar configurações com esta característica, assim, o conjunto de análise foi dividido em dois grupos:

- **Com simetria dos feixes**: a configuração inicial é gerada com feixes tendo simetria em relação ao seu eixo vertical e no procedimento de otimização a simetria dos feixes é mantida, conforme descrito na seção 5.6;
- **Sem simetria dos feixes**: o feixe central tem simetria vertical e os feixes externos têm simetria em relação ao eixo horizontal, sendo que neste caso o procedimento de otimização permite a livre variação das posições dos condutores. No caso de número de subcondutores ímpares o condutor ímpar dos feixes externos é alocado sobre o eixo de simetria horizontal e voltado para o feixe central;

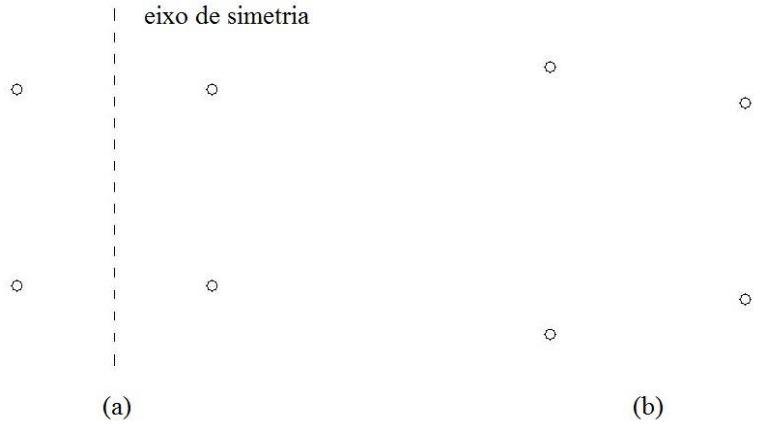

Figura 6.4: Exemplos de feixes com simetria vertical (a) e sem simetria vertical (b)

Visando aumentar a variabilidade dos resultados e para cobrir a análise de configurações promissoras, conforme resultados observados em [17], no grupo de configurações simétricas foram incluídas configurações com alguns condutores alocados sobre o eixo de simetria vertical dos feixes externos. Para obter este tipo de geometria primeiramente é gerado um feixe regular com simetria horizontal, este feixe é dividido pelo eixo de simetria horizontal e os dois grupos são afastados para acomodar os condutores verticais, que são alocados com espaçamento também convencional (0,457 m). A distância vertical entre os dois extremos dos condutores verticais e os demais é fixada na metade do espaçamento (0,229 m). A Figura 6.5, a Figura 6.6 e a Figura 6.7 ilustram tal procedimento:

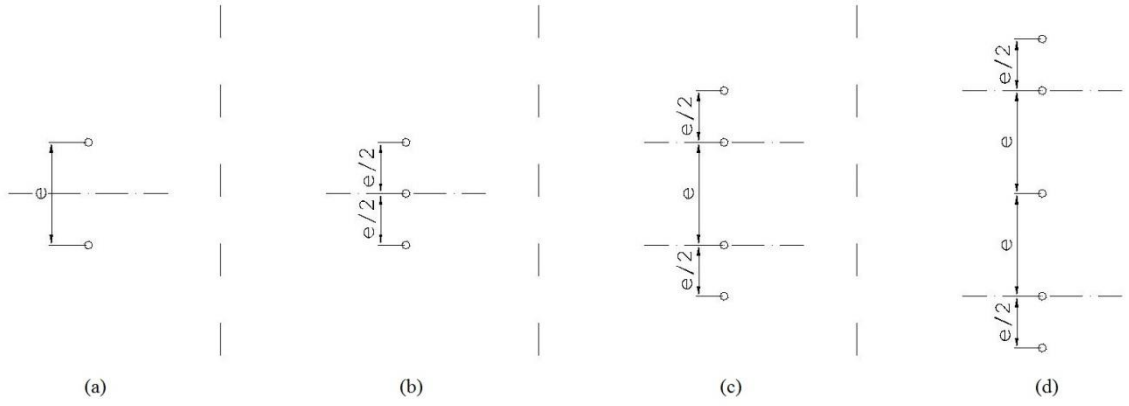

Figura 6.5: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com dois subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d).

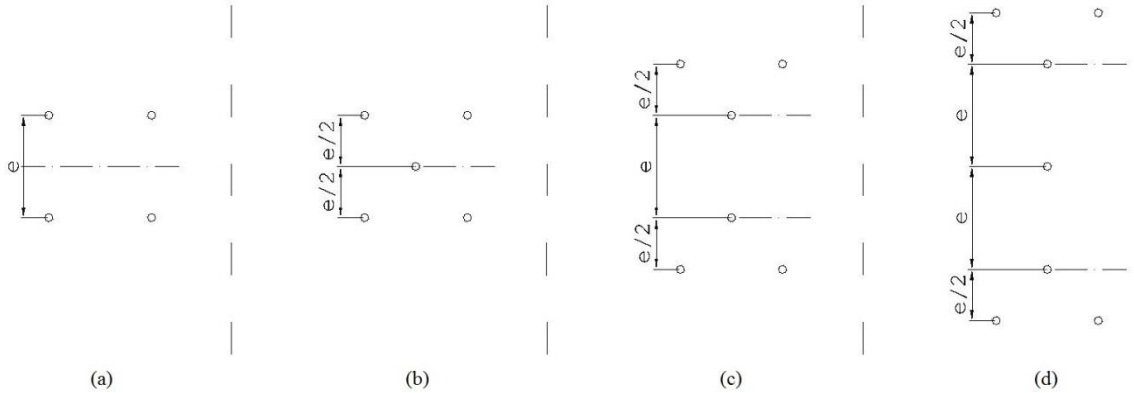

Figura 6.6: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com quatro subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d).

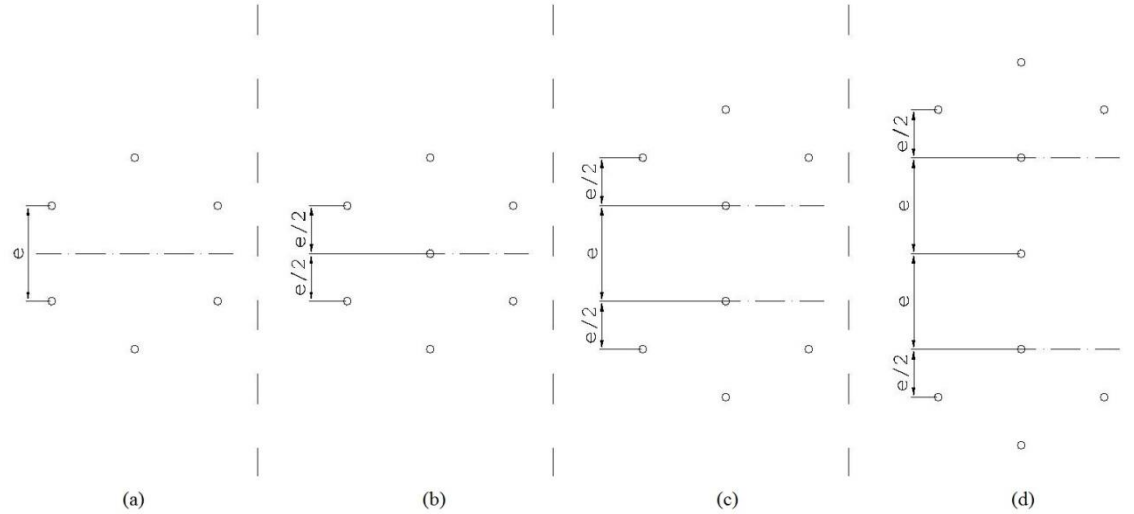

Figura 6.7: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com seis subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d).

Foram analisadas as variedades com 1 e 3 subcondutores verticais para feixes com número ímpar de subcondutores e com 2 e 4 subcondutores verticais para feixes com número par de subcondutores.

6.5- RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção são apresentados os resultados dos casos de linhas com tensão de operação a 765 kV e 1000 kV, os demais resultados são apresentados no Apêndice H.

6.5.1 - Caracterização das configurações otimizadas

As linhas otimizadas são apresentadas em duas seções: a primeira mostra os resultados da otimização sem a restrição da simetria vertical dos feixes e a segunda mostra os resultados da otimização de linhas compostas por feixes com simetria vertical. Os resultados estão agrupados por:

- *Tensão*: tensão de operação para a qual a linha foi dimensionada;
- *Compacta*: se a linha é dimensionada com afastamento entre fases reduzido ou convencional;
- *Nsub*: número de subcondutores por fase;
- *Condutores verticais*: número de subcondutores alocados sobre o eixo de simetria vertical dos feixes externos (aplicável apenas quando os feixes são mantidos simétricos);
- *Condutor*: nome comercial do condutor empregado na linha de acordo com [48];

Os parâmetros apresentados na Tabela 6.4, na Tabela 6.6, na Tabela 6.8 e na Tabela 6.10 são:

- *Kut*: fator de utilização da superfície dos condutores (veja expressão (7.105));
- *Emax*: campo elétrico superficial máximo sobre a superfície dos condutores;
- *Emax/Ecr*: relação percentual entre o campo elétrico superficial máximo e o campo elétrico crítico visual para o condutor em questão;
- *Zc*: impedância característica;
- *Pc*: potência característica;
- *ΔPc*: diferença percentual entre a potência característica das configurações inicial e final do processo;
- *Jc média*: média da densidade de corrente característica dos subcondutores (obtida a partir da corrente elétrica por subcondutor, conforme Apêndice G);
- *Jc máxima*: máxima densidade de corrente característica dos subcondutores;
- *Rpos*: resistência de sequência positiva da linha.

Os parâmetros apresentados na Tabela 6.5, na Tabela 6.7, na Tabela 6.9 e na Tabela 6.11 são:

- *EsoloMax*: valor do máximo campo elétrico ao nível do solo quando a linha estiver energizada à tensão nominal (calculado conforme Apêndice D);
- *BsoloMax*: valor do máximo campo magnético ao nível do solo quando a linha estiver transmitindo potência característica (calculado conforme Apêndice E);
- *Distância ao Solo*: menor distância entre os subcondutores e o solo;
- *Espaçamento Máximo*: maior distância entre subcondutores adjacentes de um mesmo feixe;
- *Largura do Feixe Externo*: maior distância horizontal entre os subcondutores de um feixe externo;
- *Altura do Feixe Externo*: maior distância vertical entre os subcondutores de um feixe externo.

6.5.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Para facilitar a visualização os dados desta seção são apresentados em tabelas divididas por de tensão de operação: na Tabela 6.8 e na Tabela 6.9 são apresentados os resultados para linhas de 765 kV, na Tabela 6.10 e na Tabela 6.11 são apresentados os resultados para linhas de 1000 kV.

Tabela 6.4: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	4	CHUKAR	0,91	17,9	89,8	209,28 - j3,34	2795,71	26,50	0,585	0,606	0,0086
		5	BITTERN	0,92	18,4	90,0	192,31 - j3,61	3042,07	31,15	0,713	0,729	0,0093
			BLUEJAY	0,89	18,6	89,9	209,19 - j4,11	2796,51	20,95	0,749	0,773	0,0105
			CHUKAR	0,92	17,9	89,4	168,34 - j2,68	3475,59	48,54	0,583	0,619	0,0069
		6	BITTERN	0,94	18,3	89,2	158,88 - j3,02	3682,04	50,61	0,721	0,748	0,0078
			BLUEJAY	0,94	18,5	89,5	167,12 - j3,43	3500,26	43,59	0,782	0,797	0,0088
			CHUKAR	0,91	17,8	89,1	144,35 - j2,26	4053,31	64,54	0,569	0,631	0,0058
			DRAKE	0,92	18,9	89,4	190,26 - j4,63	3074,15	26,63	0,961	0,995	0,0119
			GROSBEAK	0,79	19,3	89,9	240,94 - j5,77	2427,58	0,48	0,948	1,040	0,0148
			RAIL	0,93	18,8	90,0	179,49 - j3,94	3258,87	34,11	0,849	0,869	0,0101
		7	BITTERN	0,91	18,3	89,2	142,84 - j2,60	4095,57	60,66	0,690	0,752	0,0067
			BLUEJAY	0,93	18,5	89,6	147,21 - j2,95	3973,72	56,26	0,763	0,808	0,0076
			CHUKAR	0,82	17,8	89,1	138,92 - j1,96	4211,77	64,08	0,509	0,627	0,0051
			DRAKE	0,92	19,0	89,9	163,86 - j3,98	3569,36	40,86	0,958	0,996	0,0102
			GROSBEAK	0,89	19,3	89,9	184,27 - j4,95	3173,66	25,77	1,064	1,125	0,0127
			RAIL	0,93	18,8	89,9	155,67 - j3,39	3757,73	48,20	0,841	0,878	0,0087
		8	BITTERN	0,87	18,3	89,3	133,11 - j2,32	4395,07	65,65	0,651	0,760	0,0060
			BLUEJAY	0,90	18,5	89,2	135,24 - j2,61	4325,70	63,42	0,730	0,819	0,0068

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	8	CHUKAR	0,78	17,4	87,1	132,32 - j1,75	4422,02	65,65	0,469	0,607	0,0045
			DRAKE	0,94	18,8	89,2	142,32 - j3,50	4109,68	55,75	0,967	1,025	0,0090
			GROSBEAK	0,95	19,2	89,4	152,87 - j4,33	3825,10	45,54	1,124	1,159	0,0111
			LINNET	0,79	20,4	90,0	233,11 - j8,12	2507,44	-3,46	1,390	1,433	0,0208
			RAIL	0,92	18,7	89,2	139,37 - j2,99	4197,26	58,98	0,825	0,896	0,0077
		9	BITTERN	0,78	18,3	89,2	132,15 - j2,09	4427,42	61,48	0,584	0,754	0,0054
			BLUEJAY	0,83	18,5	89,2	131,46 - j2,36	4450,41	62,67	0,670	0,815	0,0061
			CHUKAR	0,71	16,8	84,0	132,85 - j1,56	4404,45	59,73	0,415	0,585	0,0041
			DRAKE	0,89	18,9	89,3	134,06 - j3,14	4363,13	59,93	0,916	1,037	0,0081
			GROSBEAK	0,91	19,2	89,3	142,46 - j3,87	4104,86	51,00	1,074	1,175	0,0100
			LINNET	0,85	20,4	89,8	195,54 - j7,22	2988,75	11,14	1,474	1,527	0,0185
			RAIL	0,87	18,7	89,3	132,67 - j2,69	4409,29	61,54	0,774	0,901	0,0070
		10	BITTERN	0,73	18,3	89,2	128,49 - j1,92	4553,55	60,80	0,542	0,754	0,0050
			BLUEJAY	0,77	18,5	89,1	128,40 - j2,16	4556,54	61,23	0,619	0,816	0,0056
			CHUKAR	0,70	16,0	80,2	127,60 - j1,43	4585,66	61,09	0,390	0,554	0,0037
			DRAKE	0,86	18,8	89,3	127,85 - j2,88	4575,16	62,30	0,869	1,033	0,0074
			GROSBEAK	0,89	19,2	89,4	132,50 - j3,53	4413,72	57,10	1,043	1,175	0,0091
			LINNET	0,93	20,3	89,6	161,28 - j6,51	3622,68	30,24	1,610	1,669	0,0167
			RAIL	0,82	18,7	89,2	128,13 - j2,47	4565,82	61,93	0,723	0,894	0,0064

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	6	CHUKAR	0,88	17,9	89,4	146,14 - j2,27	4003,57	37,23	0,561	0,606	0,0058
		7	BITTERN	0,81	18,4	89,9	157,44 - j2,63	3715,99	22,69	0,625	0,705	0,0067
			BLUEJAY	0,77	18,5	89,4	176,31 - j2,98	3318,43	9,90	0,636	0,707	0,0076
			CHUKAR	0,85	18,0	90,0	130,75 - j1,97	4474,76	46,54	0,540	0,605	0,0050
			RAIL	0,70	18,8	89,7	202,39 - j3,41	2890,68	-3,93	0,646	0,683	0,0087
		8	BITTERN	0,89	18,3	89,4	126,46 - j2,30	4626,36	45,72	0,682	0,727	0,0059
			BLUEJAY	0,88	18,5	89,6	133,84 - j2,61	4370,97	38,06	0,736	0,762	0,0067
			CHUKAR	0,86	17,8	89,2	114,48 - j1,74	5110,97	59,78	0,541	0,620	0,0045
			DRAKE	0,80	19,0	89,9	162,91 - j3,56	3590,54	13,91	0,843	0,930	0,0090
			GROSBEAK	0,70	19,3	90,0	202,72 - j4,36	2885,52	-8,02	0,846	0,891	0,0111
			RAIL	0,85	18,8	89,8	147,89 - j3,02	3955,47	25,34	0,775	0,857	0,0077
		9	BITTERN	0,84	18,4	89,9	120,16 - j2,09	4868,76	47,84	0,642	0,744	0,0053
			BLUEJAY	0,83	18,6	89,7	128,19 - j2,35	4563,79	38,94	0,686	0,792	0,0060
			CHUKAR	0,81	17,9	89,3	110,95 - j1,59	5273,46	59,02	0,502	0,608	0,0041
			DRAKE	0,80	19,0	90,0	145,76 - j3,15	4013,00	22,67	0,841	0,906	0,0080
			GROSBEAK	0,78	19,3	89,9	163,10 - j3,89	3586,00	10,10	0,937	0,975	0,0099
			RAIL	0,81	18,8	89,9	138,60 - j2,70	4220,78	28,87	0,739	0,850	0,0069
		10	BITTERN	0,84	18,3	89,5	109,81 - j1,91	5327,82	55,71	0,635	0,743	0,0049
			BLUEJAY	0,86	18,5	89,5	112,55 - j2,15	5197,58	52,28	0,705	0,815	0,0055

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	10	CHUKAR	0,77	17,9	89,4	106,66 - j1,48	5485,71	59,30	0,472	0,610	0,0038
			DRAKE	0,84	18,9	89,7	125,85 - j2,88	4647,76	36,67	0,879	0,995	0,0073
			GROSBEAK	0,87	19,3	89,8	132,93 - j3,53	4399,42	29,91	1,037	1,132	0,0090
			RAIL	0,87	18,8	90,0	117,24 - j2,45	4989,40	46,58	0,788	0,876	0,0062

Tabela 6.5: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	4	CHUKAR	8,33	19,19	34,28	2,54	2,86	2,51	1,17
		5	BITTERN	8,31	19,48	35,81	2,36	4,24	2,59	1,69
			BLUEJAY	8,31	19,39	34,79	1,62	2,85	1,82	1,36
			CHUKAR	8,33	19,62	37,15	3,71	7,63	4,25	1,70
		6	BITTERN	8,33	19,46	36,95	3,51	5,55	8,71	1,20
			BLUEJAY	8,25	19,15	36,73	3,07	5,05	7,31	1,33
			CHUKAR	8,31	20,00	36,97	4,81	7,73	10,50	1,04
			DRAKE	8,31	19,56	32,68	2,37	3,94	4,30	2,11
			GROSBEAK	8,31	20,57	29,69	0,56	0,98	0,94	1,40
			RAIL	8,26	19,12	35,80	2,24	3,61	5,72	1,18
		7	BITTERN	8,33	19,78	38,45	4,42	8,82	9,39	1,41
			BLUEJAY	8,32	19,56	38,01	4,15	7,95	9,22	1,53
			CHUKAR	8,31	20,03	38,95	4,59	9,74	8,85	1,24
			DRAKE	8,33	19,89	34,33	3,01	5,47	5,68	1,78
			GROSBEAK	8,31	20,20	32,93	1,88	3,36	3,28	2,28
			RAIL	8,32	19,64	37,37	3,72	6,68	7,29	1,61
		8	BITTERN	8,31	20,47	39,23	3,99	8,95	9,39	1,23
			BLUEJAY	8,31	20,12	39,30	3,83	8,77	9,48	1,17

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	8	CHUKAR	8,32	20,32	39,44	4,52	9,68	8,97	1,46
			DRAKE	8,32	19,55	35,87	3,98	8,10	9,59	1,42
			GROSBEAK	8,25	19,09	35,65	3,58	7,06	7,96	1,56
			LINNET	8,01	20,08	30,21	0,39	0,95	0,95	1,00
			RAIL	8,32	19,77	38,61	3,72	8,34	9,40	1,25
		9	BITTERN	8,32	20,23	39,97	3,70	9,87	9,24	1,34
			BLUEJAY	8,32	20,30	39,79	3,35	9,68	9,51	1,19
			CHUKAR	8,33	20,15	39,88	4,15	10,14	8,78	1,59
			DRAKE	8,31	19,94	36,89	3,58	9,35	9,83	1,24
			GROSBEAK	8,33	19,85	36,08	3,32	9,03	7,51	1,50
			LINNET	8,31	20,80	31,87	0,84	2,21	2,00	1,43
			RAIL	8,32	20,23	39,23	3,51	9,23	9,74	1,21
		10	BITTERN	8,33	20,40	40,52	3,79	9,86	8,71	1,60
			BLUEJAY	8,31	20,47	40,35	3,51	9,55	8,85	1,46
			CHUKAR	8,31	20,38	40,34	3,88	9,94	8,64	1,66
			DRAKE	8,31	20,65	37,23	3,31	9,12	9,41	1,30
			GROSBEAK	8,33	20,33	36,30	2,93	7,85	10,47	1,20
			LINNET	8,32	19,26	34,69	2,33	4,75	6,45	2,29
			RAIL	8,33	20,62	39,88	3,45	9,26	9,00	1,41

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	6	CHUKAR	8,32	20,96	34,67	4,24	5,80	5,26	6,60
		7	BITTERN	8,32	24,30	32,90	1,17	2,87	2,21	1,07
			BLUEJAY	8,29	25,39	31,16	0,72	1,52	1,53	1,08
			CHUKAR	8,31	23,12	34,69	2,55	5,05	5,80	1,26
			RAIL	8,01	24,50	30,08	0,39	0,86	0,88	1,00
		8	BITTERN	8,33	20,25	36,59	3,90	7,44	7,63	1,87
			BLUEJAY	8,32	20,20	36,26	3,80	7,49	6,28	4,71
			CHUKAR	8,31	22,47	36,15	3,33	7,18	8,57	1,51
			DRAKE	8,31	23,35	30,02	1,33	2,76	2,60	15,36
			GROSBEAK	7,68	23,54	28,09	0,34	0,81	0,81	1,00
			RAIL	8,33	21,56	34,36	2,48	4,94	4,31	13,92
		9	BITTERN	8,33	23,28	35,78	2,35	5,86	7,37	1,35
			BLUEJAY	8,31	23,61	35,20	1,98	4,97	5,48	1,79
			CHUKAR	8,32	23,80	36,71	3,30	7,95	7,28	1,49
			DRAKE	8,32	24,60	30,85	1,20	3,15	3,00	1,53
			GROSBEAK	8,31	24,76	29,60	0,85	2,15	1,99	1,82
			RAIL	8,30	24,22	33,78	1,51	4,03	3,48	1,41
		10	BITTERN	8,32	23,11	36,15	2,70	6,46	10,05	1,64
			BLUEJAY	8,32	22,33	36,28	2,62	6,10	10,28	1,56

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	10	CHUKAR	8,32	24,19	37,26	3,05	7,68	7,56	1,57
			DRAKE	8,32	22,76	32,44	1,88	4,36	6,88	1,26
			GROSBEAK	8,32	21,05	33,59	2,50	6,57	6,41	13,22
			RAIL	8,32	21,73	36,00	2,64	5,63	9,32	1,64

Tabela 6.6: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	6	CHUKAR	0,92	17,9	89,4	180,52 - j2,24	5538,68	40,39	0,592	0,610	0,0057
		7	BITTERN	0,88	18,4	89,8	187,62 - j2,59	5328,86	30,66	0,683	0,724	0,0067
			BLUEJAY	0,86	18,6	89,9	201,51 - j2,95	4961,58	21,95	0,726	0,777	0,0076
			CHUKAR	0,92	17,9	89,6	157,33 - j1,92	6355,14	54,84	0,583	0,614	0,0050
			RAIL	0,78	18,8	89,8	236,73 - j3,42	4223,28	4,07	0,721	0,804	0,0088
		8	BITTERN	0,94	18,3	89,3	156,16 - j2,27	6402,35	51,22	0,719	0,743	0,0058
			BLUEJAY	0,93	18,6	89,7	164,91 - j2,57	6062,48	43,50	0,777	0,795	0,0066
			CHUKAR	0,89	17,8	89,2	143,89 - j1,70	6948,66	63,16	0,560	0,627	0,0044
			DRAKE	0,90	19,0	89,9	188,66 - j3,48	5298,87	25,79	0,950	0,975	0,0089
			GROSBEAK	0,74	19,3	90,0	248,96 - j4,32	4015,45	-4,33	0,899	0,921	0,0111
			RAIL	0,92	18,8	89,9	177,55 - j2,96	5630,71	33,60	0,842	0,864	0,0076
		9	BITTERN	0,89	18,3	89,2	148,03 - j2,03	6754,14	54,55	0,676	0,756	0,0052
			BLUEJAY	0,89	18,6	89,8	154,73 - j2,30	6461,36	48,15	0,738	0,785	0,0059
			CHUKAR	0,83	17,8	89,2	139,37 - j1,53	7174,35	63,31	0,515	0,625	0,0040
			DRAKE	0,90	19,0	89,9	168,37 - j3,11	5937,36	36,50	0,948	1,010	0,0080
			GROSBEAK	0,84	19,3	89,9	196,67 - j3,84	5082,78	17,23	1,013	1,046	0,0099
			RAIL	0,90	18,8	89,9	163,14 - j2,65	6128,03	40,81	0,816	0,886	0,0068
		10	BITTERN	0,87	18,3	89,3	137,86 - j1,85	7252,41	60,99	0,656	0,758	0,0048

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	10	BLUEJAY	0,89	18,5	89,3	141,63 - j2,09	7058,86	56,98	0,728	0,815	0,0054
			CHUKAR	0,76	17,8	89,1	136,28 - j1,40	7337,23	62,08	0,475	0,626	0,0036
			DRAKE	0,92	18,9	89,4	150,57 - j2,80	6639,03	47,99	0,955	1,017	0,0072
			GROSBEAK	0,93	19,2	89,6	162,61 - j3,47	6146,70	37,44	1,104	1,142	0,0089
			RAIL	0,91	18,7	89,5	146,46 - j2,40	6826,10	52,11	0,820	0,888	0,0062
	Sim	8	CHUKAR	0,84	18,0	89,8	148,62 - j1,71	6727,63	33,31	0,540	0,603	0,0044
		9	BITTERN	0,76	18,4	89,7	168,72 - j2,03	5926,17	14,12	0,592	0,624	0,0052
			BLUEJAY	0,71	18,6	89,7	191,86 - j2,31	5211,28	0,60	0,594	0,636	0,0059
			CHUKAR	0,81	18,0	89,9	138,54 - j1,53	7217,23	38,11	0,518	0,595	0,0039
		10	BITTERN	0,85	18,4	89,9	137,15 - j1,85	7290,05	35,46	0,657	0,716	0,0047
			BLUEJAY	0,79	18,6	89,8	154,77 - j2,09	6459,96	20,31	0,664	0,728	0,0053
			CHUKAR	0,84	17,9	89,6	120,66 - j1,40	8286,97	53,08	0,536	0,620	0,0036
			DRAKE	0,70	19,0	90,0	192,40 - j2,81	5196,37	-2,90	0,746	0,796	0,0072
			RAIL	0,76	18,8	89,9	172,05 - j2,42	5811,05	8,49	0,696	0,814	0,0061

Tabela 6.7: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	6	CHUKAR	8,32	18,82	42,13	3,24	4,89	6,95	1,43
		7	BITTERN	8,32	19,66	41,65	2,27	4,09	3,99	2,27
			BLUEJAY	8,33	19,55	40,69	1,68	3,10	2,99	2,53
			CHUKAR	8,33	19,38	43,90	4,22	8,16	8,86	1,46
			RAIL	8,32	19,39	38,13	0,81	1,54	1,39	2,86
		8	BITTERN	8,32	18,94	44,96	4,18	8,26	9,23	1,53
			BLUEJAY	8,25	18,58	44,61	3,43	7,17	7,88	1,55
			CHUKAR	8,32	19,94	45,31	3,97	9,17	9,83	1,12
			DRAKE	8,33	18,64	40,30	2,17	5,11	4,01	1,95
			GROSBEAK	7,92	19,15	35,30	0,37	0,90	0,90	1,00
			RAIL	8,32	18,70	43,42	2,44	5,79	5,38	1,51
		9	BITTERN	8,32	19,85	45,48	3,23	9,72	7,92	1,23
			BLUEJAY	8,31	19,80	44,87	3,25	8,35	7,48	2,76
			CHUKAR	8,33	20,19	45,96	3,70	10,16	10,01	1,24
			DRAKE	8,33	19,44	41,85	2,51	7,46	4,96	3,56
			GROSBEAK	8,33	20,15	38,20	1,09	2,87	2,63	1,39
			RAIL	8,31	19,64	44,38	3,00	7,69	6,00	3,18
		10	BITTERN	8,32	20,34	46,05	3,28	9,11	10,21	1,19

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	10	BLUEJAY	8,31	20,03	45,43	2,98	8,21	10,74	1,11
			CHUKAR	8,32	20,30	46,60	3,78	10,16	9,45	1,47
			DRAKE	8,33	19,46	42,39	3,23	6,89	10,19	1,60
			GROSBEAK	8,31	18,96	41,77	2,58	5,57	8,20	1,83
			RAIL	8,32	19,65	45,06	3,03	7,47	10,85	1,31
	Sim	8	CHUKAR	8,33	21,08	40,06	3,11	6,34	5,45	14,22
		9	BITTERN	8,33	24,12	36,94	0,87	2,37	2,28	1,21
			BLUEJAY	8,31	24,50	35,03	0,47	1,33	1,35	1,01
			CHUKAR	8,32	23,49	39,61	1,94	5,11	4,88	1,76
		10	BITTERN	8,33	20,96	41,85	2,73	7,26	6,85	6,10
			BLUEJAY	8,31	22,80	38,63	1,32	3,33	3,79	1,69
			CHUKAR	8,32	22,06	41,42	2,62	6,43	10,60	1,21
			DRAKE	8,09	23,95	32,71	0,41	1,27	1,33	1,00
			RAIL	8,33	23,58	36,73	0,98	2,43	2,27	2,85

6.5.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

Para facilitar a visualização os dados desta seção são apresentados em tabelas divididas por de tensão de operação: na Tabela 6.8 e na Tabela 6.9 são apresentados os resultados para linhas de 765 kV, na Tabela 6.10 e na Tabela 6.11 são apresentados os resultados para linhas de 1000 kV.

Tabela 6.8: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	4	0	CHUKAR	0,90	18,0	90,0	211,92 - j3,35	2760,84	24,92	0,578	0,603	0,0086
		5	0	BITTERN	0,89	18,4	90,0	197,96 - j3,61	2955,33	27,42	0,693	0,734	0,0093
				BLUEJAY	0,87	18,6	89,9	213,34 - j4,11	2742,10	18,57	0,734	0,772	0,0105
				CHUKAR	0,90	18,0	90,0	171,02 - j2,68	3421,10	46,17	0,574	0,626	0,0069
			1	BITTERN	0,85	18,4	90,0	208,70 - j3,65	2803,27	24,86	0,657	0,726	0,0094
				BLUEJAY	0,82	18,6	89,9	229,20 - j4,16	2552,51	14,06	0,684	0,752	0,0107
				CHUKAR	0,87	18,0	89,9	176,31 - j2,71	3318,46	46,48	0,557	0,627	0,0070
			3	CHUKAR	0,86	18,0	90,0	177,73 - j2,70	3291,98	38,51	0,552	0,621	0,0069
		6	0	BITTERN	0,90	18,4	90,0	165,31 - j3,02	3538,96	44,76	0,693	0,749	0,0078
				BLUEJAY	0,90	18,6	89,9	174,35 - j3,43	3355,37	37,65	0,750	0,802	0,0088
				CHUKAR	0,89	18,0	90,0	146,35 - j2,26	3997,74	62,28	0,561	0,629	0,0058
				DRAKE	0,88	19,0	89,9	197,02 - j4,64	2968,70	22,29	0,928	0,986	0,0119
				GROSBEAK	0,79	19,3	89,9	241,17 - j5,76	2425,23	0,38	0,947	1,017	0,0148
				RAIL	0,89	18,8	89,9	186,77 - j3,95	3131,97	28,89	0,816	0,865	0,0101
			2	BITTERN	0,80	18,4	90,0	185,61 - j3,09	3152,18	30,39	0,617	0,739	0,0079
				BLUEJAY	0,79	18,6	89,8	199,58 - j3,52	2931,35	21,61	0,655	0,780	0,0090
				CHUKAR	0,82	18,0	90,0	158,33 - j2,30	3695,44	51,66	0,518	0,632	0,0059
				RAIL	0,76	18,8	90,0	218,60 - j4,06	2676,28	11,39	0,698	0,822	0,0104

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	6	4	BITTERN	0,85	18,4	90,0	173,52 - j3,03	3371,70	33,95	0,660	0,715	0,0078
				CHUKAR	0,89	17,8	89,3	146,68 - j2,25	3988,98	57,20	0,559	0,623	0,0058
		7	0	BITTERN	0,88	18,4	89,9	147,19 - j2,61	3974,71	55,94	0,669	0,764	0,0067
				BLUEJAY	0,89	18,6	90,0	153,86 - j2,96	3802,24	49,55	0,730	0,821	0,0076
				CHUKAR	0,85	17,8	89,2	134,55 - j1,96	4348,61	69,39	0,526	0,630	0,0051
				DRAKE	0,89	19,0	90,0	168,45 - j3,99	3472,19	36,99	0,932	1,023	0,0103
				GROSBEAK	0,89	19,3	89,9	184,05 - j4,94	3177,46	25,91	1,065	1,146	0,0127
				RAIL	0,89	18,8	90,0	162,63 - j3,40	3596,90	41,83	0,805	0,893	0,0087
			1	BITTERN	0,86	18,4	90,0	151,46 - j2,63	3862,79	55,44	0,651	0,761	0,0068
				BLUEJAY	0,86	18,6	90,0	158,83 - j2,99	3683,31	48,60	0,708	0,818	0,0077
				CHUKAR	0,84	18,0	90,0	134,45 - j1,97	4351,69	73,86	0,526	0,637	0,0051
				DRAKE	0,86	19,0	89,9	175,12 - j4,03	3340,02	35,21	0,897	1,015	0,0104
				GROSBEAK	0,85	19,3	90,0	192,77 - j5,00	3033,85	23,36	1,017	1,130	0,0128
				RAIL	0,86	18,8	90,0	168,27 - j3,43	3476,46	40,60	0,779	0,888	0,0088
			3	BITTERN	0,75	18,4	90,0	171,79 - j2,71	3405,82	32,86	0,572	0,744	0,0070
				BLUEJAY	0,74	18,6	89,9	183,14 - j3,08	3194,59	24,96	0,612	0,790	0,0079
				CHUKAR	0,76	18,0	90,0	146,87 - j2,01	3983,90	54,27	0,480	0,633	0,0052
				DRAKE	0,72	19,0	90,0	206,64 - j4,14	2830,95	11,10	0,759	0,951	0,0106
				RAIL	0,73	18,8	89,9	197,18 - j3,54	2967,08	16,36	0,663	0,844	0,0091

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	8	0	BITTERN	0,86	18,4	90,0	133,12 - j2,31	4394,94	65,65	0,651	0,764	0,0060
				BLUEJAY	0,87	18,6	89,9	139,27 - j2,61	4200,75	58,70	0,709	0,822	0,0068
				CHUKAR	0,78	17,8	89,1	128,21 - j1,73	4563,63	70,95	0,484	0,586	0,0045
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	151,27 - j3,51	3866,69	46,54	0,911	1,029	0,0090
				GROSBEAK	0,88	19,3	90,0	163,69 - j4,34	3572,58	35,93	1,050	1,163	0,0112
				LINNET	0,79	20,4	90,0	233,11 - j8,12	2507,44	-3,46	1,390	1,433	0,0208
				RAIL	0,87	18,8	90,0	146,50 - j3,00	3993,10	51,25	0,785	0,896	0,0077
			2	BITTERN	0,80	18,4	90,0	142,40 - j2,36	4108,73	56,16	0,607	0,761	0,0061
				BLUEJAY	0,80	18,6	89,9	149,32 - j2,67	3917,90	49,27	0,660	0,818	0,0069
				CHUKAR	0,78	17,8	89,1	128,77 - j1,77	4543,84	71,60	0,482	0,628	0,0046
				DRAKE	0,81	19,0	89,9	164,03 - j3,60	3566,13	36,32	0,839	1,018	0,0093
				GROSBEAK	0,80	19,3	89,9	179,46 - j4,46	3258,96	25,07	0,957	1,140	0,0115
				RAIL	0,81	18,8	89,9	158,19 - j3,07	3698,17	41,27	0,726	0,887	0,0079
			4	BITTERN	0,69	18,4	90,0	162,99 - j2,43	3589,73	32,89	0,528	0,746	0,0063
				BLUEJAY	0,69	18,6	89,9	172,49 - j2,76	3391,89	25,87	0,569	0,795	0,0071
				CHUKAR	0,70	18,0	90,0	140,63 - j1,81	4160,77	53,01	0,439	0,632	0,0047
				DRAKE	0,68	19,0	90,0	191,27 - j3,69	3058,55	13,88	0,718	0,968	0,0095
				GROSBEAK	0,69	19,3	89,7	208,68 - j4,49	2803,05	4,80	0,822	1,044	0,0115
				RAIL	0,68	18,8	89,9	183,64 - j3,16	3185,84	18,55	0,624	0,855	0,0081

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	9	0	BITTERN	0,81	18,3	89,3	128,07 - j2,07	4568,37	66,61	0,603	0,752	0,0054
				BLUEJAY	0,84	18,6	90,0	128,69 - j2,35	4545,89	66,15	0,685	0,821	0,0061
				CHUKAR	0,71	17,5	87,3	128,41 - j1,55	4556,66	65,29	0,430	0,543	0,0040
				DRAKE	0,86	19,0	90,0	138,77 - j3,15	4215,13	54,52	0,886	1,033	0,0081
				GROSBEAK	0,87	19,3	90,0	149,34 - j3,88	3915,98	44,07	1,026	1,172	0,0100
				LINNET	0,84	20,3	89,6	199,10 - j7,23	2935,54	9,15	1,448	1,535	0,0185
				RAIL	0,86	18,8	90,0	134,41 - j2,69	4352,39	59,49	0,764	0,898	0,0070
			1	BITTERN	0,81	18,4	89,9	127,03 - j2,09	4605,75	71,47	0,608	0,762	0,0054
				BLUEJAY	0,82	18,6	90,0	131,65 - j2,36	4443,73	65,80	0,669	0,822	0,0061
				CHUKAR	0,71	17,5	87,7	127,60 - j1,56	4585,86	69,81	0,433	0,551	0,0041
				DRAKE	0,84	19,0	90,0	142,09 - j3,17	4116,58	54,05	0,865	1,033	0,0082
				GROSBEAK	0,85	19,3	90,0	152,79 - j3,92	3827,86	43,77	1,003	1,171	0,0101
				LINNET	0,84	20,3	89,6	199,00 - j7,30	2936,90	11,56	1,451	1,594	0,0187
				RAIL	0,83	18,8	90,0	137,96 - j2,71	4240,36	58,62	0,744	0,897	0,0070
			3	BITTERN	0,75	18,4	90,0	136,05 - j2,15	4300,61	55,98	0,566	0,760	0,0056
				BLUEJAY	0,75	18,6	90,0	142,64 - j2,44	4101,54	49,09	0,615	0,818	0,0063
				CHUKAR	0,71	17,4	87,2	127,89 - j1,62	4575,15	64,99	0,432	0,605	0,0042
				DRAKE	0,76	19,0	90,0	156,22 - j3,28	3744,44	36,55	0,784	1,019	0,0084
				GROSBEAK	0,76	19,3	89,9	169,91 - j4,05	3442,28	26,01	0,900	1,144	0,0104

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	9	3	RAIL	0,75	18,8	90,0	150,79 - j2,80	3879,75	41,41	0,678	0,889	0,0072
		10	0	BITTERN	0,75	18,3	89,1	124,42 - j1,89	4702,56	66,07	0,560	0,708	0,0049
				BLUEJAY	0,80	18,5	89,2	124,49 - j2,14	4699,75	66,30	0,639	0,807	0,0055
				CHUKAR	0,70	16,6	83,0	123,46 - j1,41	4739,65	66,50	0,404	0,513	0,0037
				DRAKE	0,84	19,0	90,0	129,18 - j2,86	4528,21	60,63	0,860	1,035	0,0074
				GROSBEAK	0,85	19,3	90,0	138,17 - j3,52	4232,84	50,66	1,001	1,174	0,0091
				LINNET	0,87	20,4	89,9	172,00 - j6,53	3397,64	22,15	1,511	1,649	0,0168
				RAIL	0,83	18,8	90,0	125,43 - j2,45	4663,95	65,41	0,740	0,900	0,0063
			2	BITTERN	0,76	18,3	89,2	123,94 - j1,93	4720,84	67,71	0,562	0,746	0,0050
				BLUEJAY	0,79	18,6	90,0	124,40 - j2,18	4702,92	67,42	0,640	0,822	0,0056
				CHUKAR	0,71	16,5	82,5	122,99 - j1,44	4757,76	68,08	0,405	0,540	0,0037
				DRAKE	0,80	19,0	90,0	134,38 - j2,92	4353,01	55,37	0,825	1,033	0,0075
				GROSBEAK	0,81	19,3	90,0	144,42 - j3,60	4049,79	45,05	0,957	1,172	0,0093
				LINNET	0,81	20,4	89,9	184,60 - j6,68	3166,13	14,59	1,410	1,629	0,0171
				RAIL	0,80	18,8	90,0	130,52 - j2,50	4482,31	59,92	0,709	0,897	0,0065
			4	BITTERN	0,69	18,4	90,0	133,18 - j2,00	4393,31	52,66	0,521	0,759	0,0052
				BLUEJAY	0,69	18,6	90,0	139,42 - j2,26	4196,55	46,13	0,567	0,815	0,0058
				CHUKAR	0,66	17,6	88,1	124,12 - j1,51	4714,19	62,87	0,401	0,609	0,0039
				DRAKE	0,70	19,0	90,0	151,85 - j3,04	3852,34	34,51	0,727	1,018	0,0078

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	10	4	GROSBEAK	0,71	19,3	89,9	164,35 - j3,74	3558,98	24,71	0,838	1,141	0,0096
				LINNET	0,72	20,4	89,7	207,07 - j6,66	2823,30	0	1,256	1,484	0,0171
				RAIL	0,70	18,8	89,9	146,97 - j2,59	3980,71	38,93	0,627	0,887	0,0067
	Sim	6	0	CHUKAR	0,82	18,0	89,8	155,14 - j2,27	3771,55	29,27	0,528	0,593	0,0058
			2	CHUKAR	0,71	18,0	89,8	179,32 - j2,34	3262,96	13,26	0,456	0,558	0,0060
		7	0	BITTERN	0,81	18,4	90,0	156,11 - j2,62	3747,75	23,7	0,629	0,714	0,0067
				BLUEJAY	0,76	18,6	89,6	176,70 - j2,97	3310,97	9,62	0,635	0,690	0,0076
				CHUKAR	0,81	18,0	89,9	138,15 - j1,97	4235,16	38,65	0,511	0,600	0,0050
				RAIL	0,70	18,8	89,8	202,32 - j3,41	2891,74	-3,93	0,646	0,682	0,0087
			1	BITTERN	0,78	18,3	89,5	164,85 - j2,66	3549,15	20,58	0,597	0,692	0,0068
				BLUEJAY	0,76	18,6	89,9	175,53 - j3,02	3333,10	13,59	0,639	0,734	0,0077
				CHUKAR	0,79	18,0	89,9	141,74 - j1,99	4128,00	39,08	0,498	0,597	0,0051
				RAIL	0,71	18,8	90,0	200,72 - j3,49	2914,70	-0,35	0,652	0,732	0,0089
			3	CHUKAR	0,68	18,0	89,9	162,63 - j2,05	3598,02	16,74	0,432	0,571	0,0052
		8	0	BITTERN	0,81	18,4	90,0	139,77 - j2,32	4185,88	31,84	0,618	0,720	0,0059
				BLUEJAY	0,80	18,6	90,0	146,93 - j2,63	3981,87	25,77	0,670	0,771	0,0067
				CHUKAR	0,80	18,0	89,9	124,31 - j1,75	4706,94	47,15	0,500	0,601	0,0045
				DRAKE	0,78	18,9	89,7	166,37 - j3,53	3516,11	11,55	0,826	0,938	0,0090
				GROSBEAK	0,70	19,3	90,0	202,72 - j4,36	2885,52	-8,02	0,846	0,891	0,0111

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	8	0	RAIL	0,80	18,8	90,0	156,68 - j3,01	3733,84	18,32	0,732	0,835	0,0077
			2	BITTERN	0,73	18,4	89,9	154,13 - j2,39	3795,98	20,51	0,560	0,700	0,0061
				BLUEJAY	0,72	18,6	89,9	163,69 - j2,71	3574,23	13,81	0,601	0,742	0,0069
				CHUKAR	0,73	18,0	89,9	134,93 - j1,80	4336,57	36,61	0,459	0,596	0,0046
				DRAKE	0,67	18,9	89,7	195,21 - j3,63	2996,84	-4,14	0,704	0,837	0,0092
				RAIL	0,70	18,8	89,7	178,45 - j3,10	3278,41	4,73	0,643	0,777	0,0079
			4	BITTERN	0,64	18,4	89,8	174,51 - j2,37	3352,99	2,79	0,493	0,636	0,0060
				CHUKAR	0,63	18,0	90,0	152,09 - j1,83	3847,45	17,01	0,405	0,576	0,0047
		9	0	BITTERN	0,80	18,4	90,0	127,66 - j2,10	4583,10	39,14	0,605	0,724	0,0054
				BLUEJAY	0,80	18,6	90,0	134,21 - j2,37	4359,12	32,68	0,656	0,775	0,0060
				CHUKAR	0,78	18,0	90,0	113,74 - j1,59	5144,24	55,07	0,489	0,604	0,0041
				DRAKE	0,80	19,0	90,0	146,63 - j3,17	3989,41	21,93	0,836	0,969	0,0081
				GROSBEAK	0,77	19,3	89,7	167,45 - j3,90	3493,05	7,23	0,913	1,011	0,0099
				RAIL	0,80	18,8	90,0	142,23 - j2,70	4113,26	25,58	0,720	0,843	0,0069
			1	BITTERN	0,77	18,4	90,0	131,89 - j2,11	4436,21	37,89	0,585	0,718	0,0054
				BLUEJAY	0,78	18,6	90,0	137,59 - j2,39	4252,19	32,51	0,639	0,772	0,0061
				CHUKAR	0,75	18,0	90,0	118,86 - j1,60	4922,91	51,98	0,467	0,598	0,0041
				DRAKE	0,78	19,0	89,9	150,59 - j3,21	3884,49	21,55	0,815	0,958	0,0082
				GROSBEAK	0,76	19,3	89,8	169,33 - j3,96	3454,24	8,57	0,904	1,041	0,0101

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	9	1	RAIL	0,78	18,8	89,9	145,02 - j2,74	4034,09	26,1	0,706	0,837	0,0070
			3	BITTERN	0,69	18,4	90,0	145,43 - j2,18	4023,10	20,84	0,528	0,704	0,0056
				BLUEJAY	0,69	18,6	90,0	153,13 - j2,46	3820,74	15,07	0,572	0,748	0,0063
				CHUKAR	0,68	18,0	90,0	128,76 - j1,65	4544,25	35,47	0,429	0,596	0,0042
				DRAKE	0,69	19,0	89,9	168,44 - j3,27	3473,07	5,05	0,727	0,909	0,0083
				RAIL	0,69	18,8	89,9	162,50 - j2,81	3600,28	8,77	0,628	0,801	0,0071
		10	0	BITTERN	0,77	18,4	90,0	120,46 - j1,91	4857,15	41,96	0,580	0,720	0,0049
				BLUEJAY	0,78	18,6	90,0	125,10 - j2,16	4676,52	37,01	0,636	0,777	0,0055
				CHUKAR	0,76	18,0	90,0	107,12 - j1,46	5462,21	58,61	0,470	0,598	0,0037
				DRAKE	0,79	19,0	90,0	135,31 - j2,88	4323,20	27,13	0,819	0,972	0,0073
				GROSBEAK	0,81	19,3	90,0	142,03 - j3,55	4117,81	21,59	0,971	1,103	0,0090
				RAIL	0,79	18,8	90,0	130,81 - j2,46	4472,34	31,39	0,708	0,846	0,0063
			2	BITTERN	0,73	18,4	90,0	126,40 - j1,96	4628,82	35,98	0,551	0,716	0,0050
				BLUEJAY	0,73	18,6	90,0	131,73 - j2,21	4441,33	30,81	0,603	0,771	0,0056
				CHUKAR	0,71	18,0	89,9	114,05 - j1,48	5130,63	49,72	0,440	0,595	0,0038
				DRAKE	0,74	19,0	90,0	143,23 - j2,96	4084,04	20,76	0,773	0,960	0,0075
				GROSBEAK	0,74	19,3	90,0	155,89 - j3,65	3752,12	11,42	0,886	1,075	0,0093
				RAIL	0,73	18,8	89,9	139,65 - j2,53	4189,36	23,74	0,662	0,837	0,0064
			4	BITTERN	0,64	18,4	89,9	141,10 - j2,01	4146,75	18,27	0,491	0,701	0,0051

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	10	4	BLUEJAY	0,65	18,6	89,9	146,96 - j2,26	3981,23	13,84	0,537	0,750	0,0057
				CHUKAR	0,63	18,0	89,9	126,42 - j1,54	4628,57	31,09	0,394	0,592	0,0039
				DRAKE	0,66	19,0	89,8	159,99 - j2,97	3656,70	4,99	0,689	0,911	0,0076
				GROSBEAK	0,64	19,2	89,6	179,75 - j3,62	3254,41	-6,15	0,765	0,959	0,0092
				RAIL	0,65	18,8	89,8	155,06 - j2,56	3773,24	8,21	0,593	0,801	0,0065

Tabela 6.9: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	4	0	CHUKAR	8,31	19,27	34,09	2,22	2,35	2,22	1,00
		5	0	BITTERN	8,32	19,81	34,68	1,97	3,12	3,05	1,01
				BLUEJAY	8,31	19,29	34,14	1,56	2,40	2,45	1,13
				CHUKAR	8,31	20,09	35,65	3,47	5,55	5,33	1,02
			1	BITTERN	8,32	20,85	33,64	1,17	1,66	1,65	1,01
				BLUEJAY	8,32	20,92	32,53	0,71	1,01	1,00	1,01
				CHUKAR	8,32	20,78	35,08	2,56	3,66	3,55	1,02
			3	CHUKAR	8,31	21,31	33,39	2,10	0,00	6,41	2,12
		6	0	BITTERN	8,32	20,21	36,10	2,85	4,44	6,51	1,07
				BLUEJAY	8,31	20,15	35,64	2,31	3,58	5,49	1,05
				CHUKAR	8,32	20,28	37,09	4,37	7,37	9,01	1,04
				DRAKE	8,31	19,95	31,95	1,38	2,21	3,46	1,07
				GROSBEAK	8,32	20,65	29,61	0,51	0,91	0,93	1,17
				RAIL	8,33	20,02	34,87	1,73	2,74	4,34	1,02
			2	BITTERN	8,31	21,10	34,87	1,49	2,33	2,78	1,59
				BLUEJAY	8,32	21,09	34,07	1,08	1,63	2,09	1,56
				CHUKAR	8,31	20,94	36,38	2,89	4,83	5,06	1,50
				RAIL	8,32	20,99	32,90	0,68	0,98	1,45	1,33

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	6	4	BITTERN	8,33	21,31	33,88	1,87	0,00	7,16	5,20
				CHUKAR	8,31	21,19	34,40	3,22	0,00	12,31	2,97
		7	0	BITTERN	8,31	20,33	38,11	3,45	7,61	7,20	1,05
				BLUEJAY	8,32	20,38	37,55	2,95	6,46	6,23	1,05
				CHUKAR	8,32	19,98	39,07	4,76	11,20	9,72	1,06
				DRAKE	8,32	20,35	33,88	2,13	4,63	4,57	1,04
				GROSBEAK	8,32	20,13	32,96	1,56	3,39	3,38	1,04
				RAIL	8,33	20,39	36,70	2,41	5,28	5,16	1,04
			1	BITTERN	8,31	20,73	37,30	3,47	6,09	6,85	1,03
				BLUEJAY	8,32	20,88	36,73	2,89	5,02	5,72	1,03
				CHUKAR	8,32	20,18	38,33	5,52	9,92	10,83	1,04
				DRAKE	8,33	21,06	32,95	1,94	3,36	3,86	1,02
				GROSBEAK	8,32	20,95	31,93	1,33	2,28	2,66	1,02
				RAIL	8,31	20,94	35,90	2,31	3,99	4,58	1,03
			3	BITTERN	8,31	21,15	35,83	1,78	2,91	3,83	1,99
				BLUEJAY	8,30	21,14	35,05	1,35	2,11	3,06	1,93
				CHUKAR	8,33	20,85	37,65	3,33	5,99	6,55	1,82
				DRAKE	8,31	21,04	31,03	0,73	1,06	2,00	1,47
				RAIL	8,32	21,11	33,98	0,95	1,42	2,36	1,72

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	8	0	BITTERN	8,31	20,46	39,60	3,73	9,22	8,65	1,02
				BLUEJAY	8,32	20,56	39,03	3,20	7,87	7,45	1,02
				CHUKAR	8,32	20,16	40,12	4,34	10,97	9,53	1,10
				DRAKE	8,33	20,66	35,29	2,41	5,86	5,70	1,02
				GROSBEAK	8,31	20,54	34,39	1,85	4,49	4,38	1,03
				LINNET	8,01	20,08	30,21	0,39	0,95	0,95	1,00
				RAIL	8,31	20,61	38,18	2,69	6,58	6,33	1,02
			2	BITTERN	8,33	20,78	37,75	3,66	6,93	8,50	2,10
				BLUEJAY	8,32	20,94	37,22	3,04	5,73	7,13	2,12
				CHUKAR	8,33	20,15	38,80	5,63	10,76	12,03	2,22
				DRAKE	8,31	21,12	33,53	2,09	3,89	5,02	2,11
				GROSBEAK	8,32	21,18	32,51	1,45	2,65	3,57	2,01
				RAIL	8,32	21,08	36,36	2,43	4,53	5,76	2,13
			4	BITTERN	8,32	21,31	36,20	1,94	3,16	4,68	2,82
				BLUEJAY	8,32	21,32	35,52	1,52	2,39	3,90	2,60
				CHUKAR	8,33	21,02	37,86	3,45	6,17	7,50	2,89
				DRAKE	8,33	21,24	31,69	0,91	1,34	2,79	1,91
				GROSBEAK	8,31	21,01	30,79	0,52	0,73	2,11	1,14
				RAIL	8,33	21,29	34,59	1,14	1,71	3,19	2,23

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	9	0	BITTERN	8,32	20,19	40,44	3,75	11,31	9,60	1,11
				BLUEJAY	8,31	20,29	40,18	3,64	10,51	9,47	1,08
				CHUKAR	8,31	20,04	40,34	3,76	11,35	9,48	1,13
				DRAKE	8,32	20,67	36,35	2,75	7,87	7,34	1,06
				GROSBEAK	8,32	20,76	35,36	2,14	6,11	5,82	1,05
				LINNET	8,32	21,07	31,39	0,67	1,92	1,88	1,01
				RAIL	8,32	20,56	39,26	3,09	8,85	8,16	1,07
			1	BITTERN	8,31	20,27	40,44	5,23	10,63	9,80	1,26
				BLUEJAY	8,32	20,50	39,84	4,64	9,19	8,68	1,29
				CHUKAR	8,31	20,08	40,45	5,08	10,87	9,57	1,28
				DRAKE	8,32	20,87	36,02	3,54	6,84	6,61	1,31
				GROSBEAK	8,31	21,04	34,98	2,74	5,21	5,12	1,31
				LINNET	8,32	21,07	31,40	1,00	1,86	1,86	1,30
				RAIL	8,32	20,72	38,93	3,95	7,69	7,37	1,30
			3	BITTERN	8,33	20,62	38,19	3,99	7,79	10,21	2,64
				BLUEJAY	8,32	20,84	37,65	3,30	6,39	8,55	2,66
				CHUKAR	8,31	20,11	39,02	5,42	10,51	12,26	3,09
				DRAKE	8,31	21,11	33,96	2,28	4,34	6,13	2,59
				GROSBEAK	8,33	21,22	32,98	1,61	3,00	4,53	2,40

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	9	3	RAIL	8,32	21,01	36,82	2,64	5,07	6,99	2,64
		10	0	BITTERN	8,32	20,28	40,91	3,47	11,12	9,78	1,14
				BLUEJAY	8,32	20,31	40,85	3,47	11,12	9,82	1,13
				CHUKAR	8,32	20,25	40,75	3,49	11,21	9,77	1,14
				DRAKE	8,33	20,68	37,30	2,94	9,20	8,80	1,07
				GROSBEAK	8,31	20,91	36,30	2,30	7,19	7,10	1,05
				LINNET	8,32	20,70	33,14	1,19	3,16	4,01	1,25
				RAIL	8,32	20,51	40,21	3,28	10,25	9,68	1,07
			2	BITTERN	8,33	20,23	40,72	4,54	11,03	10,67	2,29
				BLUEJAY	8,32	20,35	40,43	4,33	10,32	10,68	2,11
				CHUKAR	8,32	20,20	40,54	4,55	11,08	10,67	2,36
				DRAKE	8,31	20,79	36,59	3,25	7,64	8,15	2,13
				GROSBEAK	8,32	21,05	35,54	2,49	5,83	6,37	2,13
				LINNET	8,33	21,26	32,12	0,92	2,18	2,66	1,65
				RAIL	8,31	20,63	39,49	3,63	8,59	9,03	2,13
			4	BITTERN	8,31	20,72	38,30	3,97	7,73	10,56	4,09
				BLUEJAY	8,32	20,95	37,76	3,31	6,39	9,01	4,01
				CHUKAR	8,31	20,21	39,12	5,54	10,83	13,09	4,66
				DRAKE	8,33	21,21	34,12	2,33	4,42	6,70	3,66

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	10	4	GROSBEAK	8,31	21,25	33,26	1,67	3,10	5,11	3,13
				LINNET	8,28	20,98	30,61	0,46	0,79	2,29	1,00
				RAIL	8,32	21,10	36,97	2,68	5,13	7,52	3,84
	Sim	6	0	CHUKAR	8,31	23,14	32,42	1,75	2,82	3,87	1,07
			2	CHUKAR	8,30	25,73	30,28	0,68	0,98	1,46	1,34
		7	0	BITTERN	8,32	23,72	32,84	1,31	2,87	2,87	1,02
				BLUEJAY	8,31	25,51	31,07	0,68	1,53	1,47	1,00
				CHUKAR	8,33	24,72	33,67	1,84	4,17	3,85	1,03
				RAIL	7,88	24,25	30,17	0,39	0,88	0,86	1,00
			1	BITTERN	8,32	25,57	31,64	1,06	1,85	2,11	1,01
				BLUEJAY	8,30	25,18	31,15	0,87	1,50	1,73	1,01
				CHUKAR	8,32	25,17	32,97	1,90	3,35	3,79	1,03
				RAIL	8,26	25,94	29,48	0,45	0,78	0,91	1,00
			3	CHUKAR	8,33	25,69	31,15	0,87	1,29	2,22	1,62
		8	0	BITTERN	8,32	24,70	33,87	1,41	3,49	3,39	1,01
				BLUEJAY	8,31	24,31	33,44	1,24	3,03	2,98	1,01
				CHUKAR	8,30	24,79	34,99	2,02	5,08	4,76	1,01
				DRAKE	8,32	23,88	29,73	0,88	2,27	1,91	1,15
				GROSBEAK	7,68	23,54	28,09	0,34	0,81	0,81	1,00

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	8	0	RAIL	8,31	23,79	32,80	1,04	2,63	2,46	1,00
			2	BITTERN	8,32	25,57	32,13	1,14	2,05	2,83	1,93
				BLUEJAY	8,31	25,67	31,52	0,88	1,58	2,28	1,71
				CHUKAR	8,32	25,17	33,37	1,93	3,57	4,52	2,21
				DRAKE	8,00	24,87	27,66	0,39	0,68	1,18	1,00
				RAIL	8,30	25,81	30,47	0,59	1,03	1,64	1,27
			4	BITTERN	8,33	25,73	30,58	0,45	0,59	1,98	1,09
				CHUKAR	8,32	25,84	31,56	0,96	1,42	2,88	2,01
		9	0	BITTERN	8,32	24,83	34,98	1,67	4,74	4,40	1,04
				BLUEJAY	8,33	24,99	34,33	1,38	4,00	3,74	1,03
				CHUKAR	8,31	24,17	36,60	2,62	7,14	6,43	1,14
				DRAKE	8,30	24,70	30,70	1,05	3,02	2,92	1,02
				GROSBEAK	8,31	25,58	28,97	0,60	1,74	1,69	1,00
				RAIL	8,30	24,93	33,45	1,14	3,31	3,14	1,02
			1	BITTERN	8,33	25,15	34,49	2,11	4,01	3,88	1,36
				BLUEJAY	8,33	25,31	33,88	1,83	3,43	3,37	1,36
				CHUKAR	8,30	24,54	35,82	3,01	5,93	5,52	1,33
				DRAKE	8,31	25,40	30,15	1,33	2,47	2,47	1,34
				GROSBEAK	8,32	25,93	28,67	0,84	1,57	1,56	1,30

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	9	1	RAIL	8,30	25,39	33,00	1,52	2,83	2,81	1,36
			3	BITTERN	8,33	25,50	32,60	1,26	2,27	3,65	2,22
				BLUEJAY	8,32	25,56	32,06	1,02	1,78	3,06	1,99
				CHUKAR	8,30	24,98	33,82	2,05	3,90	5,53	2,57
				DRAKE	8,31	25,73	28,43	0,65	1,07	2,22	1,40
				RAIL	8,30	25,60	31,27	0,78	1,32	2,50	1,64
		10	0	BITTERN	8,33	24,89	35,72	1,67	5,30	5,01	1,02
				BLUEJAY	8,30	24,99	35,15	1,45	4,61	4,49	1,02
				CHUKAR	8,33	24,13	37,41	2,66	7,93	7,21	1,12
				DRAKE	8,33	25,22	31,36	1,14	3,47	3,59	1,06
				GROSBEAK	8,33	23,88	30,99	1,11	2,90	4,01	1,10
				RAIL	8,33	25,21	34,20	1,25	3,92	3,94	1,02
			2	BITTERN	8,33	25,12	34,85	1,74	4,17	4,57	2,11
				BLUEJAY	8,30	25,22	34,29	1,49	3,56	4,01	2,04
				CHUKAR	8,31	24,48	36,18	2,53	6,19	6,40	2,19
				DRAKE	8,30	25,52	30,52	1,07	2,54	3,04	1,81
				GROSBEAK	8,31	25,73	29,50	0,73	1,79	2,29	1,46
				RAIL	8,31	25,42	33,32	1,20	2,87	3,30	1,92
			4	BITTERN	8,33	25,50	32,77	1,22	2,23	3,99	2,59

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	10	4	BLUEJAY	8,30	25,55	32,33	1,03	1,81	3,51	2,24
				CHUKAR	8,32	25,15	33,81	1,98	3,73	5,68	3,58
				DRAKE	8,32	25,83	28,74	0,65	1,13	2,68	1,44
				GROSBEAK	7,82	24,26	28,44	0,37	0,64	1,86	1,00
				RAIL	8,33	25,65	31,55	0,78	1,36	2,96	1,73

Tabela 6.10: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	6	0	CHUKAR	0,89	18,0	90,0	186,57 - j2,24	5359,01	35,83	0,572	0,607	0,0058
			2	CHUKAR	0,75	18,0	90,0	221,40 - j2,31	4516,31	15,72	0,482	0,574	0,0059
		7	0	BITTERN	0,88	18,4	90,0	186,77 - j2,59	5353,25	31,27	0,686	0,735	0,0066
				BLUEJAY	0,87	18,6	89,9	200,48 - j2,94	4987,05	22,58	0,730	0,774	0,0075
				CHUKAR	0,89	18,0	90,0	162,05 - j1,93	6169,91	50,37	0,566	0,627	0,0050
				RAIL	0,78	18,8	89,9	236,93 - j3,39	4219,77	4,02	0,720	0,785	0,0087
			1	BITTERN	0,84	18,4	89,9	195,98 - j2,62	5101,61	28,17	0,654	0,726	0,0067
				BLUEJAY	0,83	18,6	90,0	210,44 - j2,98	4751,07	19,65	0,696	0,765	0,0076
				CHUKAR	0,86	18,0	90,0	167,87 - j1,95	5956,34	48,73	0,547	0,623	0,0050
			3	CHUKAR	0,71	18,0	90,0	200,15 - j2,02	4995,63	21,16	0,457	0,591	0,0052
		8	0	BITTERN	0,88	18,4	90,0	165,55 - j2,27	6039,24	42,64	0,679	0,748	0,0059
				BLUEJAY	0,88	18,6	89,9	175,11 - j2,58	5709,52	35,15	0,732	0,799	0,0066
				CHUKAR	0,87	18,0	90,0	145,96 - j1,70	6850,25	60,85	0,552	0,629	0,0044
				DRAKE	0,86	19,0	90,0	196,84 - j3,48	5078,68	20,56	0,911	0,978	0,0089
				GROSBEAK	0,74	19,3	90,0	248,96 - j4,32	4015,45	-4,33	0,899	0,921	0,0111
				RAIL	0,87	18,8	89,9	187,43 - j2,97	5334,04	26,56	0,798	0,862	0,0076
			2	BITTERN	0,80	18,4	89,9	182,25 - j2,34	5485,97	30,68	0,616	0,735	0,0060
				BLUEJAY	0,79	18,6	89,9	194,58 - j2,66	5138,20	22,66	0,659	0,779	0,0068

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	8	2	CHUKAR	0,80	18,0	89,9	157,67 - j1,74	6341,70	50,15	0,510	0,624	0,0045
				RAIL	0,76	18,8	89,9	214,14 - j3,06	4668,94	11,74	0,698	0,817	0,0079
			4	BITTERN	0,65	18,4	89,9	221,47 - j2,37	4514,75	5,01	0,506	0,656	0,0061
				CHUKAR	0,67	18,0	89,9	187,58 - j1,81	5330,58	23,23	0,427	0,599	0,0047
		9	0	BITTERN	0,87	18,4	90,0	150,80 - j2,03	6630,10	51,75	0,664	0,755	0,0052
				BLUEJAY	0,87	18,6	90,0	157,80 - j2,30	6335,80	45,30	0,724	0,811	0,0059
				CHUKAR	0,85	17,9	89,6	135,77 - j1,53	7364,39	67,61	0,529	0,627	0,0040
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	173,14 - j3,10	5773,80	32,78	0,922	1,008	0,0080
				GROSBEAK	0,87	19,3	89,7	191,04 - j3,85	5232,38	20,67	1,043	1,119	0,0099
				RAIL	0,88	18,8	90,0	166,48 - j2,65	6005,11	37,97	0,800	0,882	0,0068
			1	BITTERN	0,85	18,4	90,0	154,16 - j2,05	6485,65	51,40	0,650	0,755	0,0053
				BLUEJAY	0,85	18,6	90,0	161,85 - j2,33	6177,21	44,49	0,706	0,810	0,0060
				CHUKAR	0,83	18,0	90,0	137,37 - j1,54	7278,95	69,06	0,523	0,631	0,0040
				DRAKE	0,85	19,0	89,9	179,21 - j3,14	5578,22	30,85	0,891	1,001	0,0081
				GROSBEAK	0,84	19,3	90,0	197,49 - j3,89	5061,55	19,13	1,009	1,112	0,0100
				RAIL	0,85	18,8	89,9	171,73 - j2,67	5821,60	36,50	0,775	0,878	0,0069
			3	BITTERN	0,75	18,4	89,9	172,89 - j2,13	5783,03	31,84	0,578	0,738	0,0055
				BLUEJAY	0,74	18,6	89,9	183,72 - j2,42	5442,00	24,32	0,621	0,784	0,0062
				CHUKAR	0,75	18,0	90,0	150,79 - j1,59	6630,93	50,28	0,475	0,625	0,0041

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	9	3	DRAKE	0,72	19,0	89,9	208,80 - j3,25	4788,08	9,65	0,764	0,938	0,0083
				RAIL	0,73	18,8	90,0	197,66 - j2,78	5058,07	15,78	0,673	0,839	0,0071
		10	0	BITTERN	0,85	18,4	90,0	139,47 - j1,85	7168,59	59,13	0,648	0,756	0,0048
				BLUEJAY	0,86	18,6	90,0	145,70 - j2,09	6862,16	52,61	0,708	0,815	0,0054
				CHUKAR	0,79	17,8	89,2	132,11 - j1,39	7568,53	67,19	0,491	0,598	0,0036
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	156,48 - j2,81	6388,63	42,40	0,920	1,019	0,0072
				GROSBEAK	0,87	19,3	90,0	172,70 - j3,47	5787,88	29,42	1,040	1,133	0,0089
				RAIL	0,87	18,8	90,0	152,28 - j2,40	6565,37	46,30	0,789	0,889	0,0062
			2	BITTERN	0,81	18,4	90,0	145,63 - j1,89	6865,42	53,35	0,620	0,756	0,0049
				BLUEJAY	0,82	18,6	90,0	152,64 - j2,14	6550,09	46,58	0,675	0,814	0,0055
				CHUKAR	0,79	17,9	89,4	131,80 - j1,42	7586,46	68,59	0,492	0,627	0,0037
				DRAKE	0,82	19,0	90,0	168,76 - j2,89	5924,00	32,91	0,853	1,010	0,0074
				GROSBEAK	0,81	19,3	90,0	185,96 - j3,57	5375,58	20,98	0,966	1,126	0,0092
				RAIL	0,82	18,8	90,0	161,87 - j2,46	6176,50	38,51	0,742	0,884	0,0063
			4	BITTERN	0,70	18,4	89,9	167,98 - j1,98	5952,29	30,36	0,536	0,737	0,0051
				BLUEJAY	0,70	18,6	90,0	176,74 - j2,24	5657,11	24,14	0,581	0,788	0,0057
				CHUKAR	0,69	18,0	89,9	147,36 - j1,48	6785,27	47,81	0,438	0,624	0,0038
				DRAKE	0,70	19,0	90,0	194,77 - j2,97	5133,15	12,92	0,738	0,959	0,0076
				GROSBEAK	0,68	19,3	89,7	218,56 - j3,58	4574,16	0,96	0,821	1,005	0,0092

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	10	4	RAIL	0,70	18,8	90,0	187,73 - j2,55	5325,93	17,12	0,638	0,842	0,0066
	Sim	8	0	CHUKAR	0,79	18,0	89,9	157,28 - j1,71	6357,26	25,97	0,511	0,582	0,0043
			2	CHUKAR	0,69	18,0	90,0	180,22 - j1,77	5548,34	11,13	0,445	0,545	0,0045
		9	0	BITTERN	0,75	18,4	90,0	171,04 - j2,04	5845,87	12,55	0,584	0,643	0,0052
				BLUEJAY	0,71	18,5	89,6	190,62 - j2,31	5245,37	1,23	0,598	0,640	0,0059
				CHUKAR	0,79	18,0	90,0	141,81 - j1,53	7051,01	34,91	0,506	0,591	0,0039
			1	BITTERN	0,76	18,4	90,0	170,84 - j2,07	5852,63	15,29	0,585	0,670	0,0053
				BLUEJAY	0,72	18,5	89,4	190,86 - j2,36	5238,54	3,44	0,598	0,674	0,0060
				CHUKAR	0,78	18,0	90,0	144,23 - j1,55	6932,34	35,67	0,497	0,588	0,0040
			3	CHUKAR	0,68	18,0	89,9	164,24 - j1,61	6088,22	15,56	0,435	0,563	0,0041
		10	0	BITTERN	0,78	18,3	89,2	152,05 - j1,85	6576,00	22,20	0,593	0,676	0,0047
				BLUEJAY	0,79	18,6	90,0	155,49 - j2,10	6429,94	19,75	0,661	0,747	0,0053
				CHUKAR	0,78	18,0	90,0	131,36 - j1,40	7612,06	40,61	0,494	0,592	0,0036
				DRAKE	0,70	19,0	90,0	192,40 - j2,81	5196,38	-2,90	0,746	0,796	0,0072
				RAIL	0,74	18,7	89,5	177,90 - j2,40	5620,18	4,93	0,674	0,730	0,0061
			2	BITTERN	0,74	18,4	90,0	158,14 - j1,91	6322,43	18,18	0,570	0,691	0,0049
				BLUEJAY	0,72	18,6	90,0	170,74 - j2,17	5855,85	9,71	0,602	0,724	0,0055
				CHUKAR	0,74	18,0	90,0	137,57 - j1,44	7268,27	35,02	0,471	0,589	0,0037
			4	CHUKAR	0,63	18,0	89,9	158,91 - j1,48	6292,22	13,89	0,405	0,562	0,0038

Tabela 6.11: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	6	0	CHUKAR	8,31	19,45	40,93	2,28	3,61	5,72	1,03
			2	CHUKAR	8,31	20,29	38,14	0,86	1,25	1,77	1,44
		7	0	BITTERN	8,32	19,45	41,84	1,98	4,29	4,29	1,04
				BLUEJAY	8,32	19,04	41,09	1,58	3,41	3,43	1,04
				CHUKAR	8,32	19,86	43,36	3,22	7,04	6,88	1,04
				RAIL	8,33	20,04	37,52	0,63	1,11	1,28	1,41
			1	BITTERN	8,33	20,30	40,39	1,64	2,82	3,29	1,03
				BLUEJAY	8,33	20,17	39,43	1,21	2,08	2,44	1,03
				CHUKAR	8,32	20,45	42,22	3,05	5,27	6,05	1,03
			3	CHUKAR	8,32	20,46	39,57	1,21	1,86	2,82	1,92
		8	0	BITTERN	8,33	20,02	43,64	2,36	5,70	5,57	1,03
				BLUEJAY	8,32	19,88	42,88	1,95	4,73	4,54	1,04
				CHUKAR	8,32	20,16	45,24	3,58	8,72	8,42	1,03
				DRAKE	8,31	19,42	38,71	1,31	3,23	2,99	1,06
				GROSBEAK	7,92	19,15	35,30	0,37	0,90	0,90	1,00
				RAIL	8,31	19,69	41,75	1,53	3,78	3,50	1,06
			2	BITTERN	8,32	20,56	41,17	1,82	3,35	4,44	2,15
				BLUEJAY	8,32	20,48	40,28	1,38	2,50	3,41	2,06

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	8	2	CHUKAR	8,31	20,52	42,93	3,25	6,11	7,66	2,19
				RAIL	8,33	20,38	38,74	0,88	1,56	2,27	1,72
			4	BITTERN	8,33	20,26	38,35	0,54	0,75	2,15	1,18
				CHUKAR	8,32	20,62	40,33	1,44	2,23	3,74	2,62
		9	0	BITTERN	8,32	20,25	44,97	2,73	7,80	7,43	1,05
				BLUEJAY	8,33	20,18	44,27	2,37	6,70	6,48	1,05
				CHUKAR	8,32	20,14	46,51	3,88	11,39	10,32	1,07
				DRAKE	8,32	19,94	40,28	1,75	4,90	4,83	1,05
				GROSBEAK	8,32	19,61	38,94	1,24	3,49	3,46	1,04
				RAIL	8,33	20,05	43,28	2,00	5,61	5,50	1,05
			1	BITTERN	8,32	20,53	44,45	3,52	6,65	6,57	1,32
				BLUEJAY	8,31	20,55	43,62	2,95	5,54	5,50	1,32
				CHUKAR	8,32	20,25	46,28	5,26	10,26	9,84	1,30
				DRAKE	8,32	20,47	39,41	2,03	3,79	3,79	1,31
				GROSBEAK	8,33	20,26	37,95	1,41	2,62	2,65	1,32
				RAIL	8,32	20,50	42,52	2,40	4,46	4,46	1,32
			3	BITTERN	8,33	20,59	41,82	2,04	3,85	5,59	2,62
				BLUEJAY	8,31	20,53	41,03	1,57	2,93	4,44	2,43
				CHUKAR	8,33	20,49	43,48	3,55	6,86	9,16	2,79

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	9	3	DRAKE	8,32	20,39	36,59	0,86	1,50	2,68	1,77
				RAIL	8,32	20,46	39,80	1,14	2,05	3,34	2,12
		10	0	BITTERN	8,32	20,45	46,16	2,94	9,20	9,10	1,06
				BLUEJAY	8,33	20,47	45,34	2,57	7,80	8,12	1,08
				CHUKAR	8,32	20,22	47,13	3,62	11,48	10,59	1,11
				DRAKE	8,31	20,09	41,44	2,19	5,83	7,55	1,21
				GROSBEAK	8,32	20,11	39,91	1,55	4,07	5,30	1,25
				RAIL	8,32	20,27	44,37	2,34	6,54	7,66	1,16
			2	BITTERN	8,33	20,54	45,23	3,23	7,54	8,17	2,21
				BLUEJAY	8,32	20,60	44,44	2,73	6,34	6,95	2,19
				CHUKAR	8,33	20,21	46,85	4,70	11,16	11,41	2,26
				DRAKE	8,33	20,68	40,10	1,86	4,31	4,84	2,13
				GROSBEAK	8,32	20,60	38,56	1,23	2,89	3,38	1,92
				RAIL	8,32	20,63	43,26	2,19	5,08	5,65	2,17
			4	BITTERN	8,32	20,65	42,13	2,12	3,98	6,21	3,64
				BLUEJAY	8,32	20,63	41,42	1,71	3,14	5,19	3,25
				CHUKAR	8,31	20,56	43,67	3,61	6,95	9,76	4,25
				DRAKE	8,33	20,61	37,36	1,07	1,76	3,63	2,28
				GROSBEAK	8,32	20,31	35,87	0,50	0,86	2,36	1,09

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	10	4	RAIL	8,32	20,58	40,38	1,30	2,26	4,17	2,69
	Sim	8	0	CHUKAR	8,32	22,92	38,07	1,37	3,41	3,24	1,00
			2	CHUKAR	8,33	24,73	35,02	0,79	1,40	2,08	1,63
		9	0	BITTERN	8,32	24,63	36,42	0,74	2,13	2,07	1,01
				BLUEJAY	8,30	24,53	35,08	0,48	1,38	1,36	1,00
				CHUKAR	8,31	24,05	39,09	1,52	4,43	4,19	1,03
			1	BITTERN	8,31	24,68	36,36	1,09	2,03	2,03	1,32
				BLUEJAY	8,30	24,79	34,87	0,69	1,28	1,28	1,31
				CHUKAR	8,33	24,54	38,48	2,04	3,80	3,80	1,37
			3	CHUKAR	8,32	24,62	36,07	1,08	1,83	3,18	2,09
		10	0	BITTERN	8,31	24,57	38,00	0,99	3,04	3,15	1,03
				BLUEJAY	8,32	23,07	38,27	1,14	3,01	3,80	1,14
				CHUKAR	8,32	24,38	40,03	1,64	5,13	5,08	1,04
				DRAKE	8,09	23,95	32,71	0,41	1,27	1,33	1,00
				RAIL	8,33	24,67	35,65	0,56	1,69	1,80	1,01
			2	BITTERN	8,32	24,73	37,28	0,97	2,34	2,86	1,76
				BLUEJAY	8,32	24,79	36,23	0,67	1,70	2,18	1,39
				CHUKAR	8,31	24,51	39,11	1,70	4,03	4,58	2,16
			4	CHUKAR	8,32	24,66	36,34	1,05	1,83	3,55	2,30

6.5.2 - Análise da evolução de casos representativos

O objetivo desta análise é visualizar e identificar características do processo de otimização de casos representativos e, assim, prover um conjunto de informações que possibilitará uma leitura detalhada do processo de otimização e da formação das geometrias otimizadas.

Dentre os casos estudados, cujos resultados foram apresentados na seção anterior, foram selecionados alguns casos representativos, ou seja, que representam um conjunto de casos por terem semelhança na forma dos feixes. Esta seção mostra a variação de alguns parâmetros ao longo do processo de otimização para tais casos.

É mostrada a variação da posição dos condutores e dos principais parâmetros associados à geometria dada em cada iteração do processo. É apresentada também a geometria obtida ao final do processo, ou seja, quando a restrição do campo elétrico superficial máximo é atingida ou quando o processo atinge o limite de iterações programado. Em duas tabelas, uma para o feixe interno e outra para o feixe externo, são mostrados os parâmetros associados a cada subcondutor da linha.

Dentre os parâmetros apresentados, dois ainda não foram apresentados até esta seção: o parâmetro *Ki* refere-se à irregularidade na distribuição do campo elétrico superficial dos condutores e o parâmetro *Kc* ao fator de distribuição de carga elétrica entre os condutores. O produto de ambos representa a irregularidade na distribuição do campo elétrico entre a superfície dos condutores de toda a linha. Ambos os parâmetros são explicados no Capítulo 7.

Na apresentação da variação das posições dos condutores os deslocamentos aplicados para atender às restrições de campo magnético e campo elétrico ao nível do solo e da distância de isolamento mínima foram totalmente compensados para facilitar a visualização da expansão dos feixes. Assim, os gráficos observados mostram a variação dos feixes em relação à sua forma original sem considerar tais deslocamentos. Os parâmetros mostrados nos gráficos são calculados considerando a aplicação dos deslocamentos acima mencionados, ou seja, com a real posição dos condutores.

A escala de cores relaciona a posição dos condutores às iterações do processo de otimização. Nos gráficos que mostram a variação dos parâmetros, as linhas azuis e contínuas mostram os parâmetros do feixe interno, enquanto as linhas pretas e tracejadas mostram os parâmetros dos feixes externos.

O procedimento de ajuste da distância de isolamento e da altura da torre acabam distorcendo o processo de otimização, assim, a distância de isolamento e os limites de campo elétrico e campo magnético ao nível do solo deveriam idealmente ser tratados como restrições ao deslocamento dos subcondutores, em lugar dos ajustes.

Considerando apenas os casos onde as restrições não são ativadas ao longo do processo de otimização pode-se perceber uma semelhança muito grande entre os casos com igual número de subcondutores, sendo necessário apenas um dentre eles para representar o grupo todo.

Os casos onde há ativação de restrições têm grande variabilidade de geometrias. Buscou-se, portanto, satisfazer o compromisso entre representatividade e quantidade de casos a serem exibidos.

6.5.2.1- Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

A otimização da reatância externa busca a expansão de todos os feixes de forma muito próxima à regular (radial) no início do processo e que vai se tornando irregular com o avanço das iterações. A forma dos feixes tende à redução da sua altura em relação à sua largura, ou seja, se tornam mais achatados. Tal forma é mais facilmente perceptível nos casos com maior número de subcondutores.

Sobre os casos irrestritos é possível afirmar que a expansão dos feixes tem características semelhantes entre os casos mesmo para diferentes números de subcondutores por feixe. Esta tendência de expansão se caracteriza pelo maior espaçamento entre subcondutores localizados próximo ao eixo horizontal no feixe interno e maior espaçamento os entre subcondutores dos feixes externos que estão voltados para o feixe interno. Pode-se observar através do fator de distribuição de carga elétrica, *Kc*, e das correntes por subcondutor, *Icond* (calculada conforme o Apêndice G), que o aumento da potência característica é sustentado pelo forte carregamento destes subcondutores. É observado que para formar esta geometria os subcondutores localizados entre feixes são aqueles que mais se deslocam, remetendo à idéia de aproximação de fases para elevar o acoplamento mútuo, que se intensifica na medida em que o feixe se expande. Adicionalmente a tendência de expansão quase regular dos feixes remete à idéia de feixes expandidos, ou seja, menor acoplamento entre subcondutores de um mesmo feixe.

Esta forma que tomam os feixes acaba gerando maior dispersão na distribuição de carga elétrica entre os subcondutores, evidenciando que a direção de alteração da forma a ser otimizada pela reatância externa não é a mesma direção que viria a uniformizar a distribuição de carga elétrica entre os subcondutores.

No início do processo a tendência de expansão radial dos feixes reduz a irregularidade do campo elétrico na superfície dos subcondutores, representada pelo fator *Ki*, fazendo com que o aproveitamento da superfície dos subcondutores seja melhorado, apesar da má distribuição de carga elétrica.

A evolução dos casos restritos (casos em que há a ativação de ao menos uma restrição) é mais diversa, sendo necessário avaliar as suas características tomando mais casos representativos como exemplo.

Quando ocorre a ativação das restrições sobre o campo elétrico superficial dos subcondutores a direção de deslocamento é alterada no sentido de melhorar distribuição de carga elétrica entre os subcondutores, o que pode ser percebido na variação do parâmetro *Kc*. Mais precisamente, quando o campo elétrico em um subcondutor atinge o valor limite a sua densidade de carga elétrica deve permanecer aproximadamente constante para que não haja violação da restrição. Com isto, os valores de carga elétrica nos subcondutores mais carregados passam a ser muito próximos entre si e o aumento do carregamento se dá nos outros subcondutores. A ativação das restrições pode ser percebida nos gráficos que mostram o valor máximo do campo elétrico superficial (*Esup*).

Em geral é primeiramente sobre os subcondutores do feixe interno onde o campo elétrico atinge o seu valor limite, fazendo com que a expansão deste feixe seja limitada e tenha menores dimensões do que os feixes externos. Isto ocorre porque a assimetria na disposição (horizontal) dos feixes faz com que o feixe interno esteja sujeito a um maior acoplamento capacitivo com os outros dois feixes e com que a carga elétrica sobre o mesmo em relação aos demais seja reduzida, resultando no seu tamanho ser inferior aos dos outros feixes.

A ativação das restrições associadas ao feixe interno também afeta a direção de expansão dos subcondutores externos, ainda que esta alteração seja normalmente pequena. Em geral, no decorrer de poucas iterações após a ativação das restrições sobre o feixe interno, são também ativadas as restrições associadas aos feixes externos. Como a carga elétrica é mal distribuída entre os subcondutores destes feixes, somente as restrições associadas a alguns subcondutores são ativadas. Tal fato pode ser constatado relacionando-se a ativação das restrições com a alteração

na tendência de variação do fator de distribuição de cargas *Kc*. Nesta situação, normalmente todos os subcondutores do feixe têm sua direção de expansão significativamente alterada.

A nova direção de deslocamento dos subcondutores após a ativação de uma restrição, dada pela projeção do gradiente, é bastante diversa entre os casos estudados e parece depender fortemente: do tamanho dos feixes quando a primeira restrição é ativada, da sequência de ativação das restrições e, evidentemente, do número de subcondutores.

Nos feixes externos são os subcondutores voltados para o feixe interno que se tornam mais carregados. O campo elétrico superficial sobre os mesmos se eleva rapidamente e suas restrições são, em geral, ativadas antes do dos outros subcondutores do feixe. Assim, os subcondutores voltados para o exterior da linha de transmissão estarão menos carregados que os demais e quando o processo termina eles normalmente estão sub-utilizados.

Ainda nos feixes externos percebe-se que os subcondutores inferiores têm carregamento pouco superior aos subcondutores superiores. Com isso, normalmente as restrições associadas aos subcondutores inferiores são ativadas anteriormente aos seus correspondentes superiores. Tal fato é explicado pela influência do solo sobre o carregamento dos subcondutores: aqueles que estão mais próximos ao solo estarão sujeitos a maior capacitância própria.

Quando ocorre a ativação da restrição sobre um ou mais subcondutores do feixe externo que estão voltados para o interno, os subcondutores localizados mais próximos àqueles tendem a se aproximar dos mesmos para melhor compartilhar o carregamento. Os subcondutores voltados para o exterior da linha se afastam rapidamente e, assim, também têm seu carregamento elevado, ainda que mais lentamente.

No feixe interno também se percebe a aproximação dos subcondutores laterais, que se deslocam também no sentido de melhor compartilhar o carregamento entre eles.

Embora normalmente seja pequeno, é comum ocorrer o deslocamento vertical do feixe interno, mais perceptível e mais intenso nos casos em que a expansão dos feixes é rapidamente limitada. Tal deslocamento pode ser relacionado à redução da carga elétrica de todo o feixe, de forma a se permitir um melhor equilíbrio de carga elétrica entre feixes.

Em alguns casos ocorre uma forte subutilização de alguns subcondutores com o decrescimento de sua densidade de carga elétrica, enquanto os outros passam a ter maior carregamento, levando, ou tendendo a levar, o seu campo elétrico superficial ao limite.

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	9

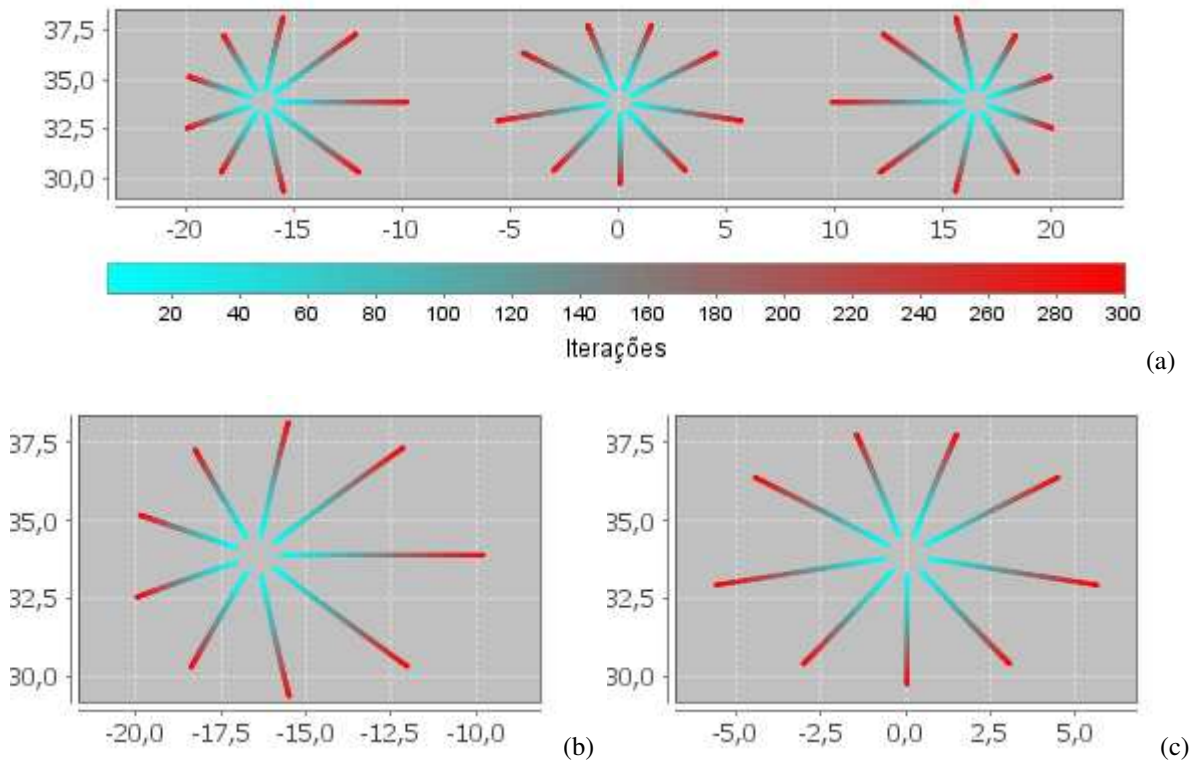

Figura 6.8: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

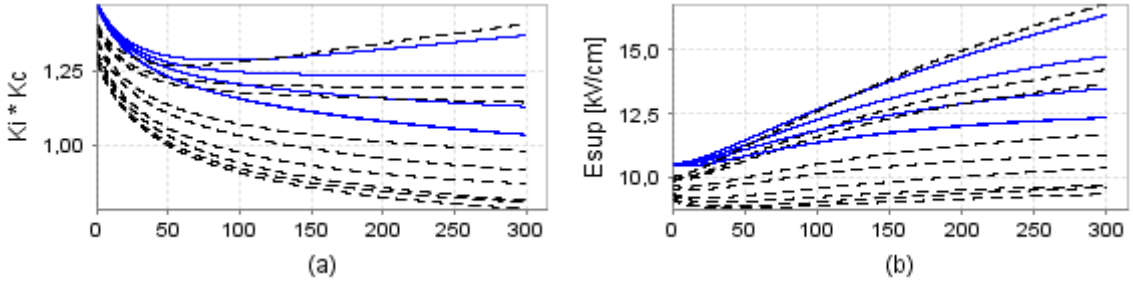

Figura 6.9: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

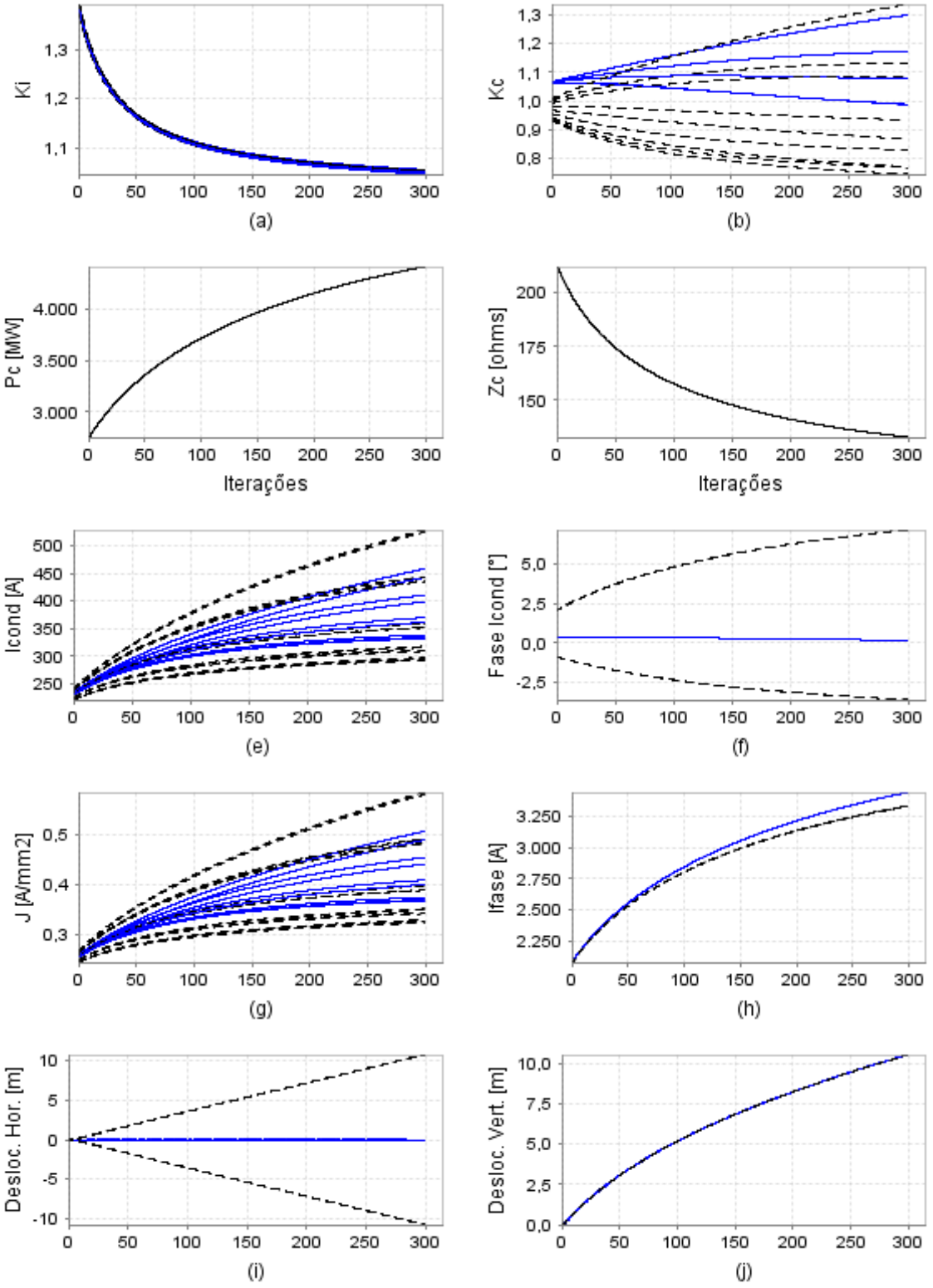

Figura 6.10: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

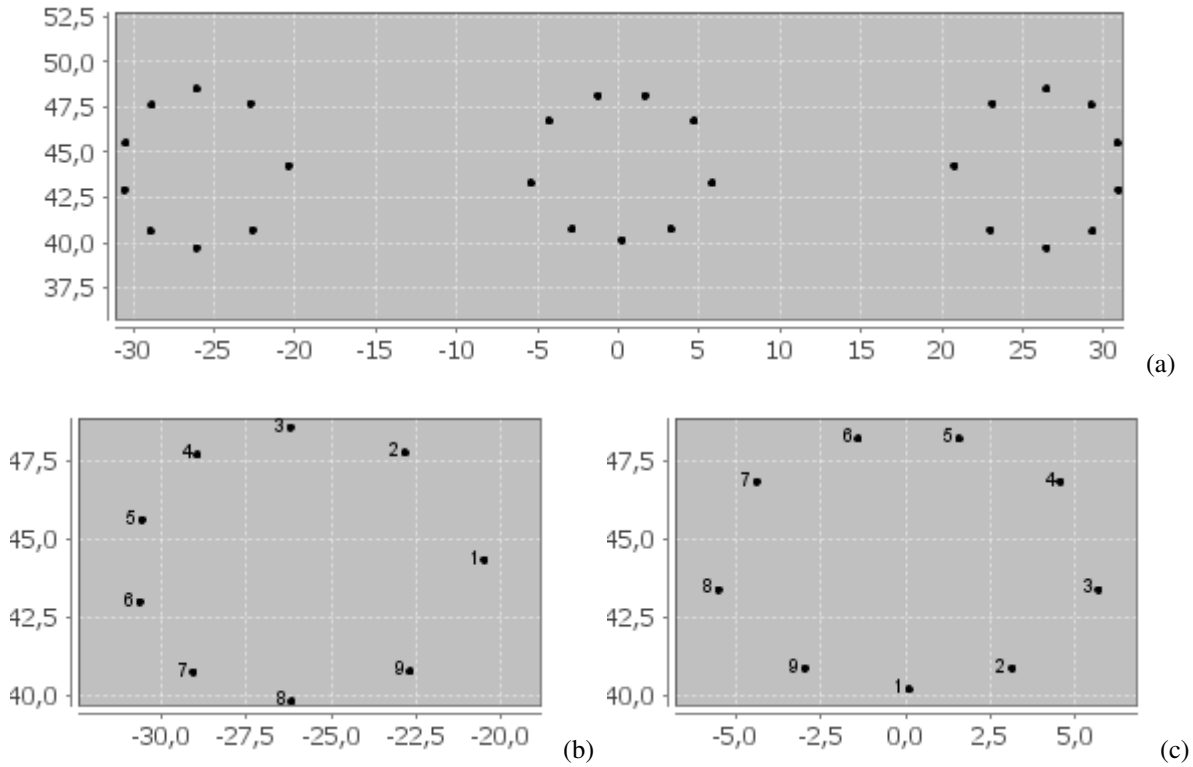

Figura 6.11: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.12: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,034	1,130	1,370	1,236	1,035	1,035	1,236	1,370	1,130		1,175	0,383
Ki	1,046	1,050	1,056	1,054	1,048	1,048	1,054	1,056	1,050		1,051	0,010
Kc	0,989	1,076	1,298	1,172	0,987	0,987	1,172	1,298	1,076		1,117	0,354
Icond [A]	332	361	442	398	334	338	410	457	370		382	133
Esup [kV/cm]	12,3	13,5	16,3	14,7	12,3	12,3	14,7	16,3	13,5		14,0	4,6

Tabela 6.13: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,407	1,144	0,914	0,812	0,784	0,806	0,869	0,980	1,192		0,990	0,605
Ki	1,054	1,053	1,053	1,052	1,051	1,049	1,048	1,049	1,051		1,051	0,006
Kc	1,336	1,086	0,868	0,772	0,746	0,768	0,829	0,934	1,133		0,941	0,573
Icond [A]	524	435	352	311	295	297	318	360	442		370	225
Esup [kV/cm]	16,8	13,7	10,9	9,7	9,4	9,6	10,4	11,7	14,2		11,8	7,2

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	9

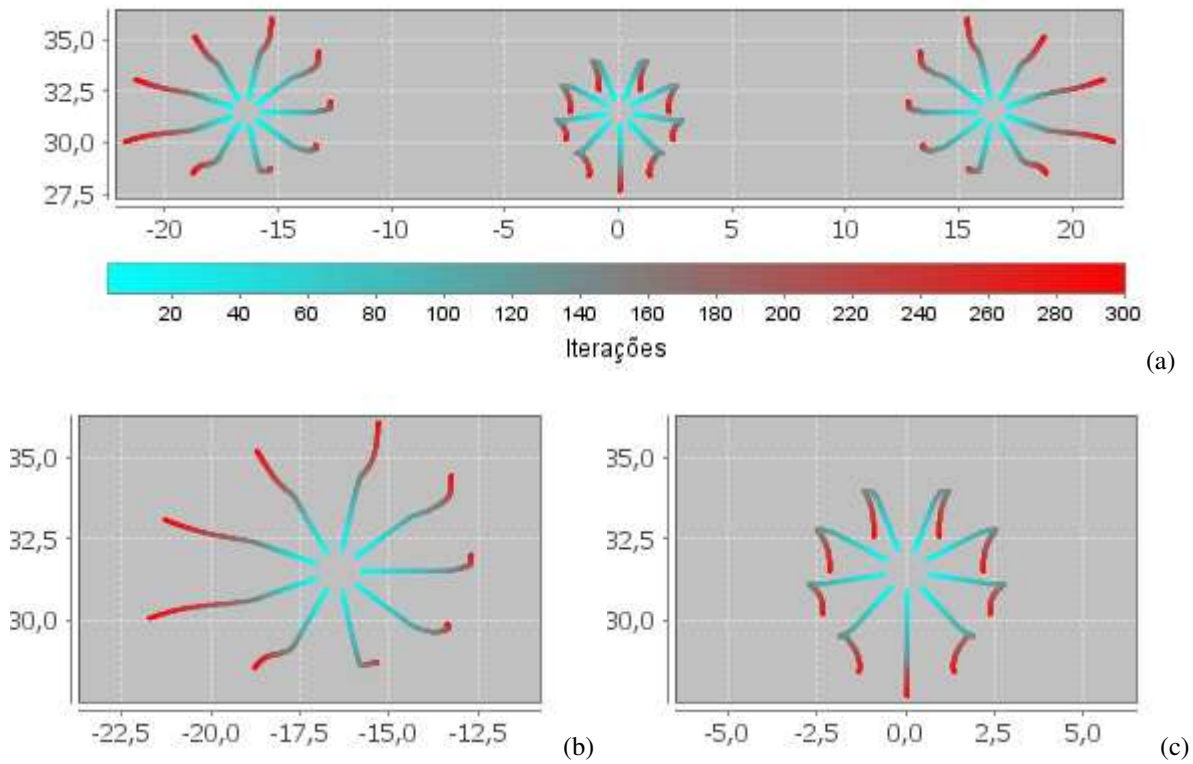

Figura 6.12: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 3-I (103), 8-I (103), 1-E (108), 4-I (117), 7-I (117), 2-I (129), 9-I (129), 1-I (134), 5-I (146), 6-I (146), 9-E (148), 2-E (161)

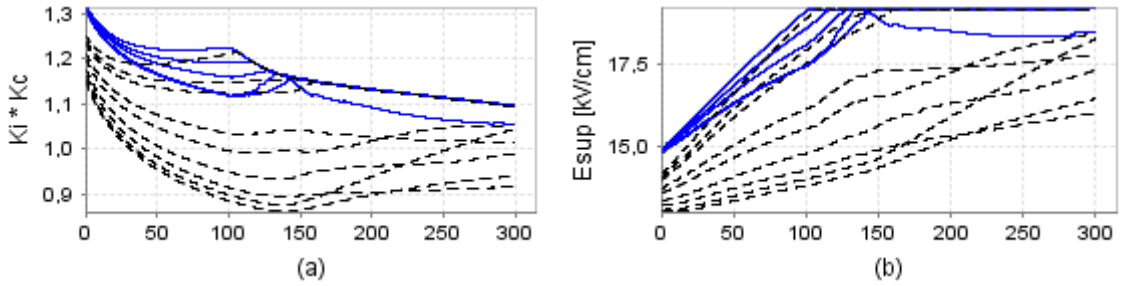

Figura 6.13: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

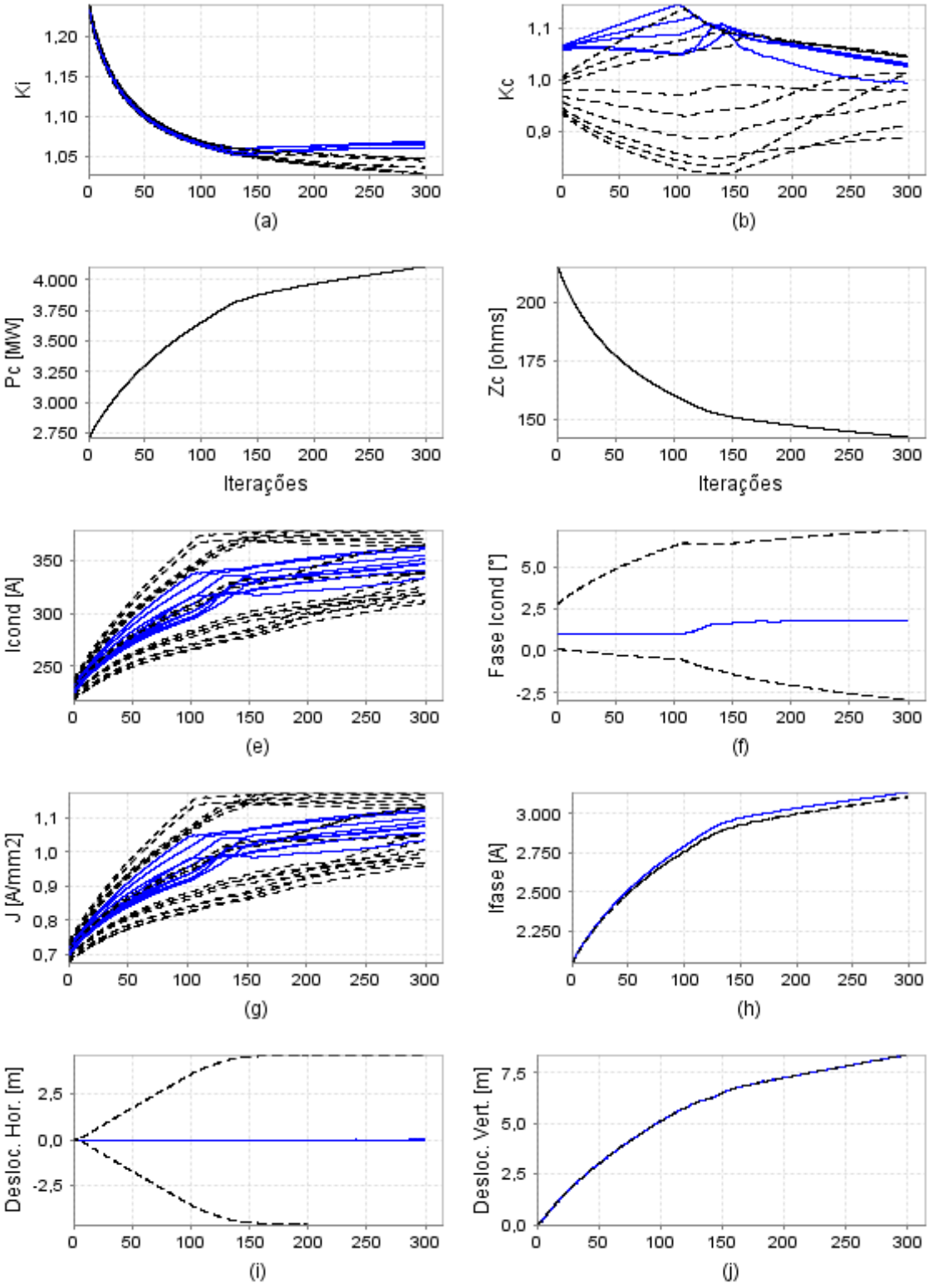

Figura 6.14: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

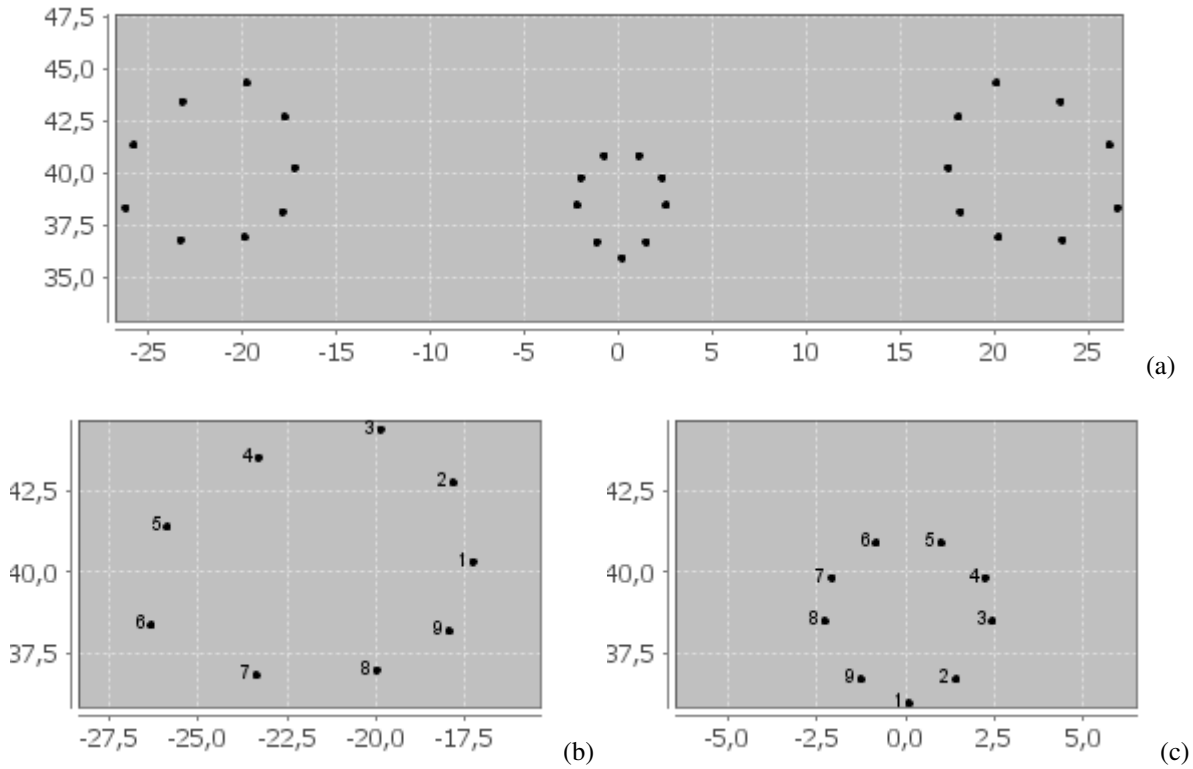

Figura 6.15: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.14: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,097	1,054	1,097	1,097	1,096	1,096	1,097	1,097	1,054		1,087	0,053
Ki	1,065	1,061	1,067	1,069	1,062	1,062	1,069	1,067	1,061		1,064	0,010
Kc	1,030	0,994	1,028	1,026	1,032	1,032	1,026	1,028	0,994		1,021	0,044
Icond [A]	351	333	341	341	346	354	360	363	347		348	27
Esup [kV/cm]	19,2	18,4	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	18,4		19,0	0,9

Tabela 6.15: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,095	1,095	1,052	0,914	0,939	1,042	0,988	1,015	1,096		1,026	0,192
Ki	1,048	1,045	1,037	1,029	1,029	1,030	1,030	1,037	1,047		1,037	0,023
Kc	1,044	1,048	1,014	0,889	0,913	1,012	0,960	0,979	1,046		0,989	0,167
Icond [A]	368	374	365	318	317	340	325	337	364		345	64
Esup [kV/cm]	19,1	19,1	18,4	16,0	16,4	18,2	17,3	17,7	19,2		17,9	3,4

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Compacta (7,5 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	9

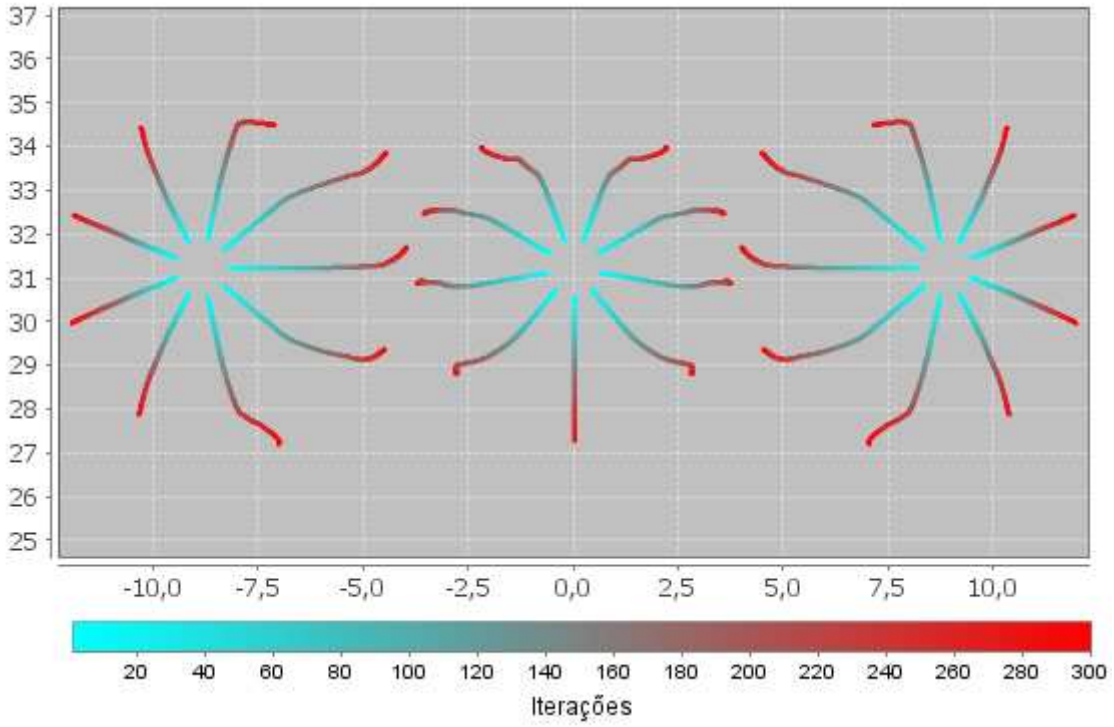

Figura 6.16: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 1-E (111), 3-I (117), 8-I (117), 4-I (158), 7-I (158), 9-E (214), 2-I (220), 9-I (220), 2-E (227), 5-I (290), 6-I (290), 1-I (297)

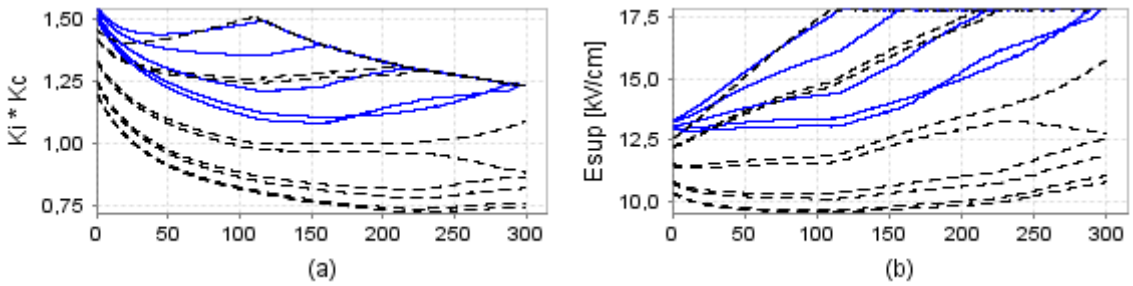

Figura 6.17: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

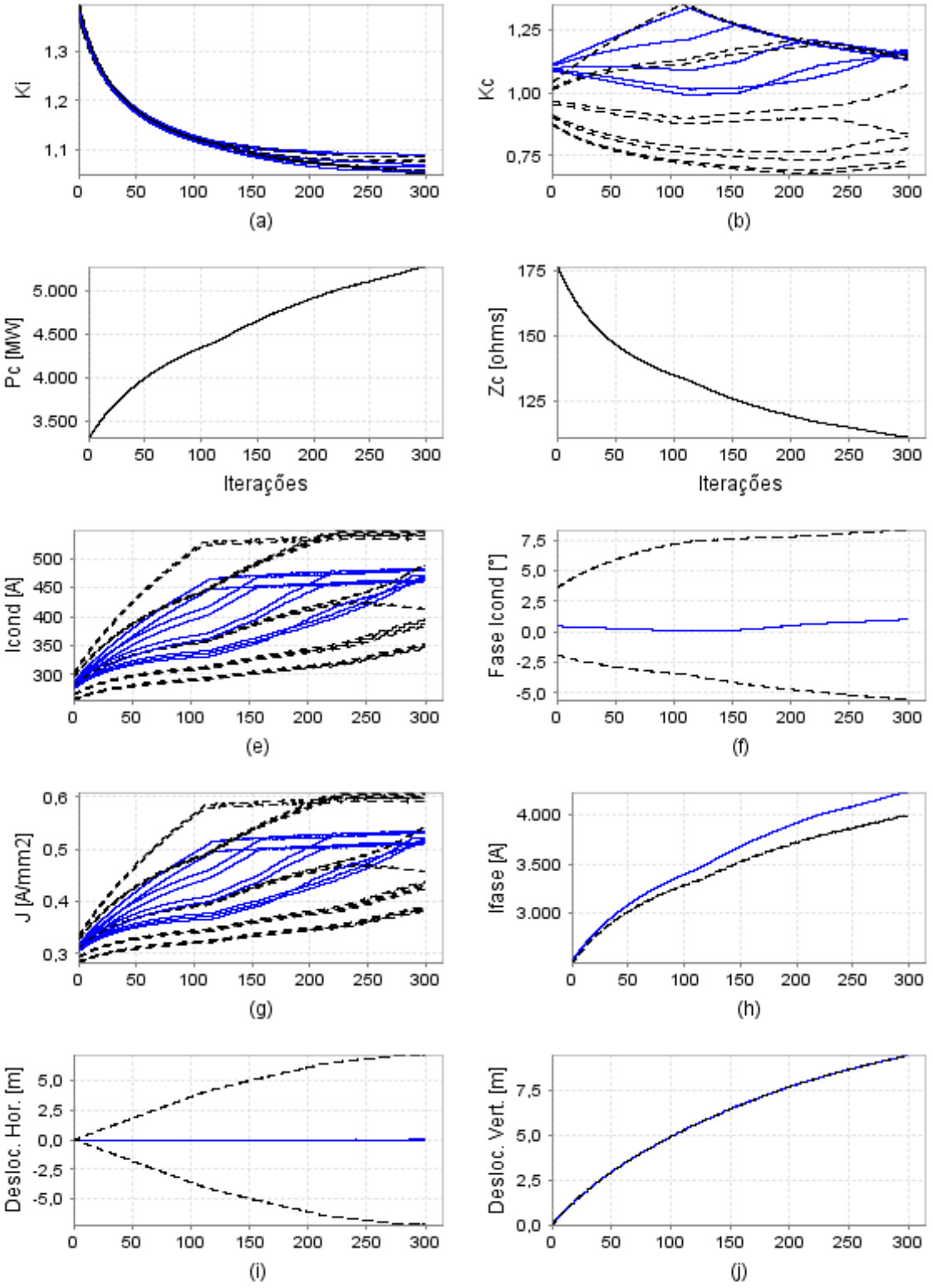

Figura 6.18: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

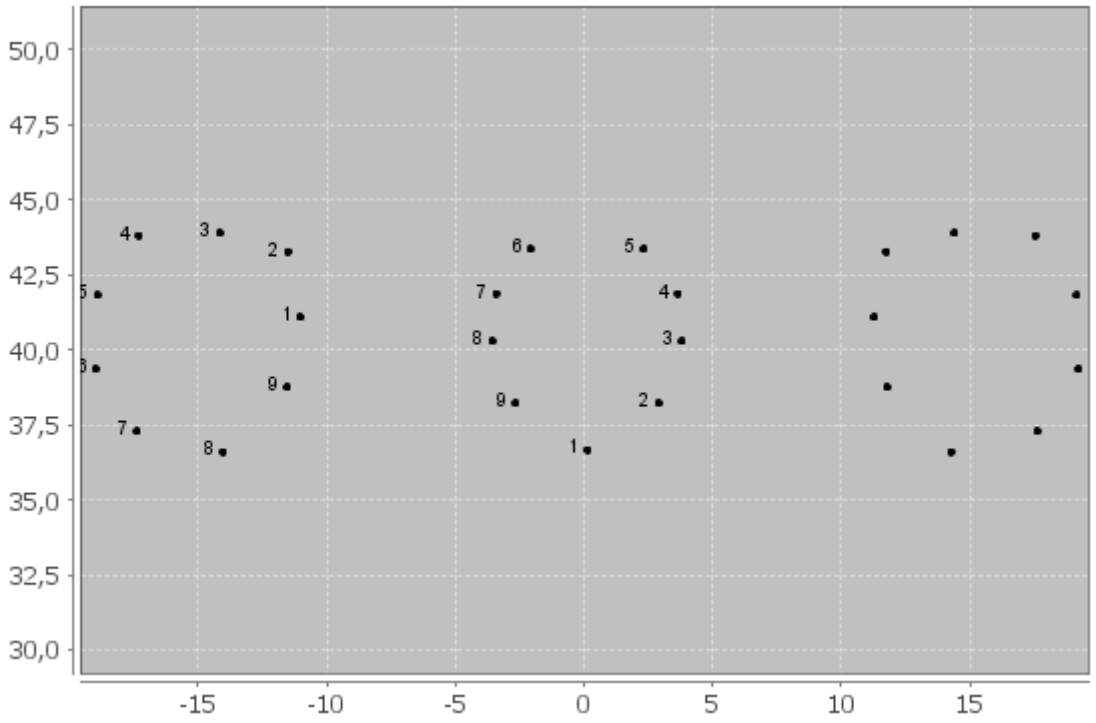

Figura 6.19: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Tabela 6.16: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,235	1,233	1,234	1,236	1,236	1,236	1,236	1,234	1,233		1,235	0,003
Ki	1,054	1,068	1,089	1,089	1,064	1,064	1,089	1,089	1,068		1,075	0,039
Kc	1,172	1,154	1,133	1,135	1,161	1,161	1,135	1,133	1,154		1,149	0,042
Icond [A]	468	464	462	460	461	472	480	483	481		470	25
Esup [kV/cm]	17,8	17,8	17,8	17,9	17,9	17,9	17,9	17,8	17,8		17,8	0,1

Tabela 6.17: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,235	1,234	0,884	0,820	0,744	0,762	0,866	1,086	1,234		0,985	0,596
Ki	1,084	1,079	1,056	1,056	1,052	1,050	1,051	1,056	1,074		1,062	0,038
Kc	1,139	1,144	0,837	0,777	0,708	0,726	0,824	1,028	1,149		0,926	0,530
Icond [A]	534	546	414	386	348	351	394	488	539		444	232
Esup [kV/cm]	17,8	17,8	12,8	11,9	10,7	11,0	12,5	15,7	17,8		14,2	8,6

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	9

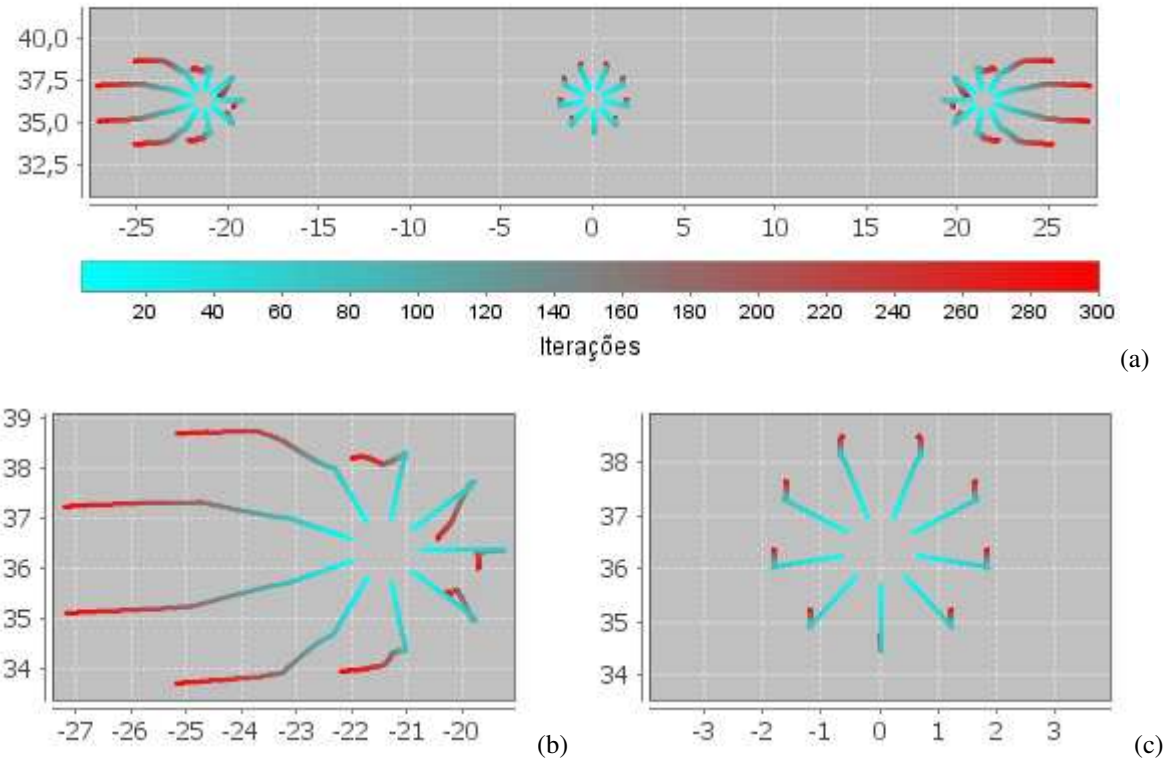

Figura 6.20: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 3-I (62), 8-I (62), 4-I (66), 7-I (66), 2-I (69), 9-I (69), 5-I (74), 6-I (74), 1-E (76), 1-I (78), 6-E (170), 7-E (173), 5-E (196), 8-E (210), 4-E (219)

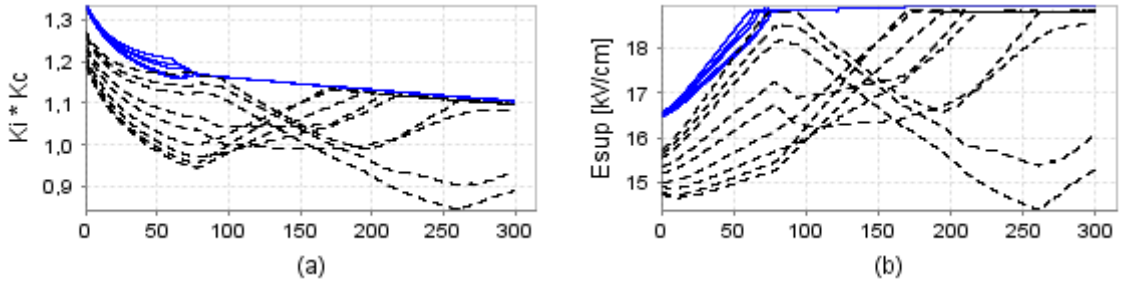

Figura 6.21: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

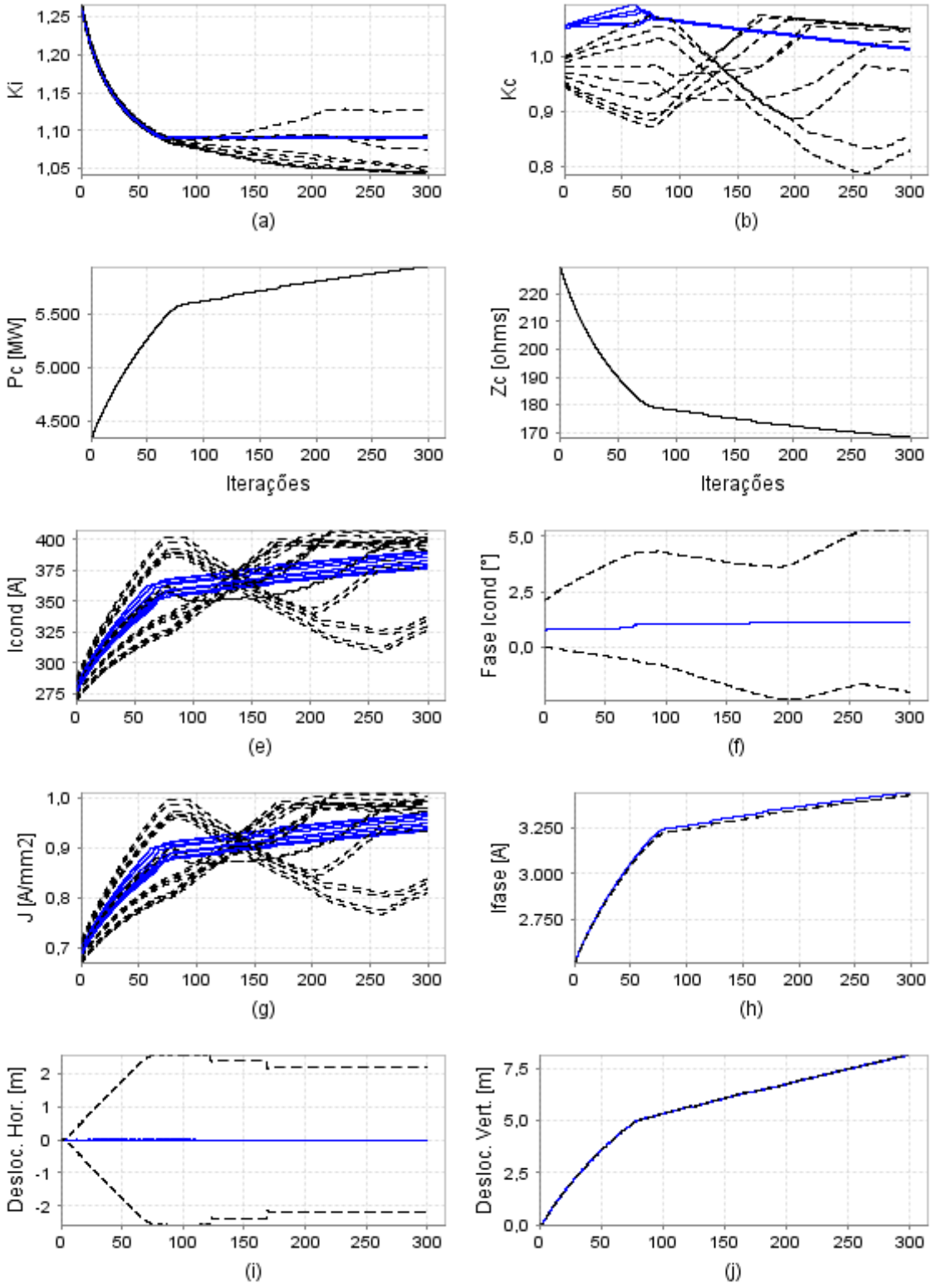

Figura 6.22: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

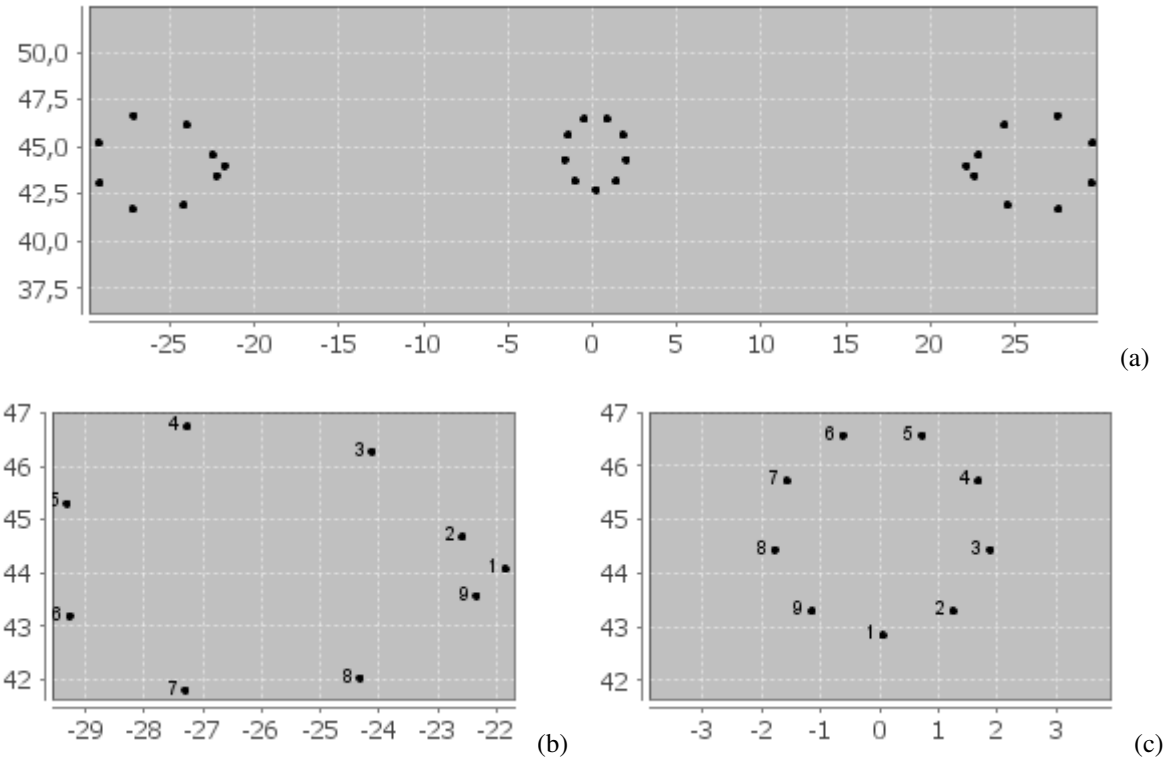

Figura 6.23: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.18: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,104	1,105	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,105		1,106	0,002
Ki	1,090	1,091	1,092	1,091	1,089	1,089	1,091	1,092	1,091		1,091	0,003
Kc	1,013	1,013	1,013	1,014	1,016	1,016	1,014	1,013	1,013		1,014	0,004
Icond [A]	383	378	376	377	381	386	390	391	388		383	16
Esup [kV/cm]	18,9	18,9	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	18,9		19,0	0,0

Tabela 6.19: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,099	0,890	1,081	1,097	1,097	1,098	1,097	1,098	0,936		1,055	0,231
Ki	1,128	1,075	1,051	1,044	1,045	1,045	1,042	1,048	1,093		1,064	0,084
Kc	0,974	0,827	1,028	1,051	1,049	1,051	1,052	1,047	0,856		0,993	0,254
Icond [A]	377	326	400	407	400	395	395	398	334		381	86
Esup [kV/cm]	18,8	15,3	18,5	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	16,0		18,1	4,0

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	10

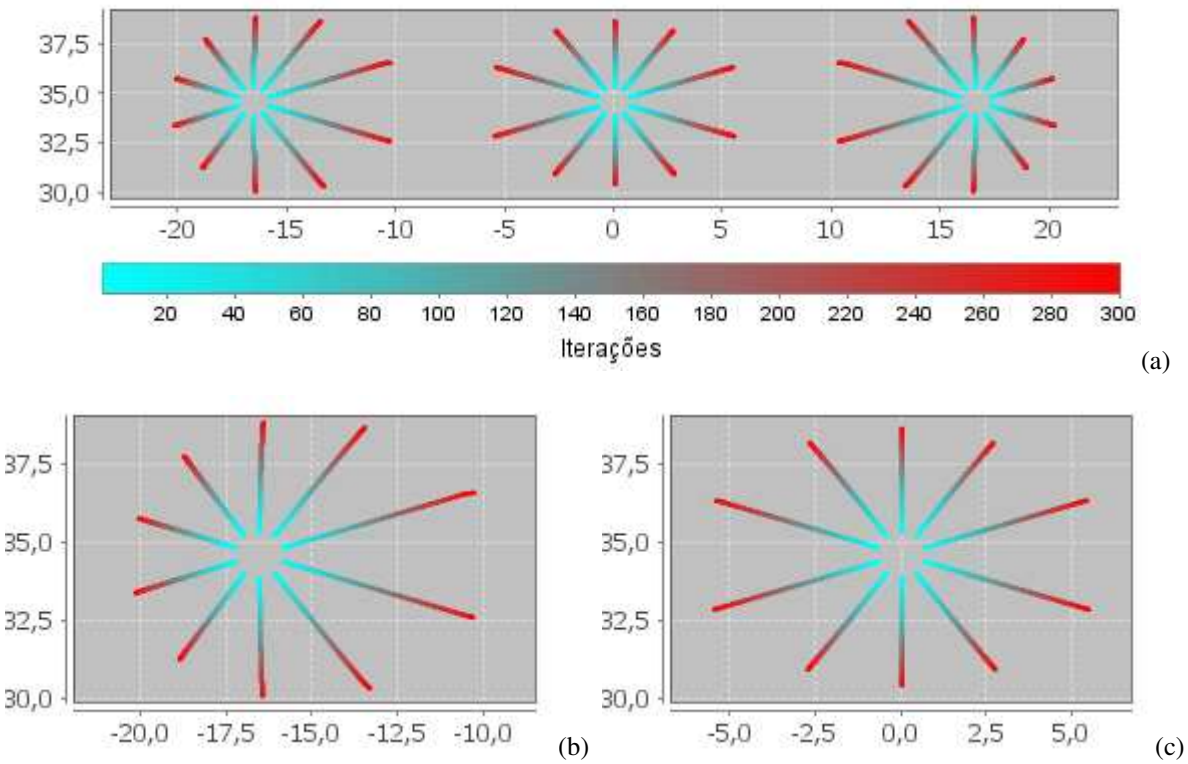

Figura 6.24: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 10-E (283), 1-E (298)

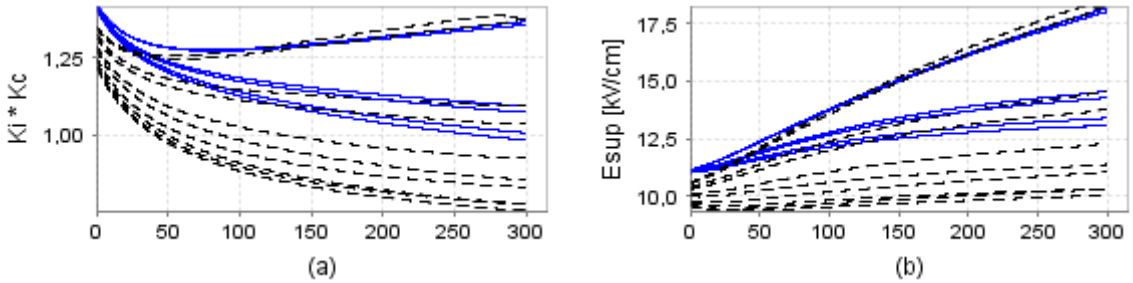

Figura 6.25: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

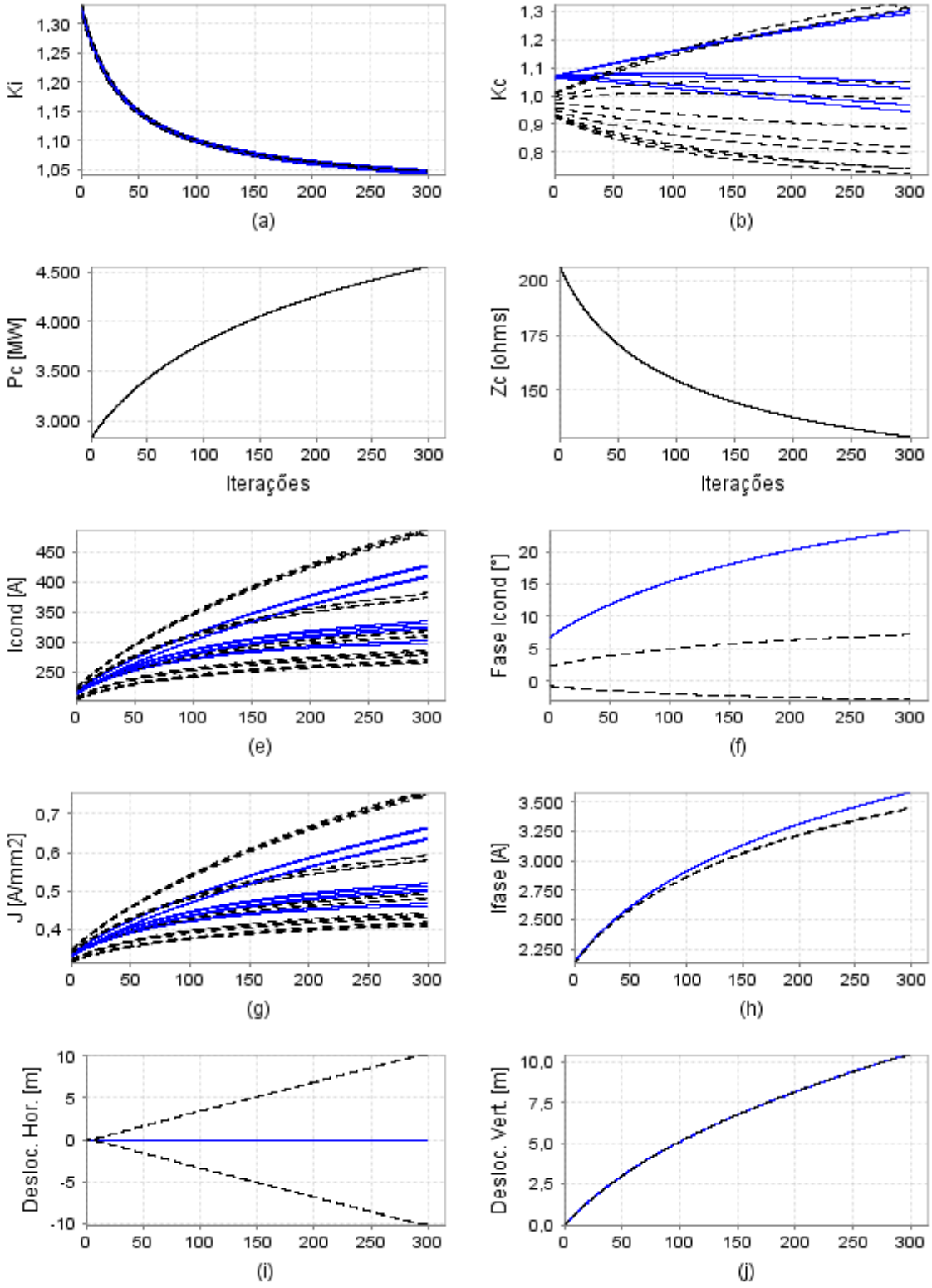

Figura 6.26: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

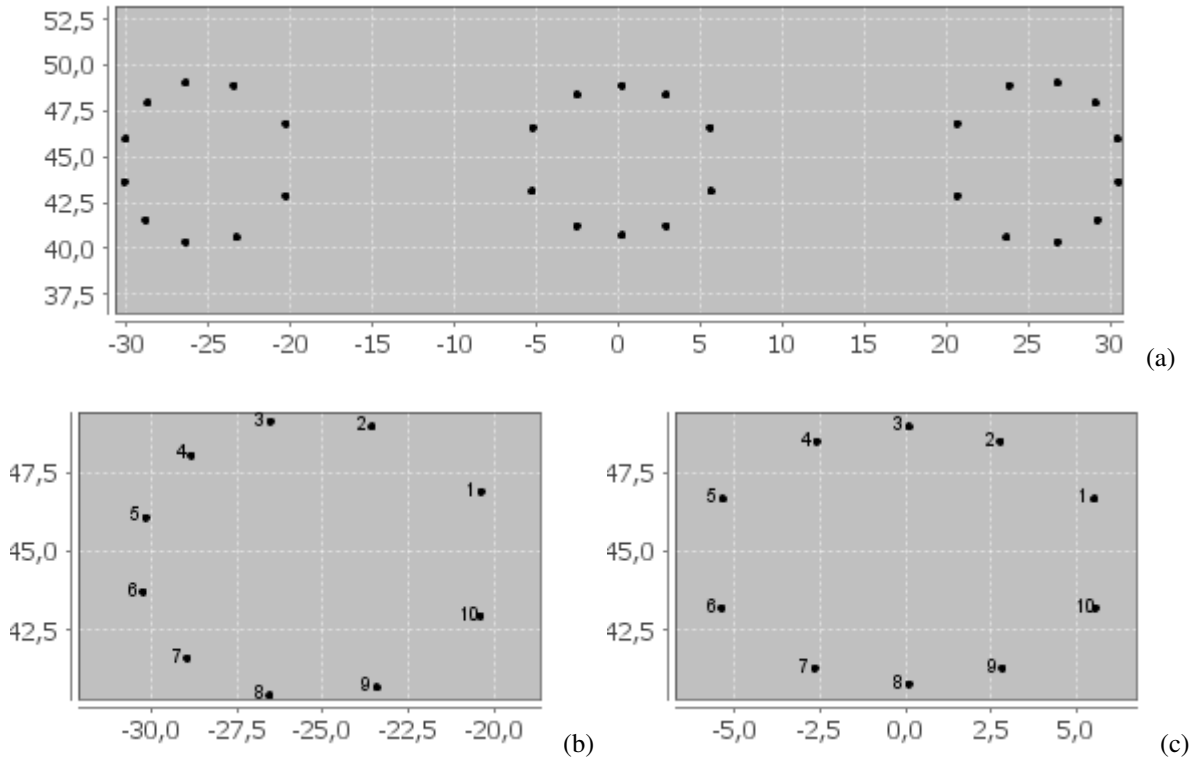

Figura 6.27: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.20: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,356	1,076	0,986	1,076	1,356	1,367	1,096	1,009	1,096	1,367	1,179	0,485
Ki	1,050	1,046	1,044	1,046	1,050	1,050	1,045	1,043	1,045	1,050	1,047	0,009
Kc	1,291	1,028	0,945	1,028	1,291	1,302	1,048	0,968	1,048	1,302	1,125	0,453
Icond [A]	407	322	298	331	425	427	335	302	325	409	358	157
Esup [kV/cm]	18,0	14,3	13,1	14,3	18,0	18,2	14,6	13,4	14,6	18,2	15,7	6,4

Tabela 6.21: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,374	1,038	0,858	0,779	0,757	0,778	0,833	0,927	1,099	1,376	0,982	0,707
Ki	1,049	1,048	1,049	1,049	1,048	1,046	1,045	1,045	1,046	1,048	1,047	0,005
Kc	1,310	0,990	0,818	0,742	0,723	0,743	0,797	0,887	1,051	1,313	0,937	0,674
Icond [A]	482	373	311	280	268	270	286	319	381	478	345	244
Esup [kV/cm]	18,2	13,8	11,4	10,3	10,1	10,3	11,1	12,3	14,6	18,3	13,0	9,4

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Compacta (7,5 m)
Condutor	RAIL
Nsub	10

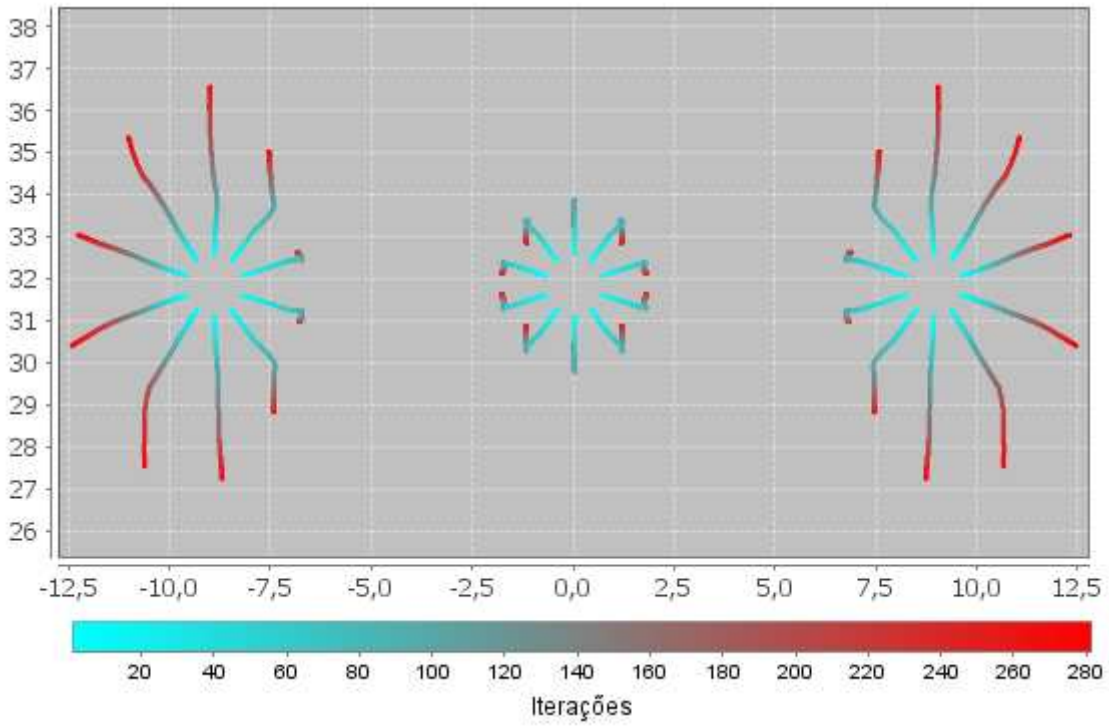

Figura 6.28: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 1-I (53), 5-I (53), 6-I (53), 10-I (53), 10-E (58), 1-E (59), 2-I (80), 4-I (80), 7-I (80), 9-I (80), 9-E (97), 3-I (99), 8-I (100), 2-E (127), 8-E (183), 3-E (229)

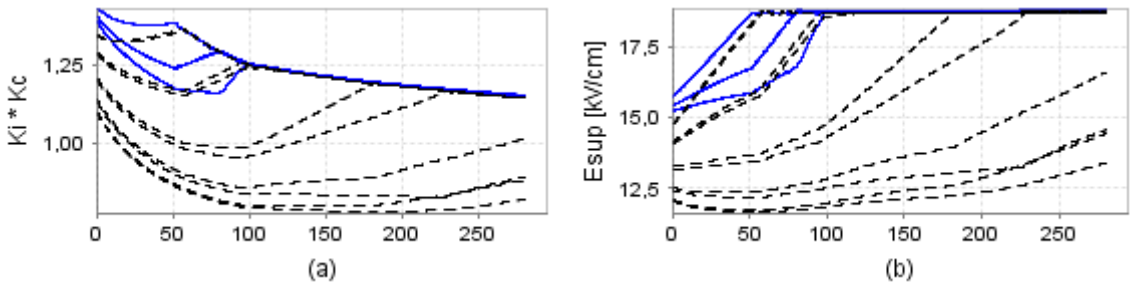

Figura 6.29: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta

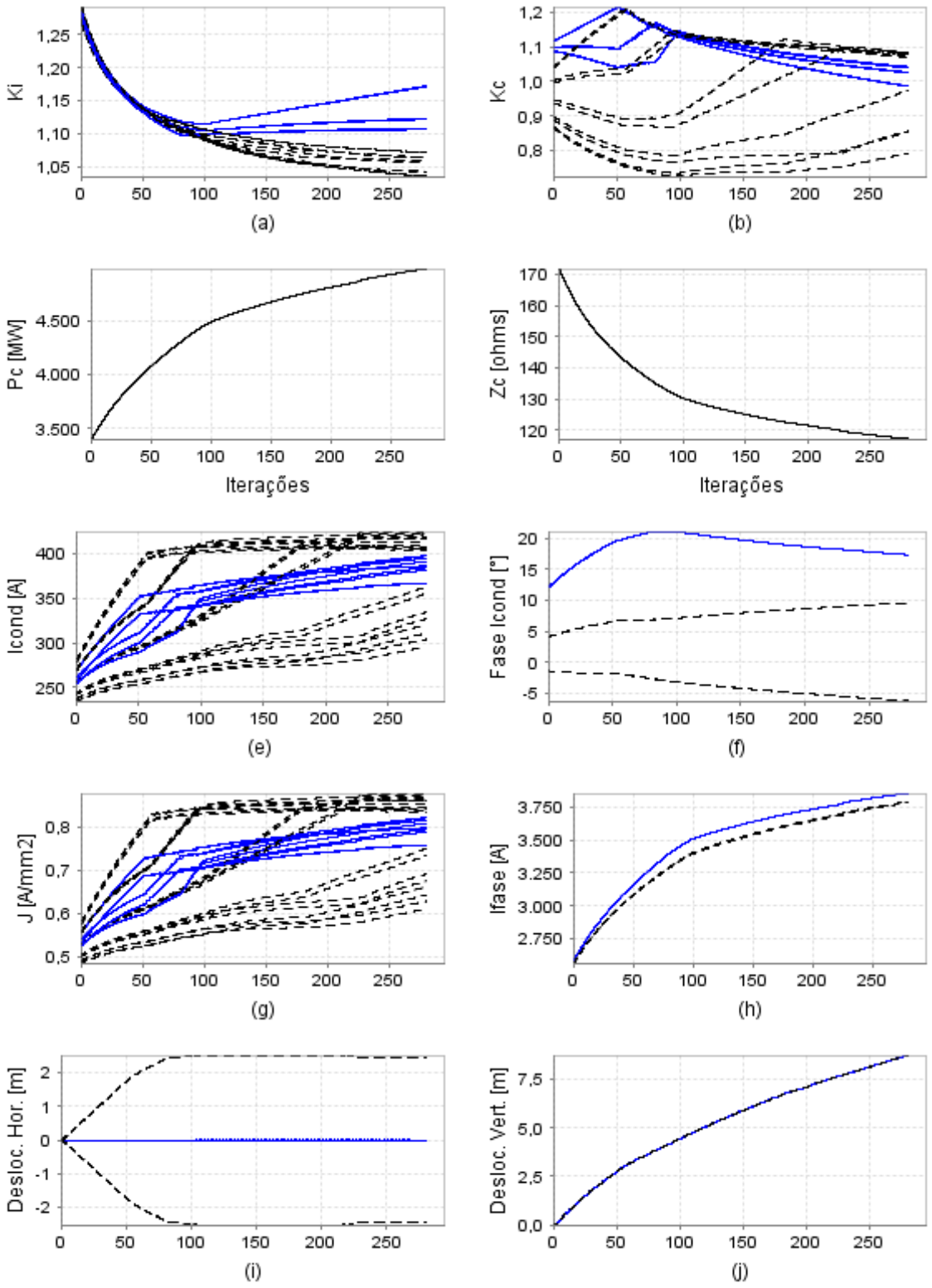

Figura 6.30: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta

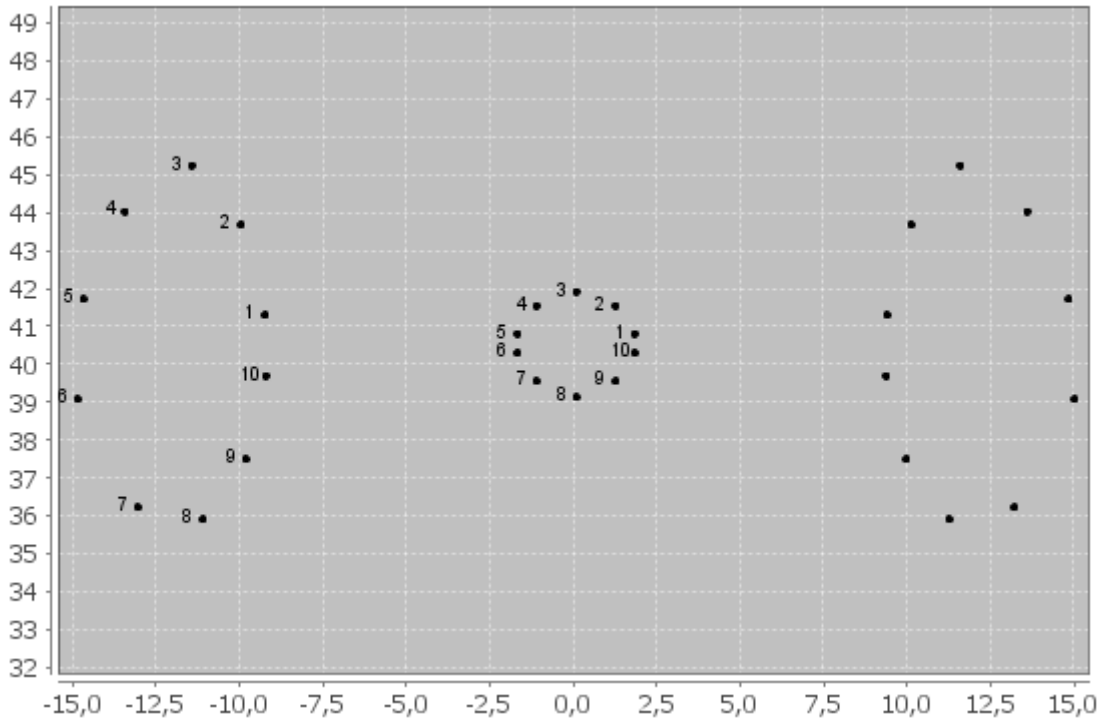

Figura 6.31: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta

Tabela 6.22: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,157	1,152	1,150	1,152	1,157	1,156	1,152	1,156	1,152	1,156	1,154	0,008
Ki	1,171	1,122	1,107	1,122	1,171	1,172	1,123	1,109	1,123	1,172	1,139	0,086
Kc	0,987	1,027	1,039	1,027	0,987	0,986	1,025	1,043	1,025	0,986	1,013	0,071
Icond [A]	367	382	391	395	386	386	398	397	384	367	385	33
Esup [kV/cm]	18,8	18,8	18,7	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	0,1

Tabela 6.23: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,148	1,147	1,146	0,891	0,821	0,883	1,016	1,146	1,145	1,148	1,049	0,403
Ki	1,072	1,064	1,057	1,043	1,037	1,036	1,044	1,060	1,065	1,073	1,055	0,042
Kc	1,071	1,079	1,084	0,855	0,792	0,852	0,973	1,082	1,076	1,070	0,993	0,349
Icond [A]	409	417	423	334	304	320	363	406	407	406	379	134
Esup [kV/cm]	18,7	18,7	18,7	14,5	13,4	14,4	16,6	18,7	18,7	18,7	17,1	6,6

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Compacta (7,5 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	10

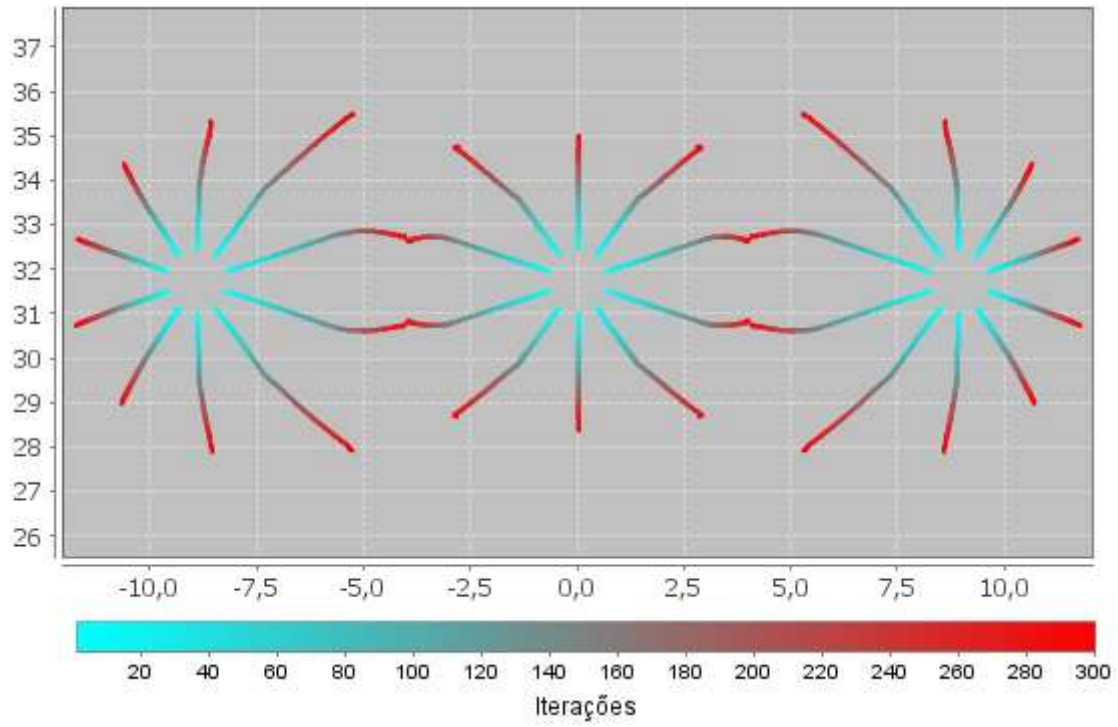

Figura 6.32: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 10-E (135), 1-E (138), 1-I (141), 5-I (141), 6-I (141), 10-I (141), 2-I (279), 4-I (279), 7-I (280), 9-I (280), 9-E (285)

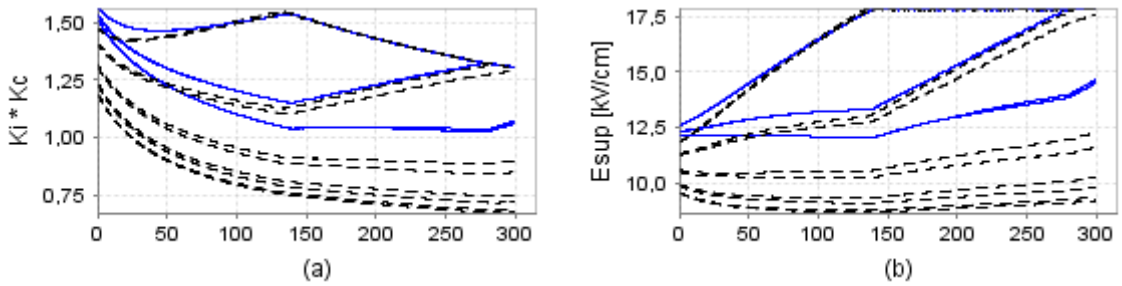

Figura 6.33: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

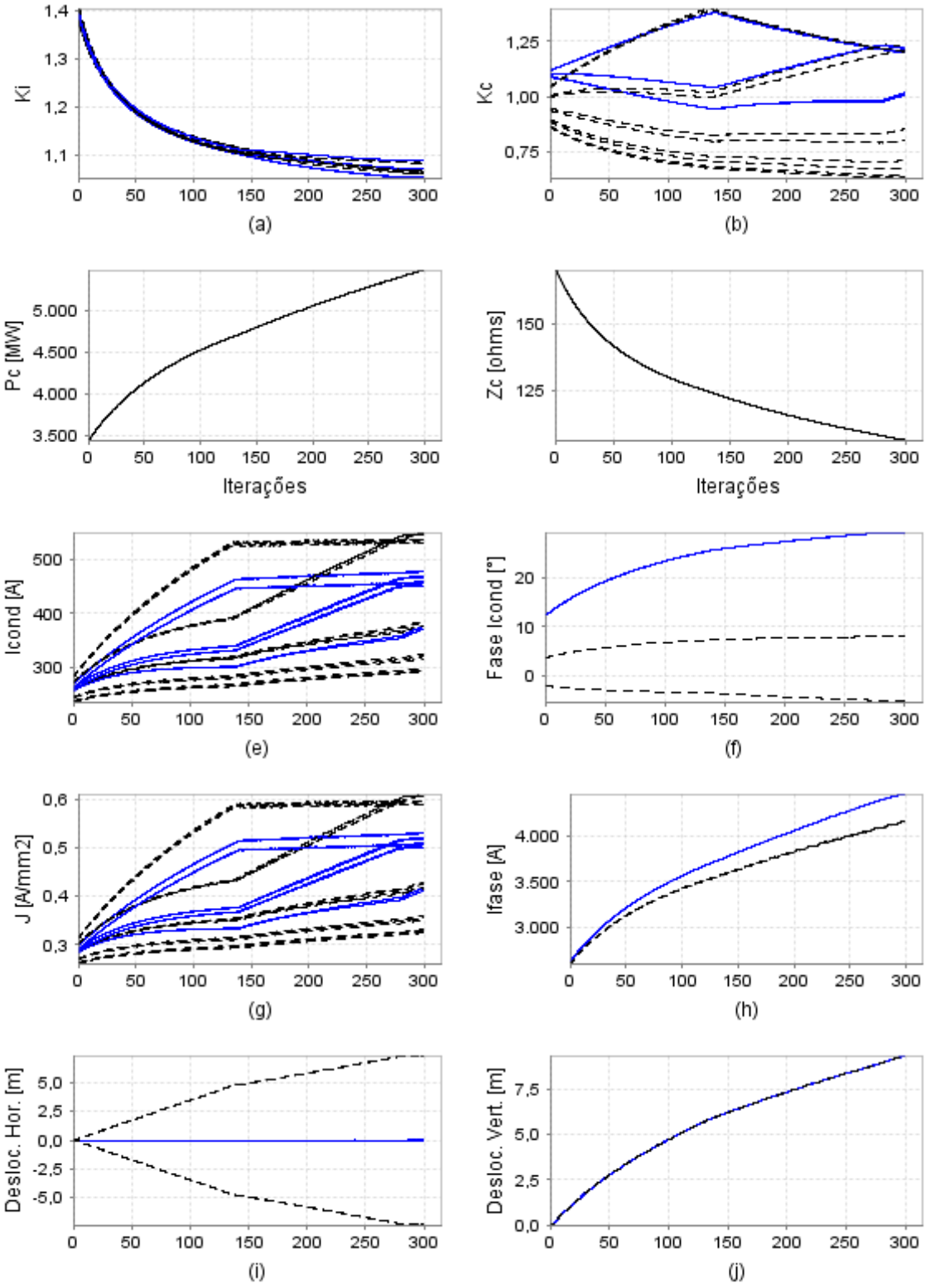

Figura 6.34: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

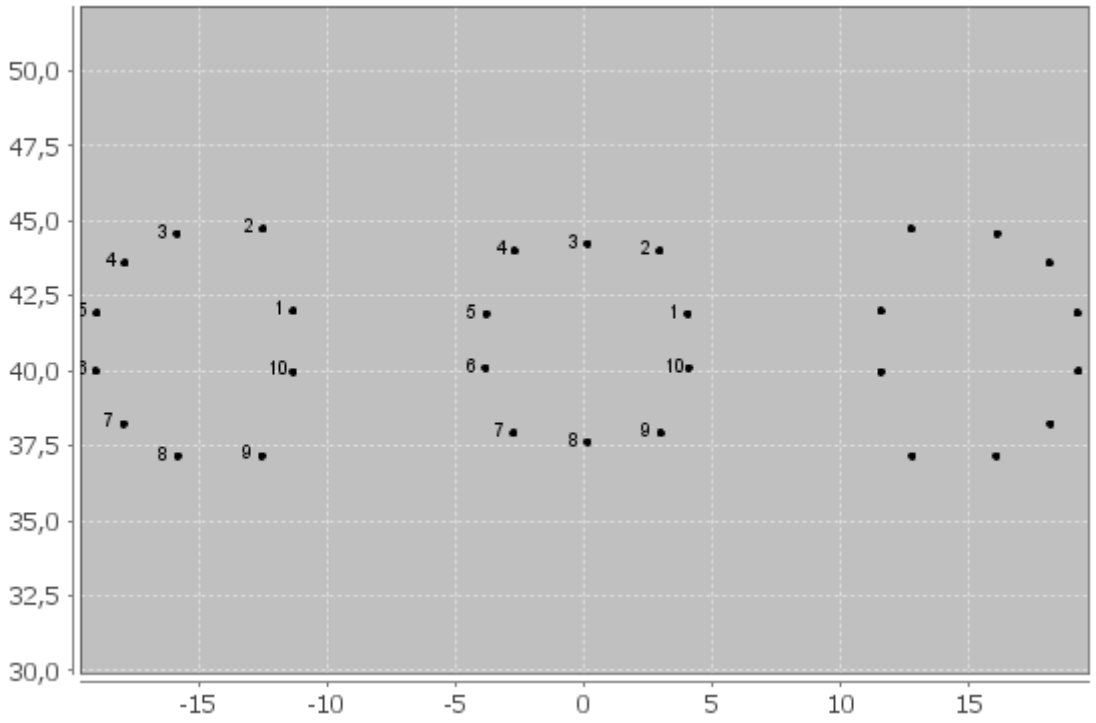

Figura 6.35: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Tabela 6.24: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,304	1,305	1,059	1,305	1,304	1,307	1,307	1,070	1,307	1,307	1,258	0,306
Ki	1,088	1,071	1,055	1,071	1,088	1,088	1,071	1,055	1,071	1,088	1,075	0,039
Kc	1,199	1,218	1,004	1,218	1,199	1,202	1,220	1,014	1,220	1,202	1,170	0,255
Icond [A]	457	452	370	466	477	479	470	376	455	459	446	119
Esup [kV/cm]	17,8	17,8	14,5	17,8	17,8	17,9	17,9	14,6	17,9	17,9	17,2	4,2

Tabela 6.25: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,304	1,286	0,850	0,719	0,675	0,687	0,752	0,900	1,305	1,305	0,978	0,856
Ki	1,083	1,067	1,063	1,065	1,065	1,063	1,061	1,060	1,066	1,083	1,067	0,025
Kc	1,204	1,205	0,800	0,675	0,634	0,646	0,709	0,849	1,225	1,206	0,915	0,786
Icond [A]	533	549	377	320	297	299	324	386	546	531	416	331
Esup [kV/cm]	17,8	17,6	11,6	9,8	9,2	9,4	10,3	12,3	17,8	17,8	13,4	11,7

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Compacta (10,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	10

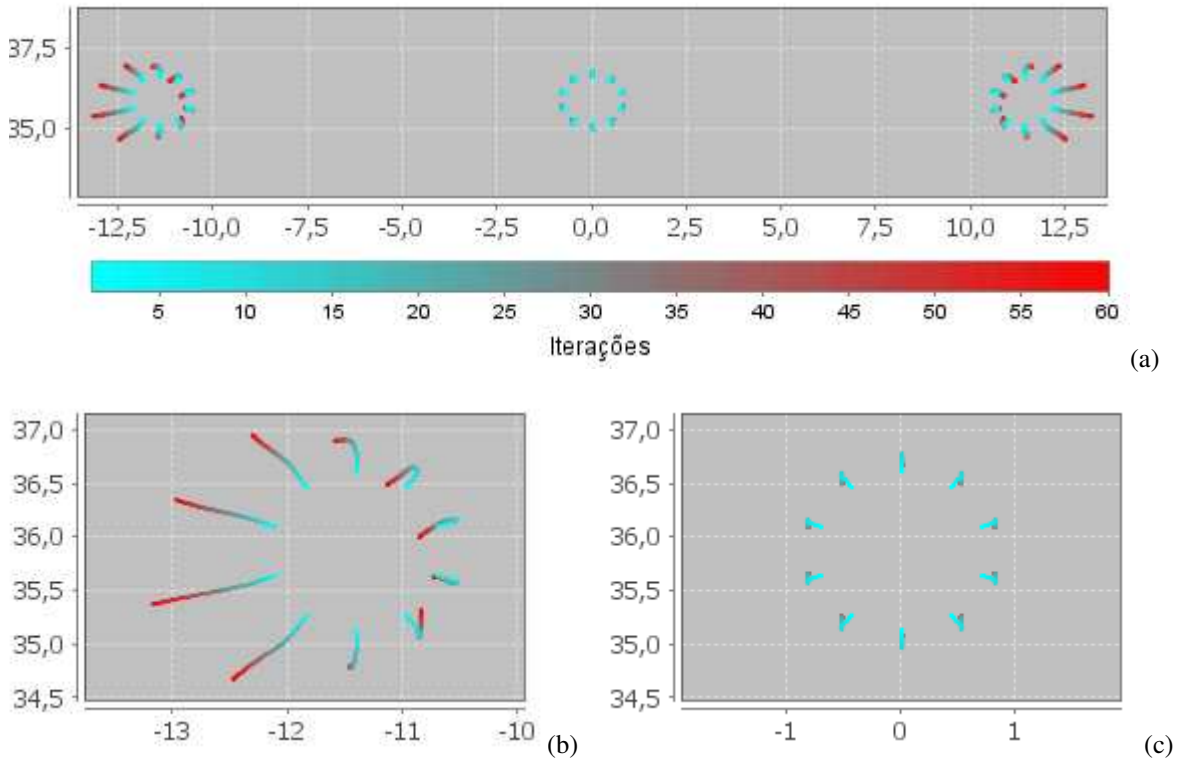

Figura 6.36: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (5), 5-I (5), 6-I (6), 10-I (6), 2-I (10), 4-I (10), 7-I (10), 9-I (10), 3-I (12), 8-I (12)

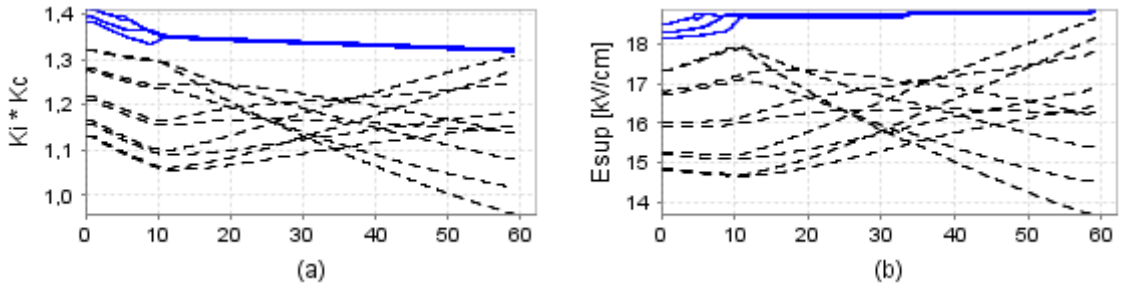

Figura 6.37: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta

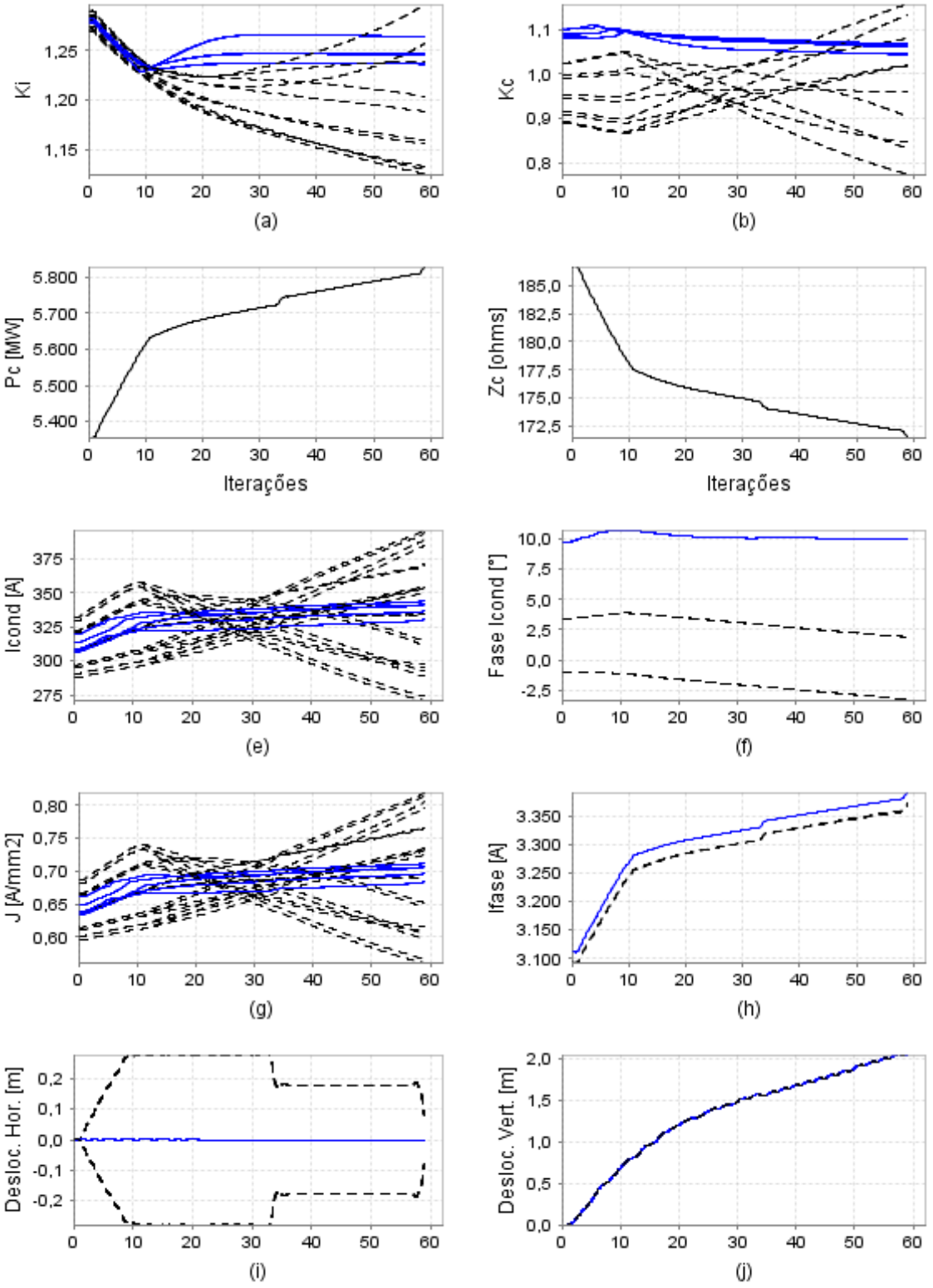

Figura 6.38: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta

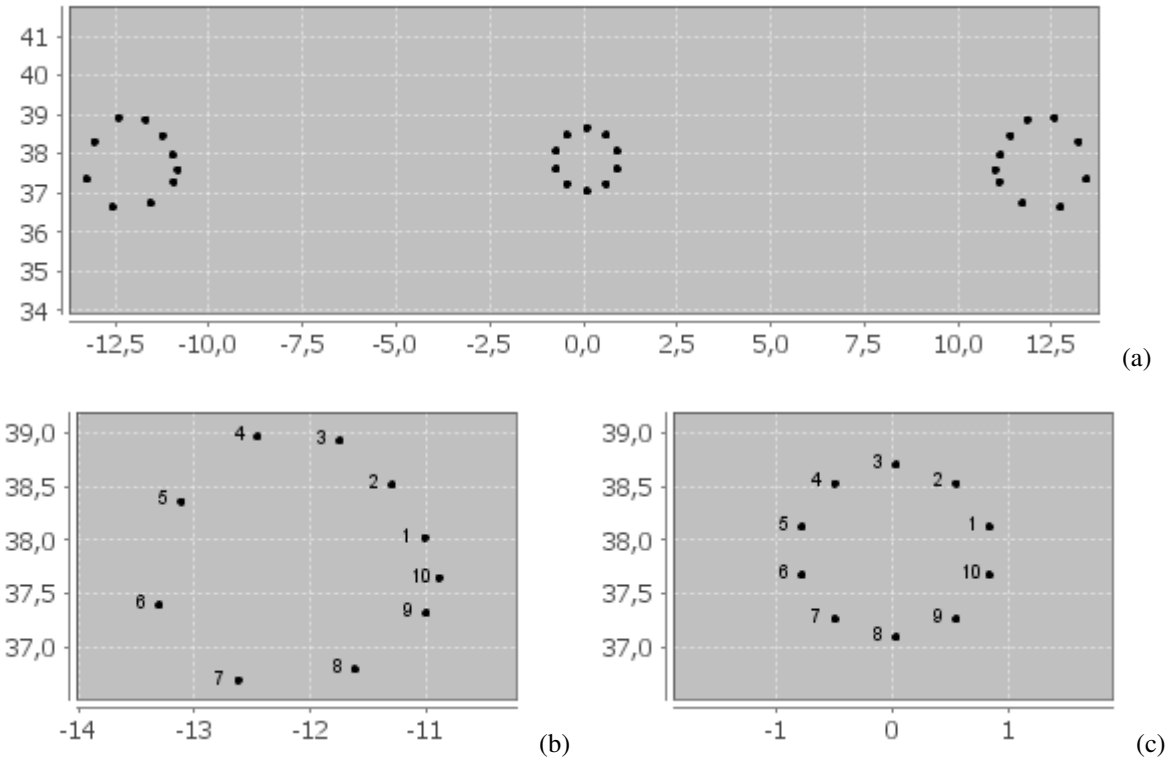

Figura 6.39: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.26: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,320	1,323	1,319	1,323	1,320	1,319	1,322	1,317	1,322	1,319	1,320	0,006
Ki	1,263	1,245	1,236	1,245	1,263	1,264	1,247	1,237	1,247	1,264	1,251	0,034
Kc	1,044	1,062	1,067	1,062	1,044	1,044	1,060	1,065	1,060	1,044	1,055	0,030
Icond [A]	329	336	340	343	341	341	343	341	336	329	338	16
Esup [kV/cm]	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,7	18,8	18,8	18,8	0,1

Tabela 6.27: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	0,963	1,020	1,141	1,182	1,152	1,269	1,304	1,246	1,140	1,082	1,150	0,324
Ki	1,239	1,204	1,189	1,160	1,133	1,126	1,131	1,156	1,254	1,293	1,189	0,174
Kc	0,777	0,847	0,959	1,019	1,016	1,127	1,153	1,078	0,909	0,837	0,972	0,385
Icond [A]	272	295	333	354	353	386	393	368	313	290	336	126
Esup [kV/cm]	13,7	14,5	16,2	16,8	16,4	18,1	18,6	17,7	16,2	15,4	16,4	4,6

6.5.2.2- Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

A restrição de simetria vertical acaba reduzindo o deslocamento dos subcondutores laterais internos dos feixes externos em direção ao feixe interno, comportamento que é observado nos casos em que a simetria vertical não é imposta. Já no feixe interno, que está sobre o eixo de simetria vertical da linha de transmissão, o deslocamento de seus subcondutores será muito semelhante aos casos sem restrição de simetria vertical. Portanto, os casos sem restrição de otimização desta seção terão feixes externos diferentes daqueles observados na seção anterior, apresentando maior abertura entre os subcondutores voltados para o exterior da linha e feixes externos menos achatados.

Analogamente à seção anterior, a tendência de dispersão nos valores de carga elétrica permanece até que alguma restrição seja ativada. O fator *Ki* tem queda elevada no início do processo, conforme esperado.

No início do processo os subcondutores verticais têm densidade de carga elétrica muito inferior aos demais e que aumenta na medida em que o feixe se expande, mas o aumento é normalmente pouco significativo. O valor de *Ki* para estes subcondutores é inicialmente muito inferior aos demais, mas com o avanço das iterações os valores de *Ki* em todos os subcondutores do feixe se tornam próximos.

Na ativação de restrições sobre o campo elétrico superficial observa-se a tendência de aproximação entre subcondutores de ambas as laterais do feixe interno, no sentido de melhor compartilhar o carregamento. Já nos feixes externos ocorre a expansão vertical, aumentando o espaçamento entre os subcondutores localizados próximo ao eixo horizontal. O bloqueio na expansão do feixe interno quando suas restrições estão todas ativas também é observado.

Nos casos com feixes externos contendo subcondutores dispostos sobre o eixo de simetria vertical pode ser observado que tais subcondutores permanecem sempre com menor carregamento ficando o central (ou os dois centrais) com a menor densidade de carga elétrica. No entanto, sua presença faz com que o carregamento dos demais subcondutores do feixe seja elevado.

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BLUEJAY
Nsub	5

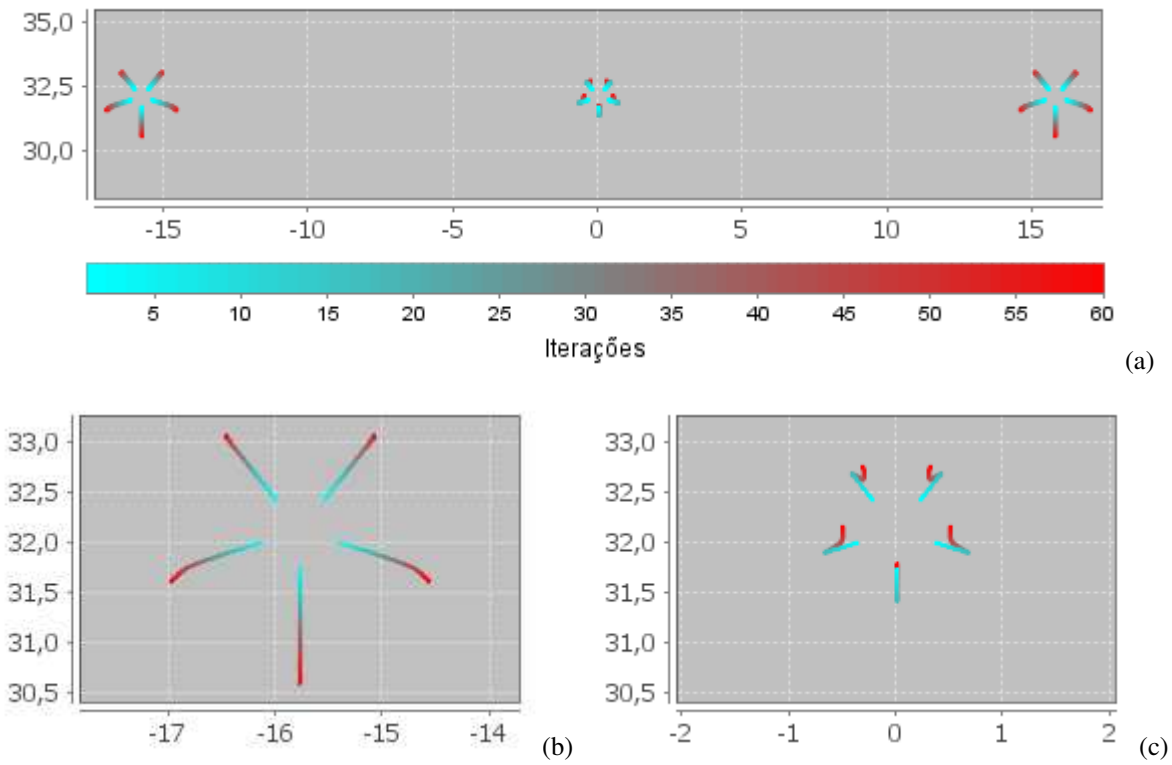

Figura 6.40: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 2-I (16), 5-I (16), 1-I (18), 3-I (18), 4-I (18), 2-E (52)

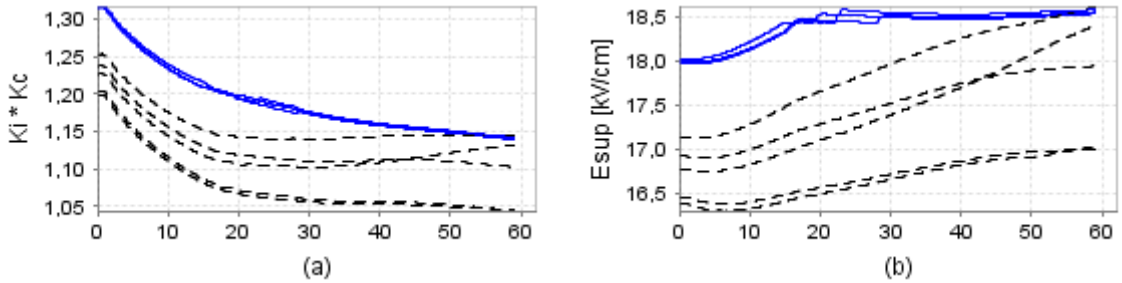

Figura 6.41: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional

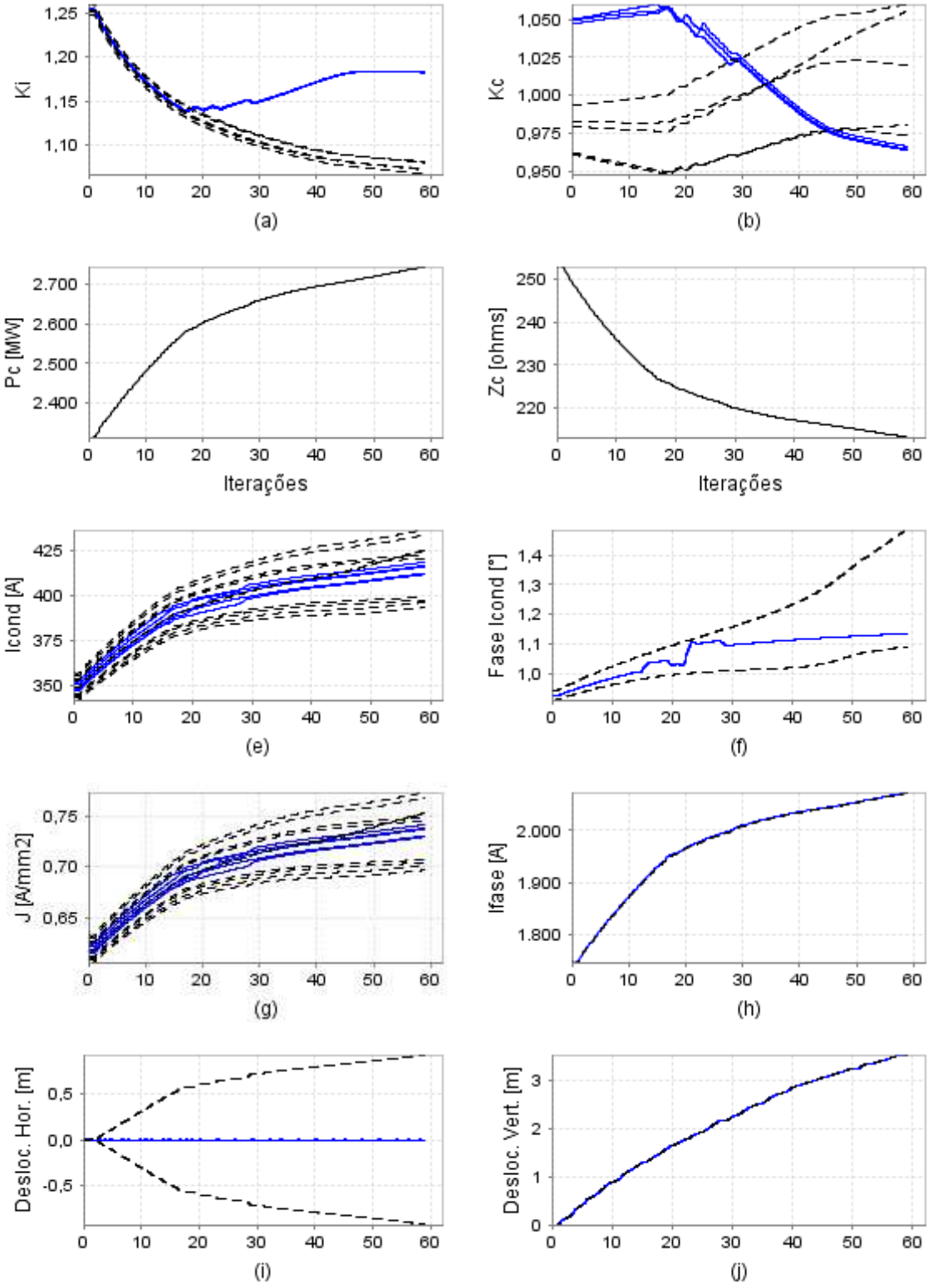

Figura 6.42: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional

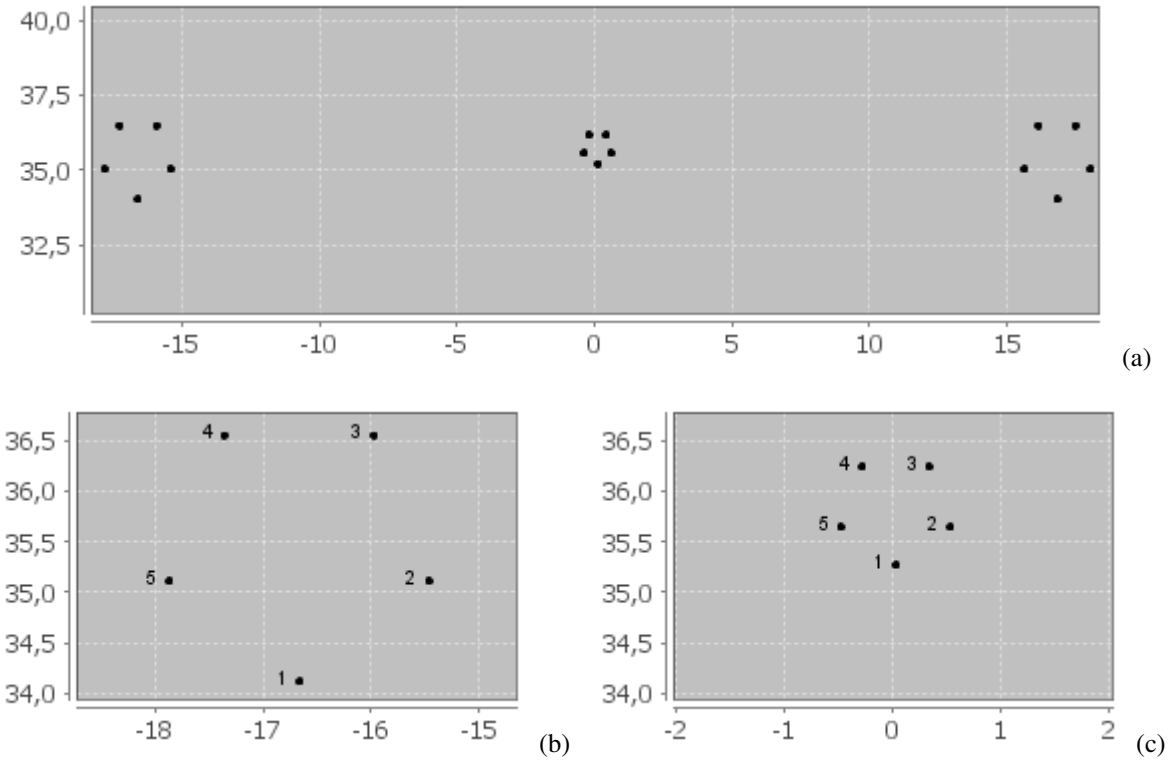

Figura 6.43: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.28: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,143	1,142	1,140	1,140	1,142						1,141	0,002
Ki	1,182	1,183	1,182	1,182	1,183						1,183	0,001
Kc	0,967	0,965	0,964	0,964	0,965						0,965	0,002
Icond [A]	415	411	412	416	418						414	6
Esup [kV/cm]	18,6	18,6	18,5	18,5	18,6						18,6	0,0

Tabela 6.29: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,130	1,144	1,104	1,045	1,047						1,094	0,093
Ki	1,072	1,080	1,082	1,074	1,068						1,075	0,012
Kc	1,054	1,059	1,020	0,974	0,980						1,017	0,080
Icond [A]	424	433	420	398	395						414	33
Esup [kV/cm]	18,4	18,6	17,9	17,0	17,0						17,8	1,5

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	6

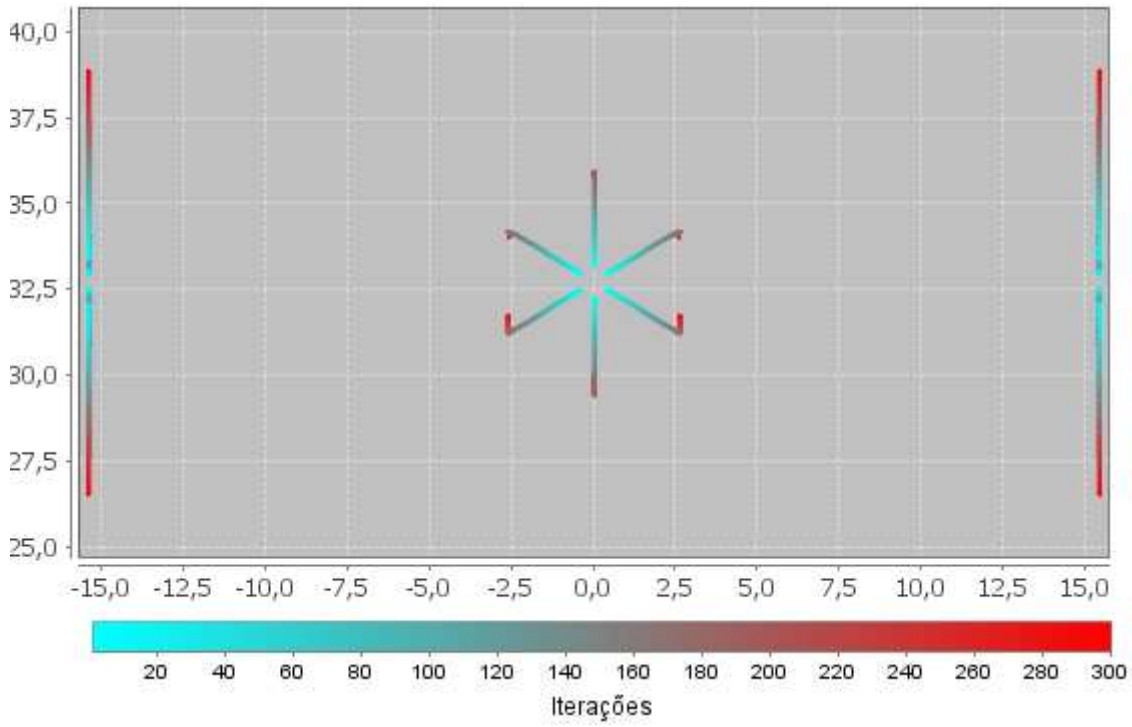

Figura 6.44: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-E (70), 1-E (91), 4-I (168), 6-I (168), 1-I (172), 3-I (172), 5-I (193), 2-I (203)

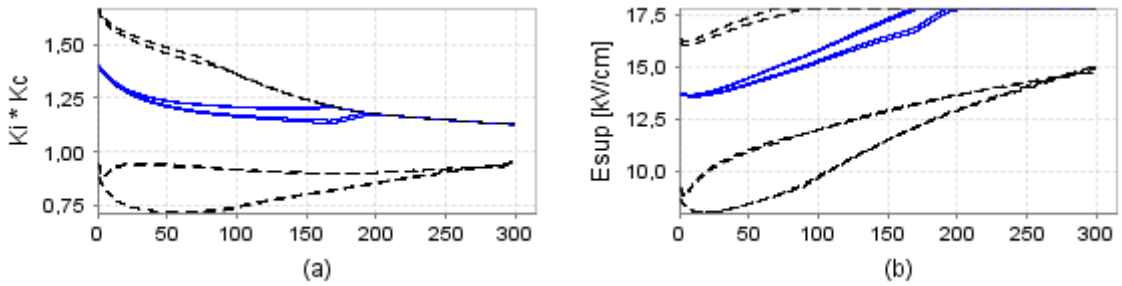

Figura 6.45: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

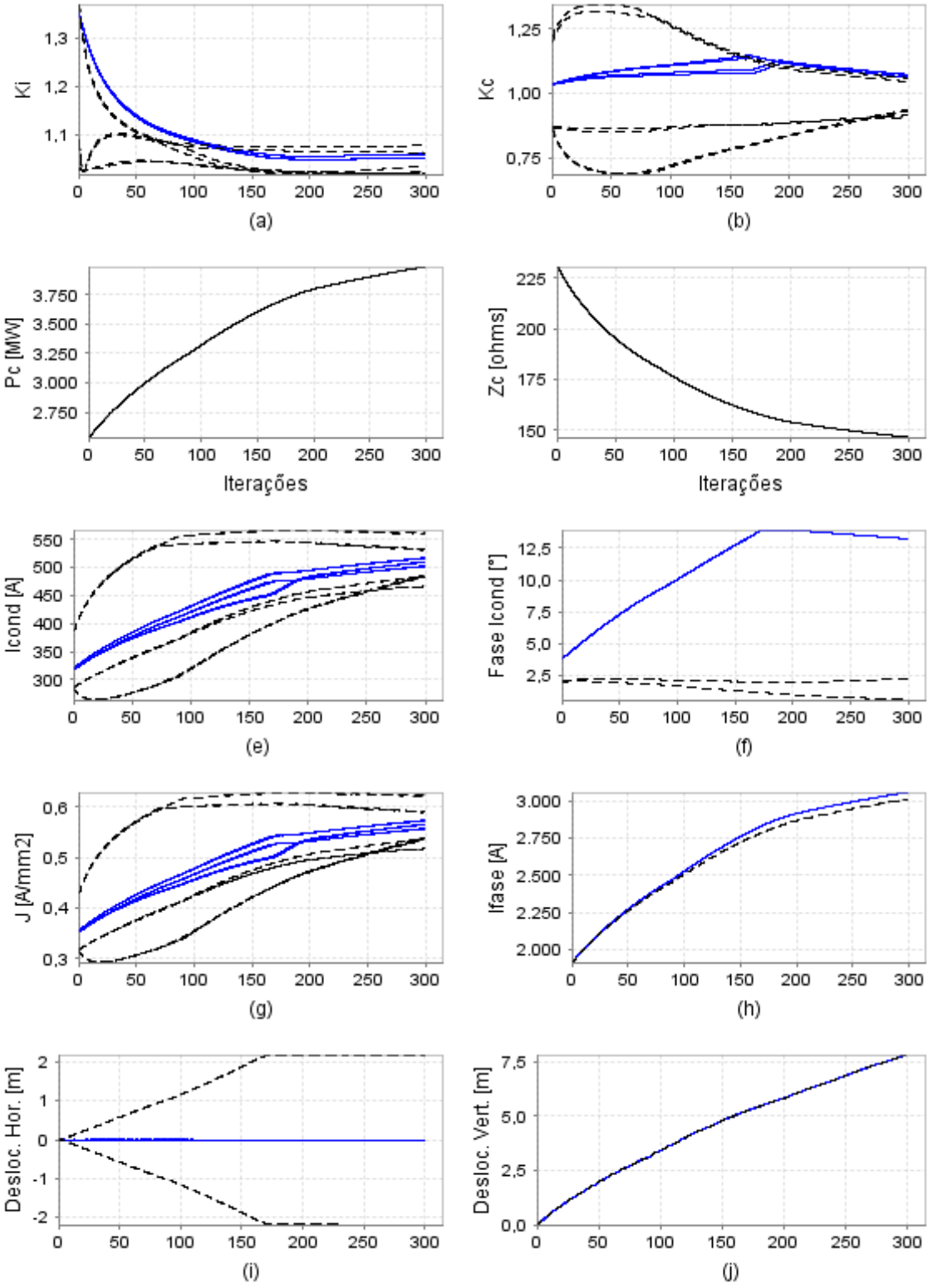

Figura 6.46: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

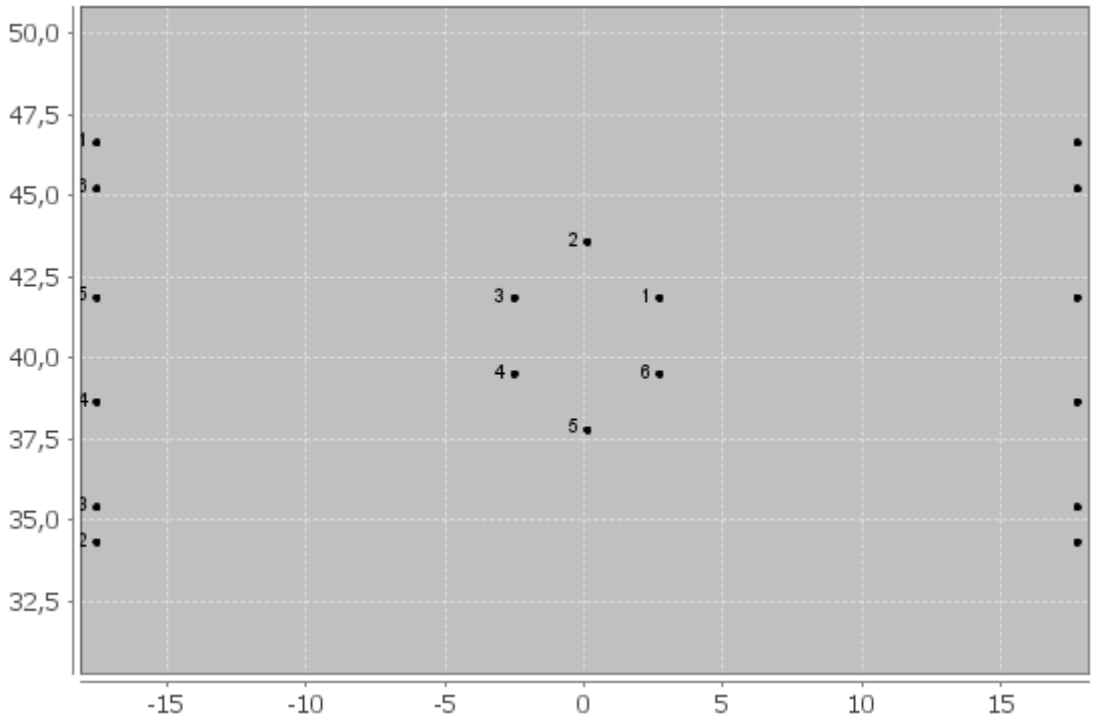

Figura 6.47: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Tabela 6.30: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,127	1,128	1,127	1,127	1,127	1,127					1,127	0,001
Ki	1,059	1,049	1,059	1,059	1,050	1,059					1,056	0,010
Kc	1,065	1,075	1,065	1,064	1,073	1,064					1,068	0,011
Icond [A]	502	509	516	517	510	503					510	15
Esup [kV/cm]	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8					17,8	0,0

Tabela 6.31: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,128	1,129	0,937	0,950	0,946	0,934					1,004	0,216
Ki	1,062	1,076	1,033	1,017	1,018	1,022					1,038	0,056
Kc	1,062	1,050	0,908	0,934	0,929	0,914					0,966	0,157
Icond [A]	562	533	466	482	484	483					502	83
Esup [kV/cm]	17,8	17,8	14,8	15,0	15,0	14,8					15,9	3,4

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	6

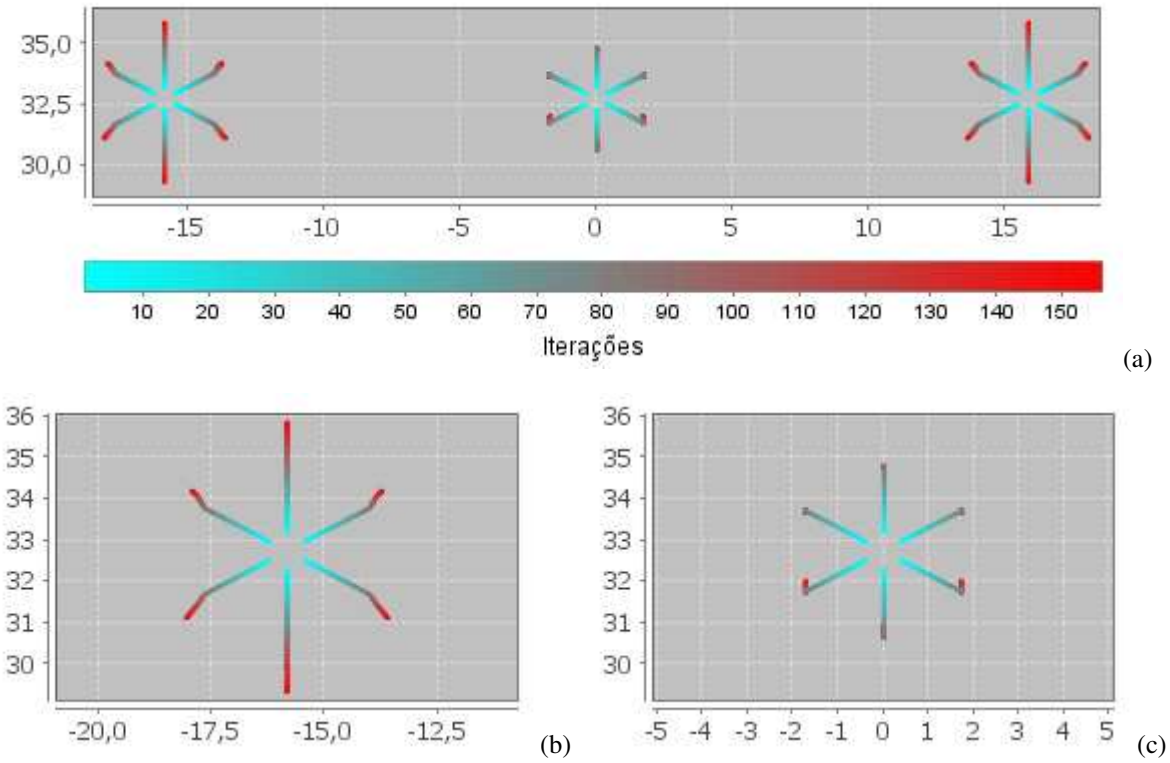

Figura 6.48: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 4-I (78), 6-I (78), 1-I (79), 3-I (79), 5-I (89), 2-I (103), 6-E (134)

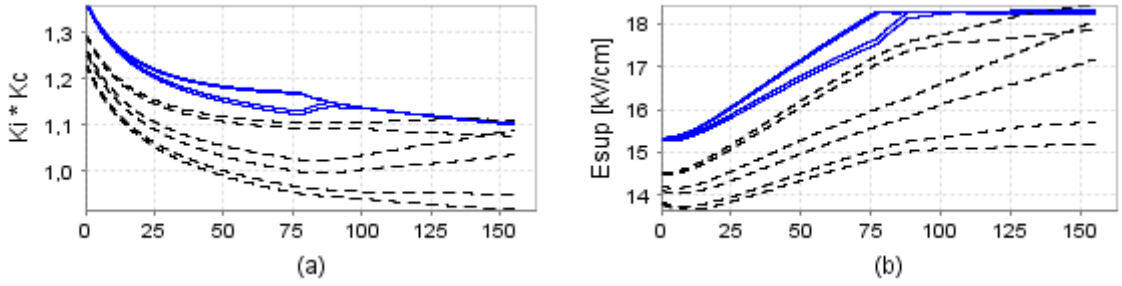

Figura 6.49: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

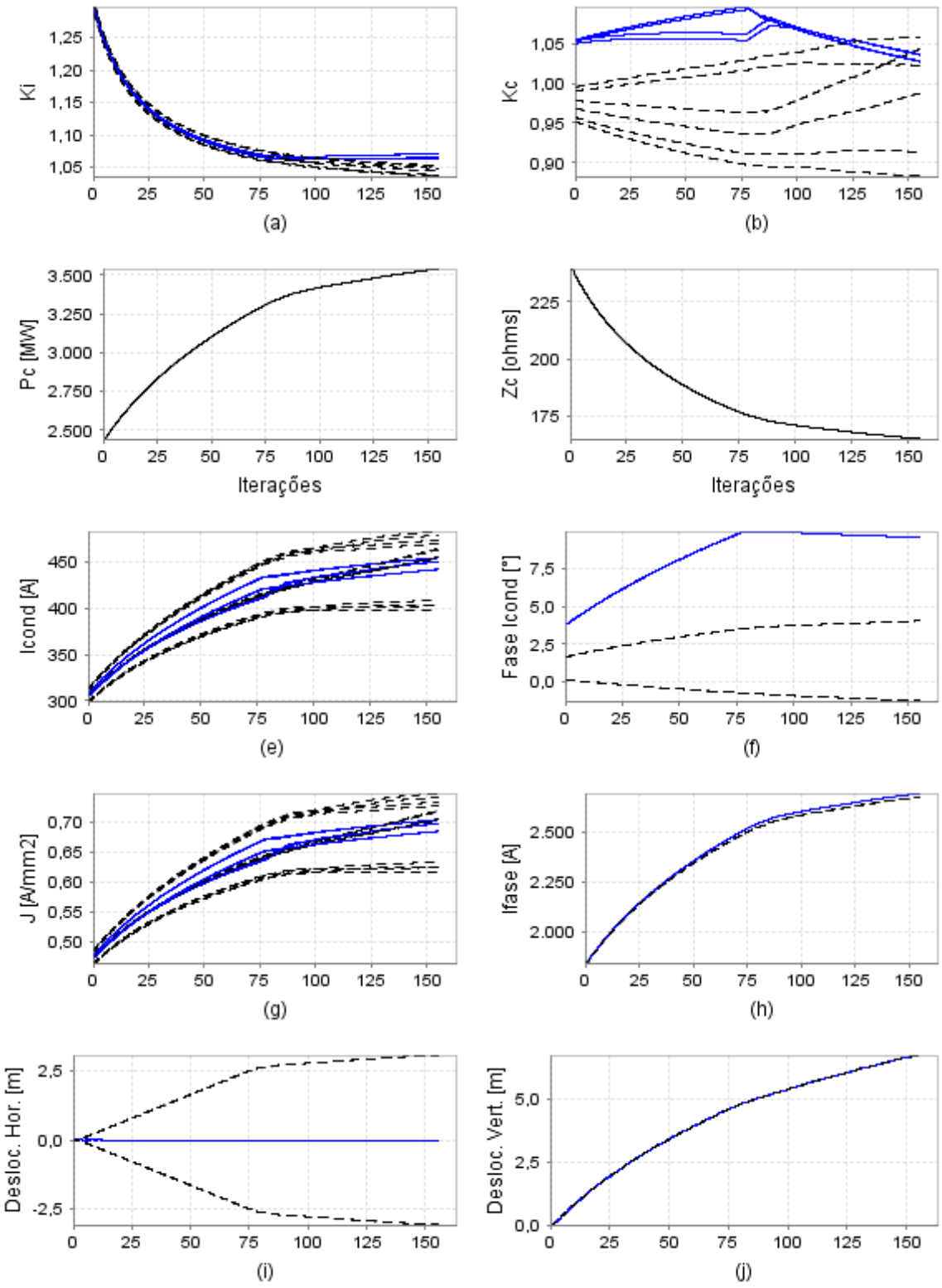

Figura 6.50: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

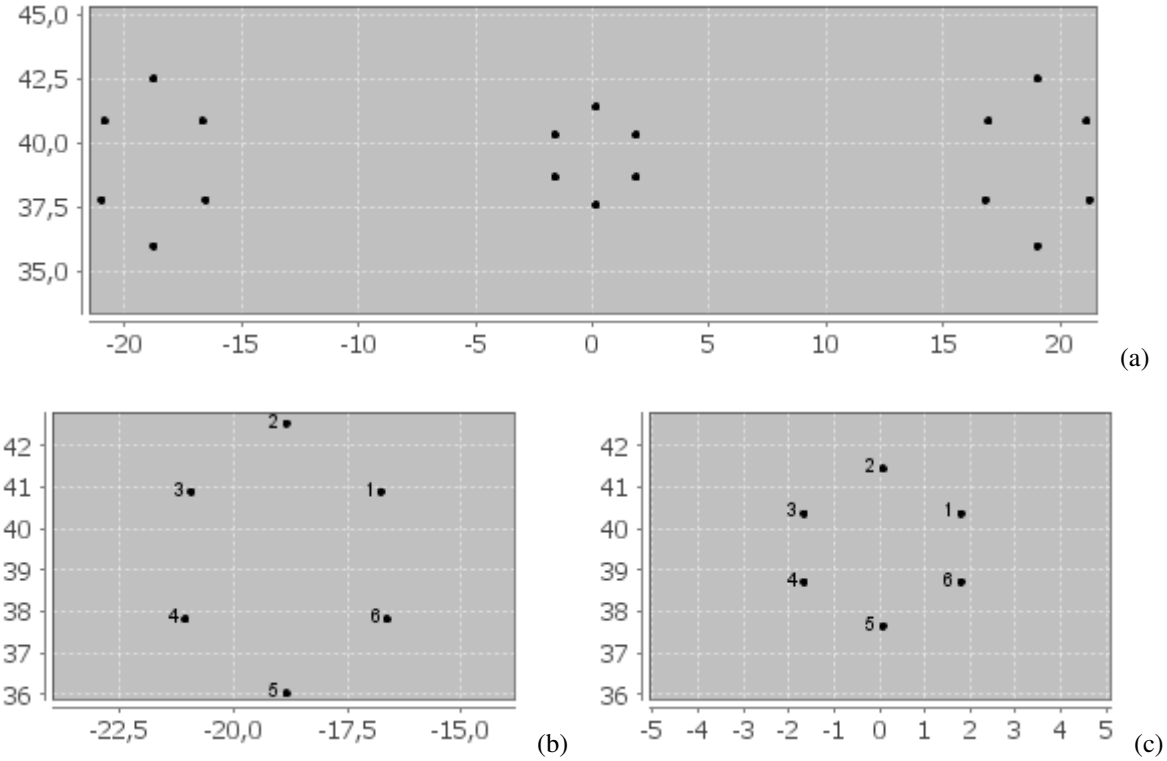

Figura 6.51: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.32: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,102	1,104	1,102	1,101	1,104	1,101					1,102	0,003
Ki	1,071	1,064	1,071	1,071	1,065	1,071					1,069	0,007
Kc	1,029	1,037	1,029	1,028	1,036	1,028					1,031	0,010
Icond [A]	441	450	454	454	450	441					448	13
Esup [kV/cm]	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3					18,3	0,1

Tabela 6.33: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,077	1,034	0,916	0,947	1,088	1,112					1,029	0,179
Ki	1,053	1,048	1,038	1,036	1,044	1,051					1,045	0,015
Kc	1,023	0,987	0,883	0,914	1,042	1,058					0,984	0,160
Icond [A]	469	454	402	408	463	478					446	73
Esup [kV/cm]	17,9	17,2	15,2	15,7	18,0	18,4					17,1	3,0

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	7

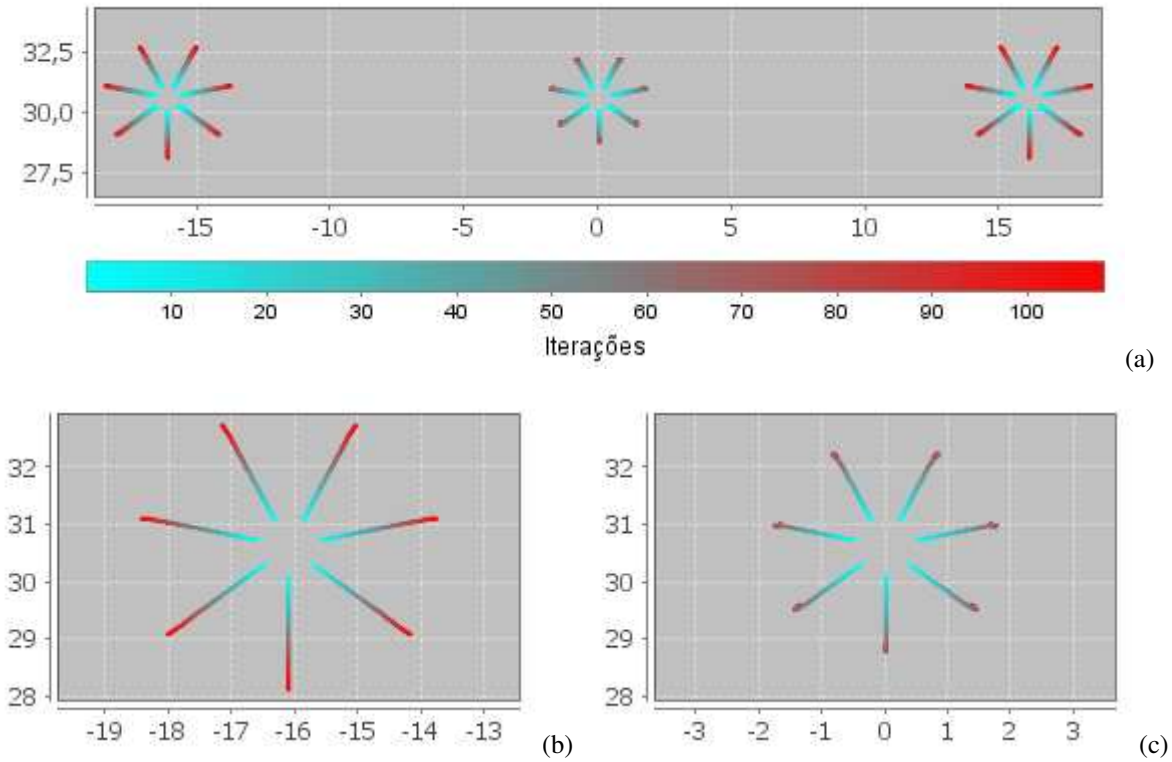

Figura 6.52: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 3-I (60), 6-I (60), 2-I (64), 7-I (64), 1-I (71), 4-I (71), 5-I (71), 3-E (93), 2-E (99)

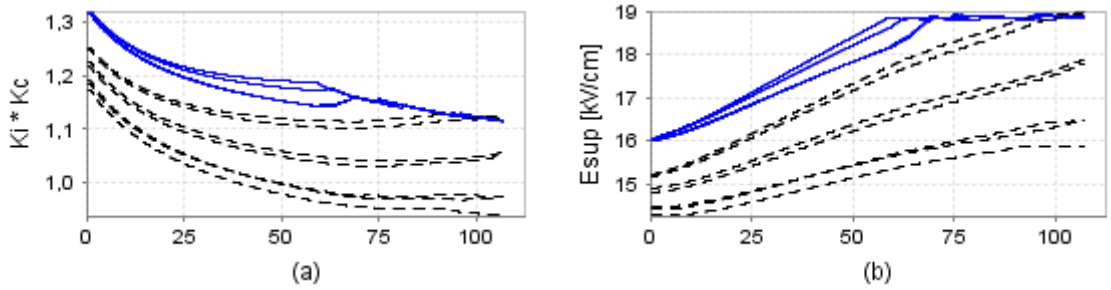

Figura 6.53: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional

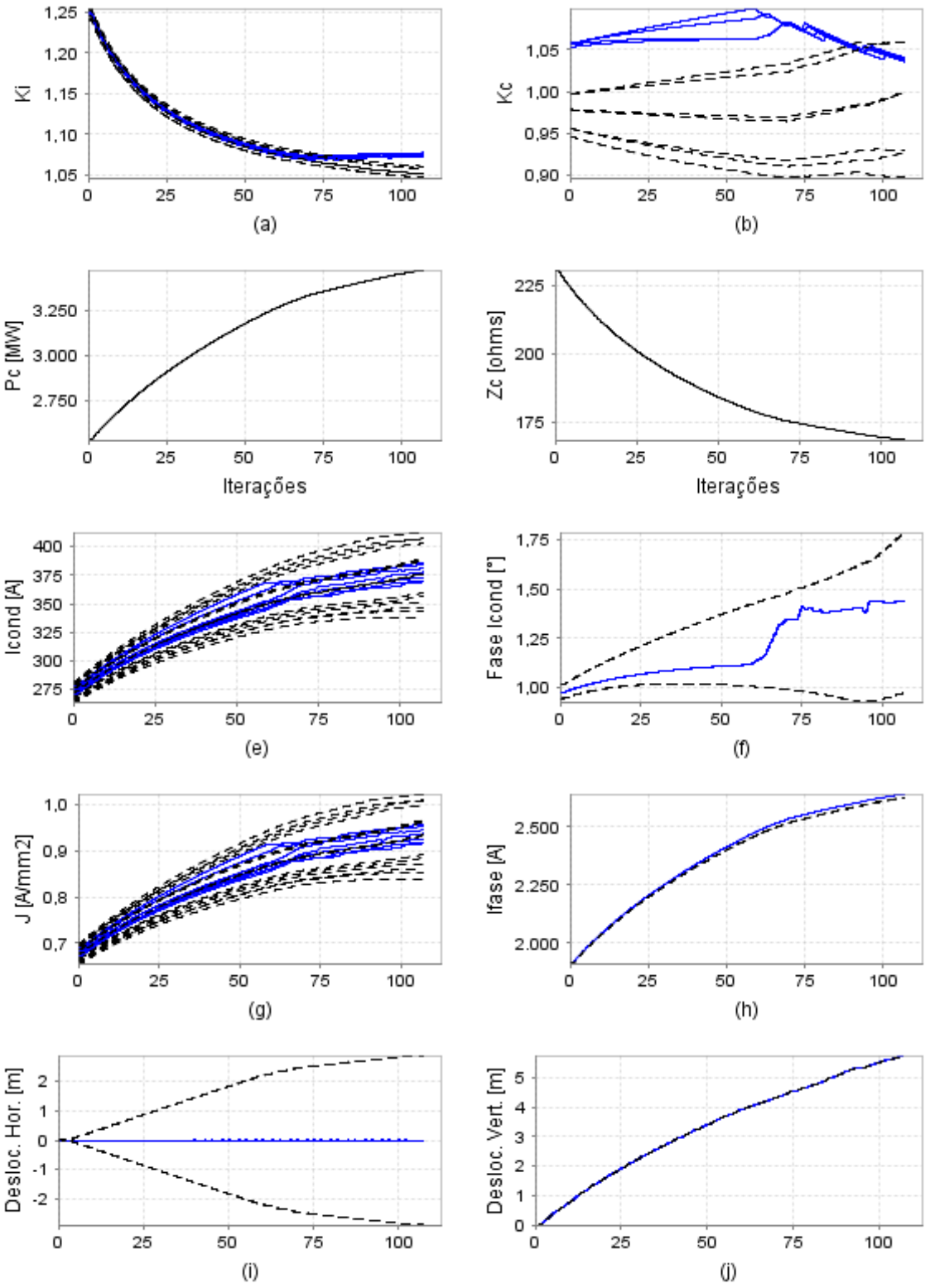

Figura 6.54: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional

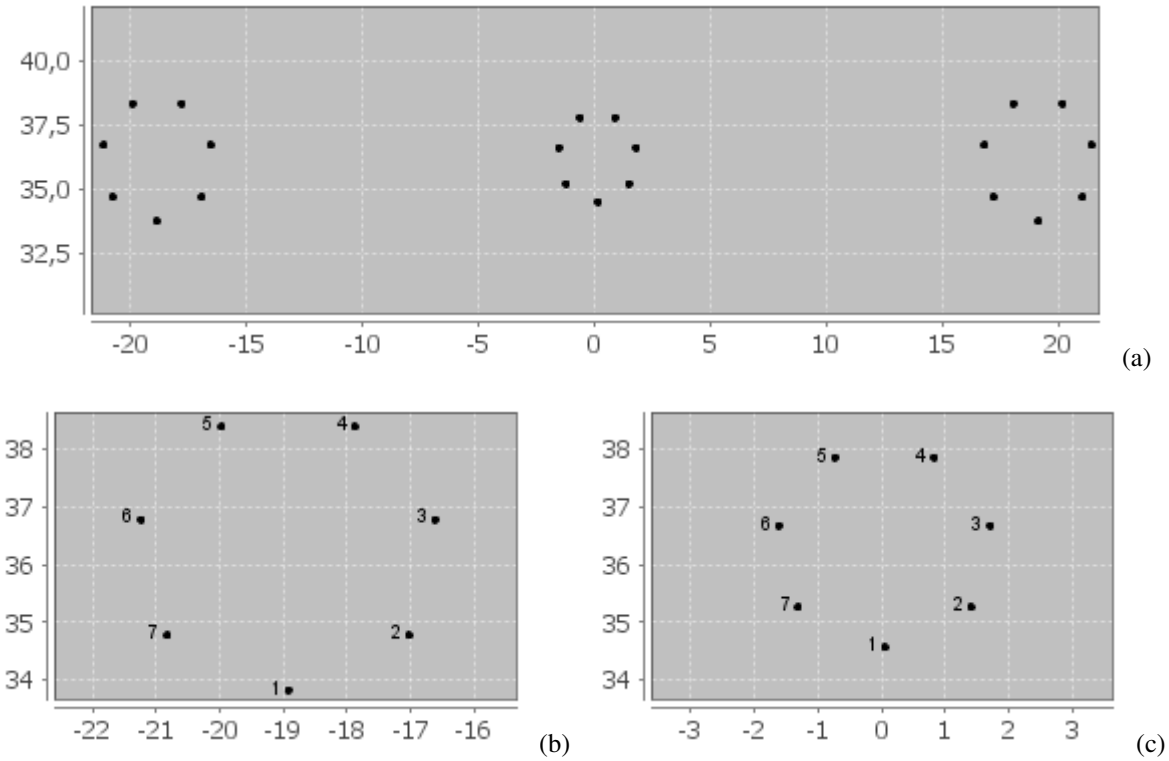

Figura 6.55: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.34: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,117	1,116	1,117	1,115	1,115	1,117	1,116				1,116	0,002
Ki	1,073	1,076	1,077	1,074	1,074	1,077	1,076				1,075	0,004
Kc	1,041	1,037	1,037	1,039	1,039	1,037	1,037				1,038	0,004
Icond [A]	377	370	369	373	381	386	384				377	16
Esup [kV/cm]	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9				18,9	0,0

Tabela 6.35: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,049	1,120	1,123	1,055	0,974	0,940	0,974				1,033	0,180
Ki	1,051	1,058	1,061	1,057	1,051	1,047	1,047				1,053	0,013
Kc	0,998	1,058	1,059	0,998	0,926	0,897	0,930				0,981	0,159
Icond [A]	376	402	407	387	359	343	350				375	62
Esup [kV/cm]	17,7	18,9	19,0	17,8	16,5	15,9	16,5				17,5	3,0

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	7

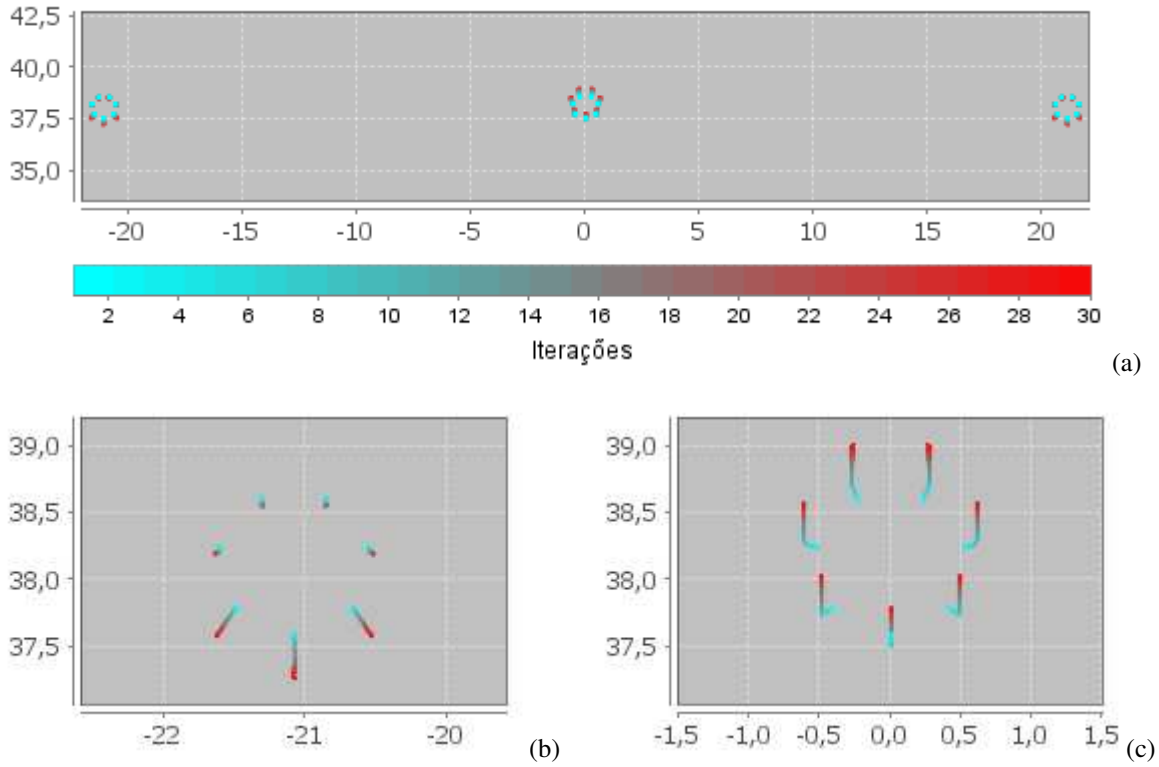

Figura 6.56: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (1), 2-I (1), 3-I (1), 4-I (1), 5-I (1), 6-I (1), 7-I (1), 1-E (18), 2-E (26)

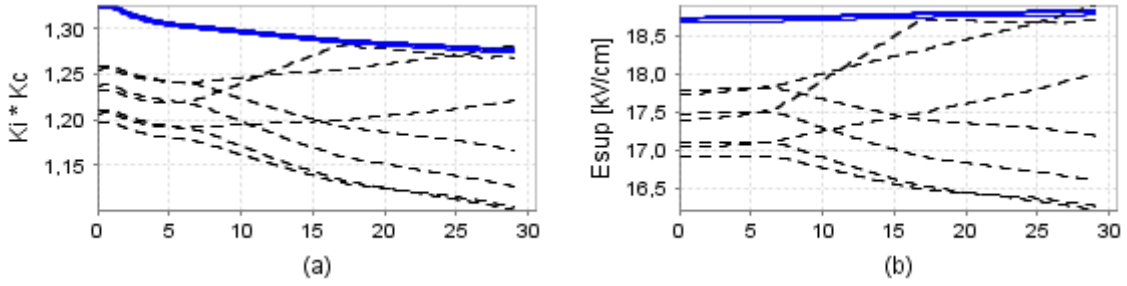

Figura 6.57: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional

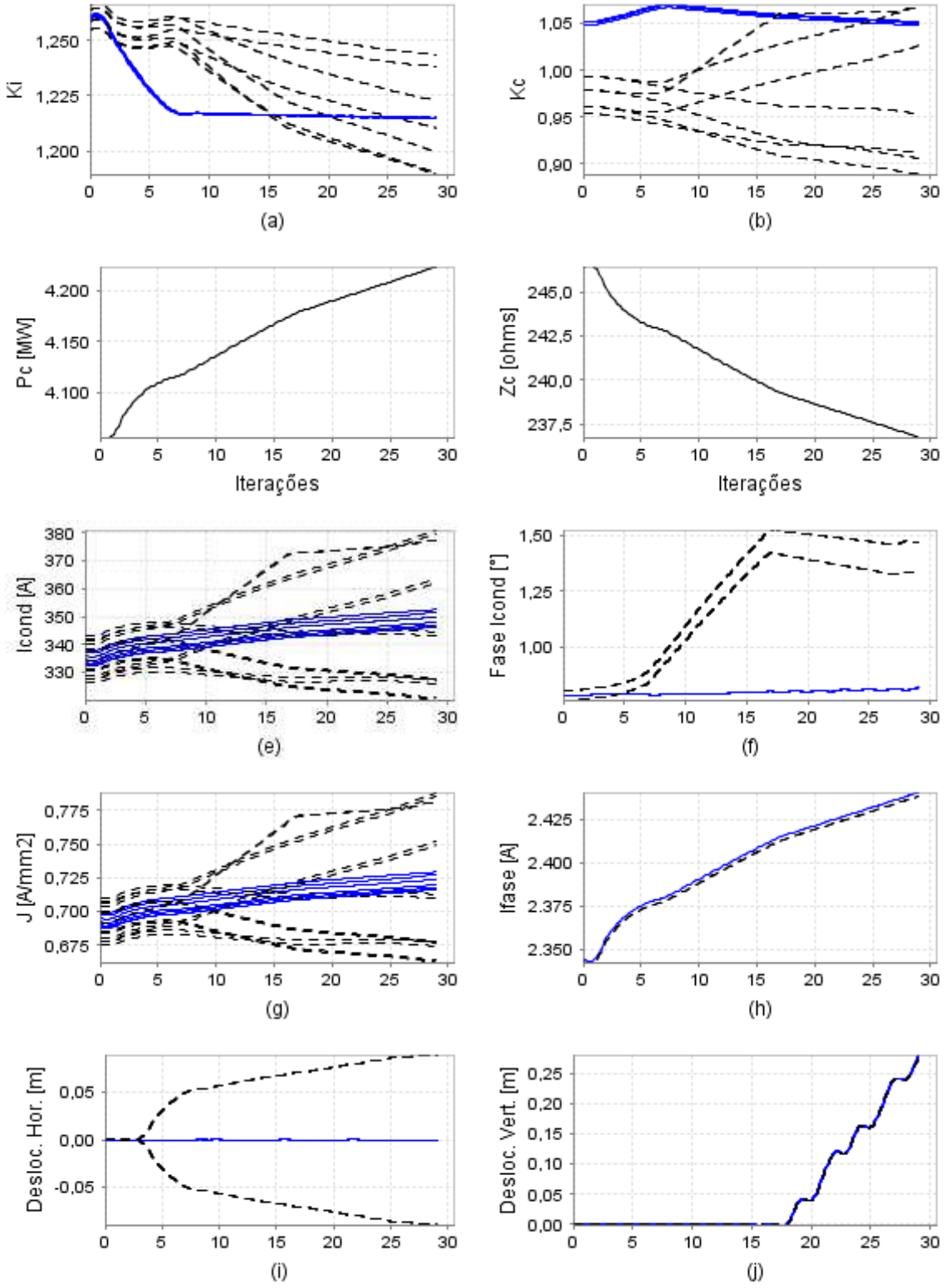

Figura 6.58: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional

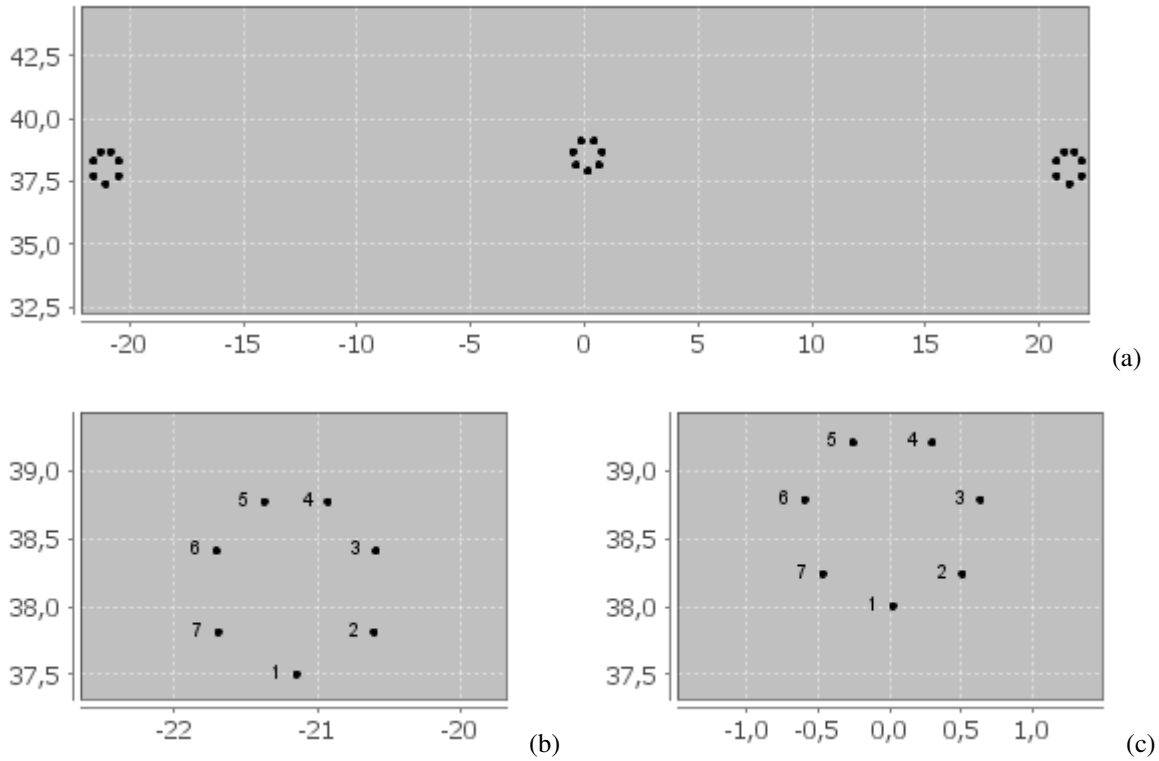

Figura 6.59: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.36: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,277	1,279	1,278	1,274	1,274	1,278	1,279				1,277	0,005
Ki	1,215	1,215	1,215	1,215	1,215	1,215	1,215				1,215	0,001
Kc	1,051	1,053	1,052	1,049	1,049	1,052	1,053				1,051	0,004
Icond [A]	348	346	346	347	349	352	351				348	6
Esup [kV/cm]	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8				18,8	0,1

Tabela 6.37: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,270	1,279	1,169	1,130	1,104	1,107	1,219				1,183	0,182
Ki	1,191	1,201	1,224	1,244	1,239	1,212	1,192				1,215	0,053
Kc	1,066	1,065	0,955	0,908	0,891	0,914	1,023				0,974	0,185
Icond [A]	377	378	343	327	321	328	362				348	60
Esup [kV/cm]	18,7	18,8	17,2	16,6	16,3	16,3	17,9				17,4	2,7

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	8

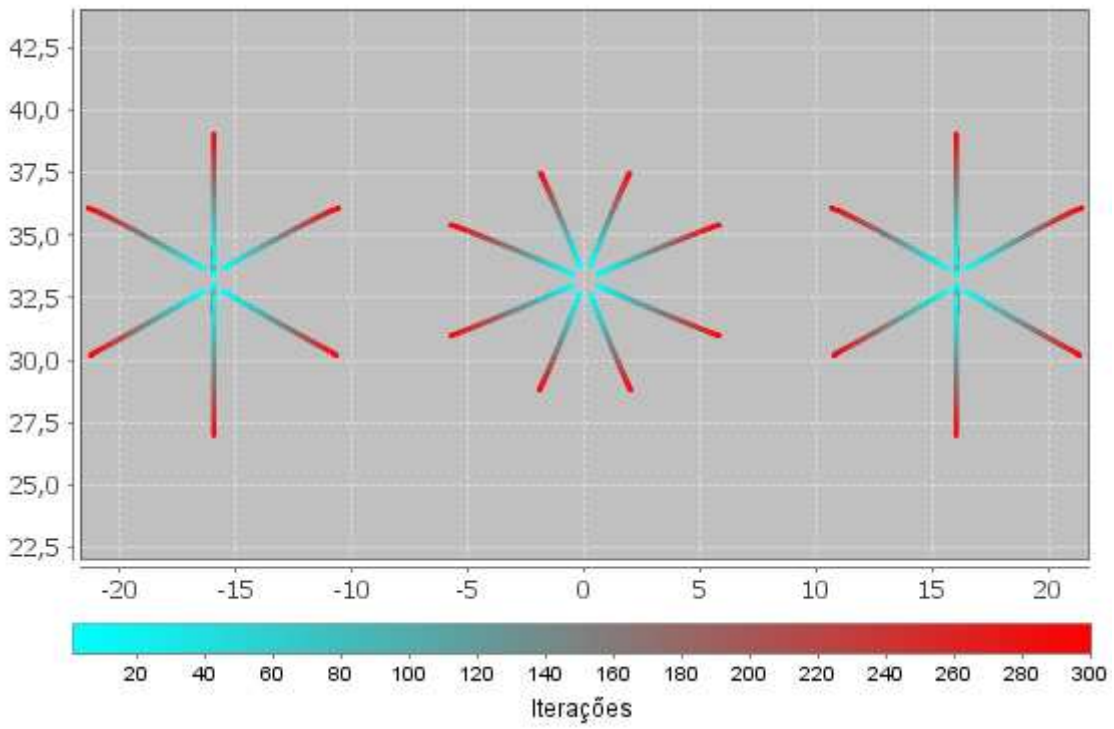

Figura 6.60: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 6-E (281), 5-I (291), 8-I (291), 1-I (299), 4-I (299)

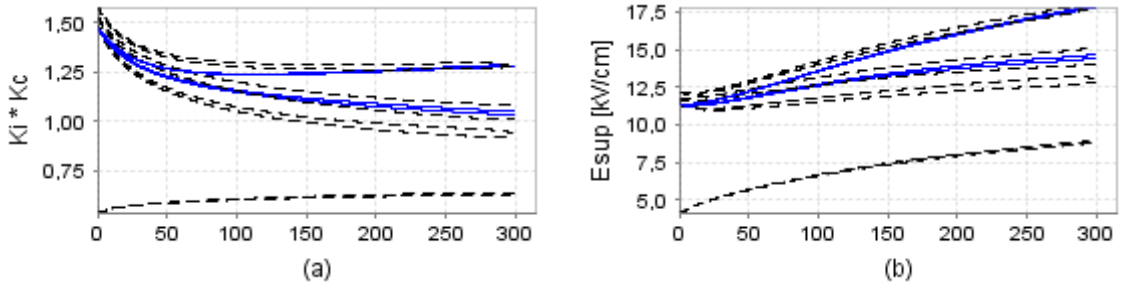

Figura 6.61: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

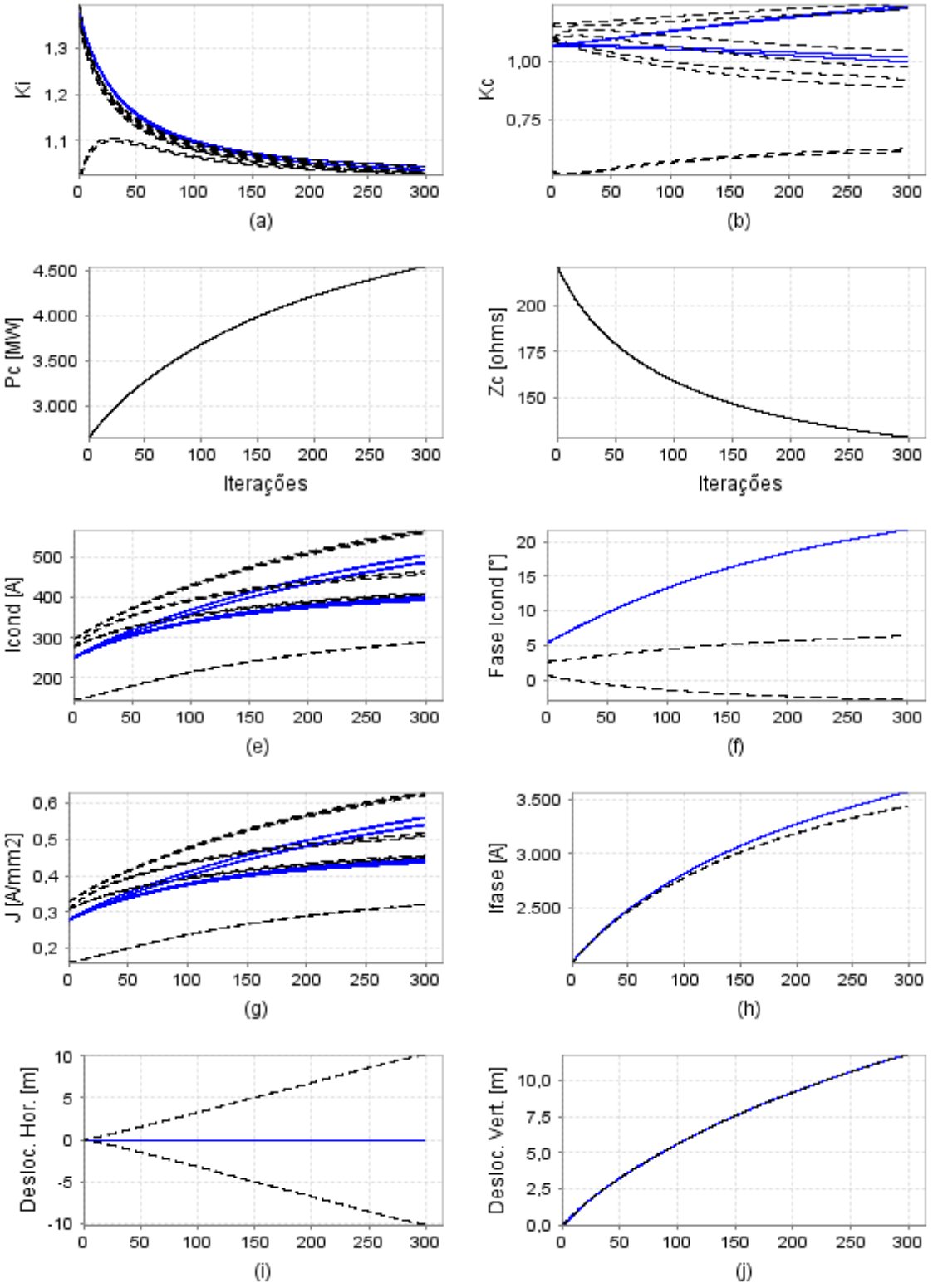

Figura 6.62: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

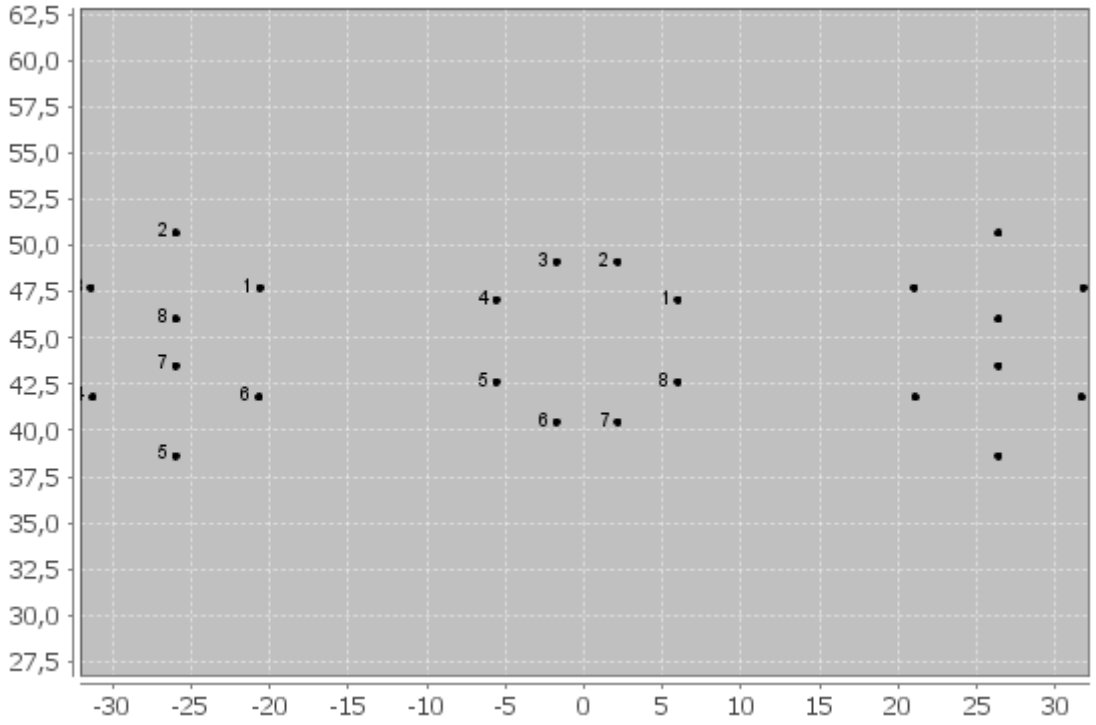

Figura 6.63: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Tabela 6.38: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,283	1,036	1,036	1,283	1,282	1,055	1,055	1,282			1,164	0,335
Ki	1,044	1,036	1,036	1,044	1,044	1,036	1,036	1,044			1,040	0,011
Kc	1,229	1,000	1,000	1,229	1,228	1,019	1,019	1,228			1,119	0,310
Icond [A]	486	392	398	503	502	402	396	485			446	138
Esup [kV/cm]	17,8	14,4	14,4	17,8	17,8	14,7	14,7	17,8			16,2	4,7

Tabela 6.39: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,279	1,011	0,921	0,946	1,087	1,282	0,642	0,633			0,975	0,658
Ki	1,044	1,039	1,032	1,030	1,036	1,044	1,027	1,030			1,035	0,018
Kc	1,224	0,973	0,892	0,918	1,049	1,228	0,625	0,614			0,941	0,621
Icond [A]	563	458	410	407	466	556	289	289			430	276
Esup [kV/cm]	17,8	14,0	12,8	13,1	15,1	17,8	8,9	8,8			13,5	9,1

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	8

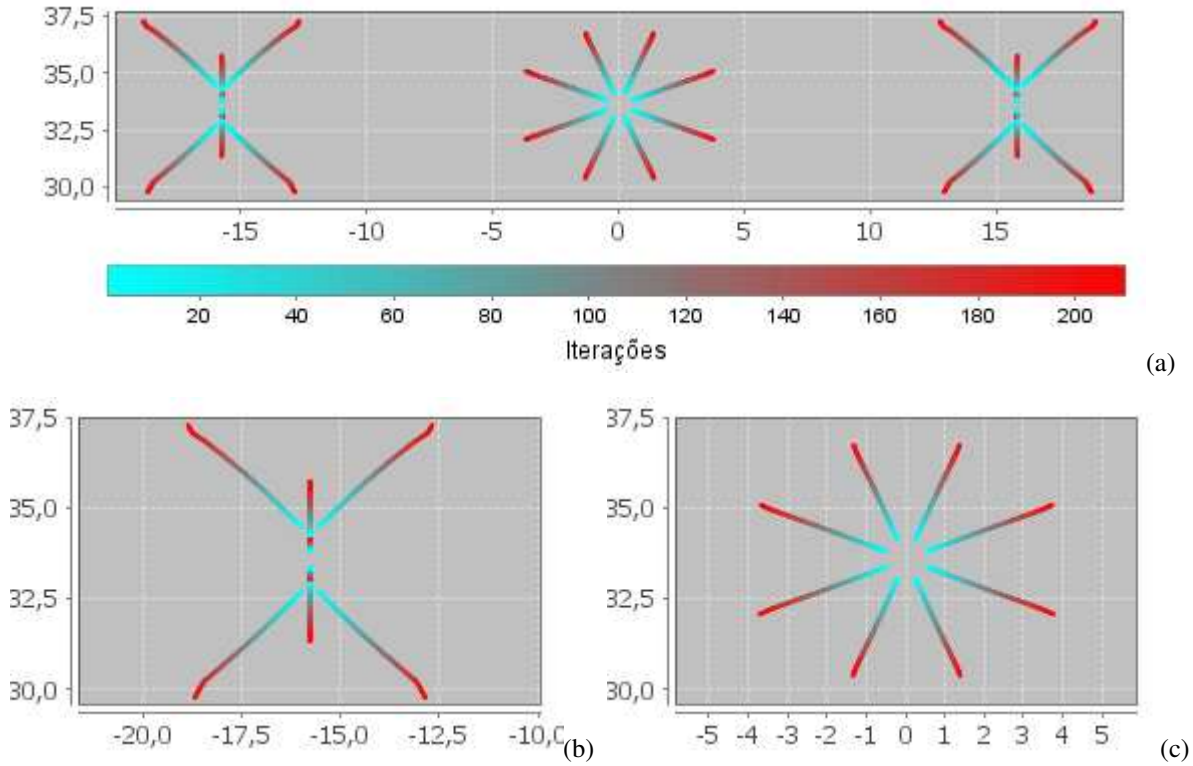

Figura 6.64: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 4-E (175), 1-E (196)

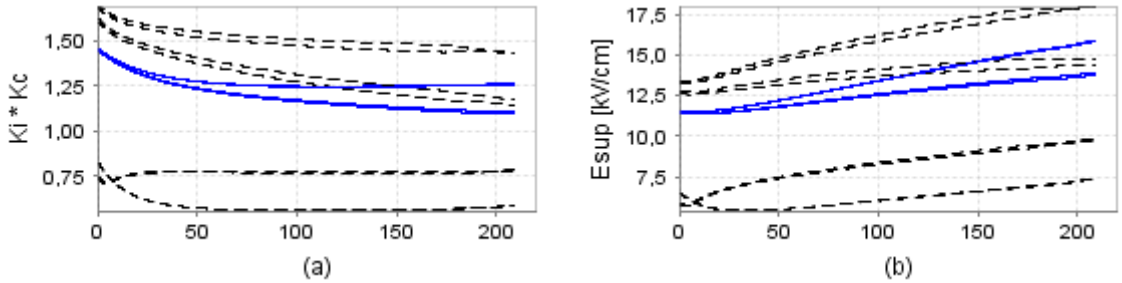

Figura 6.65: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

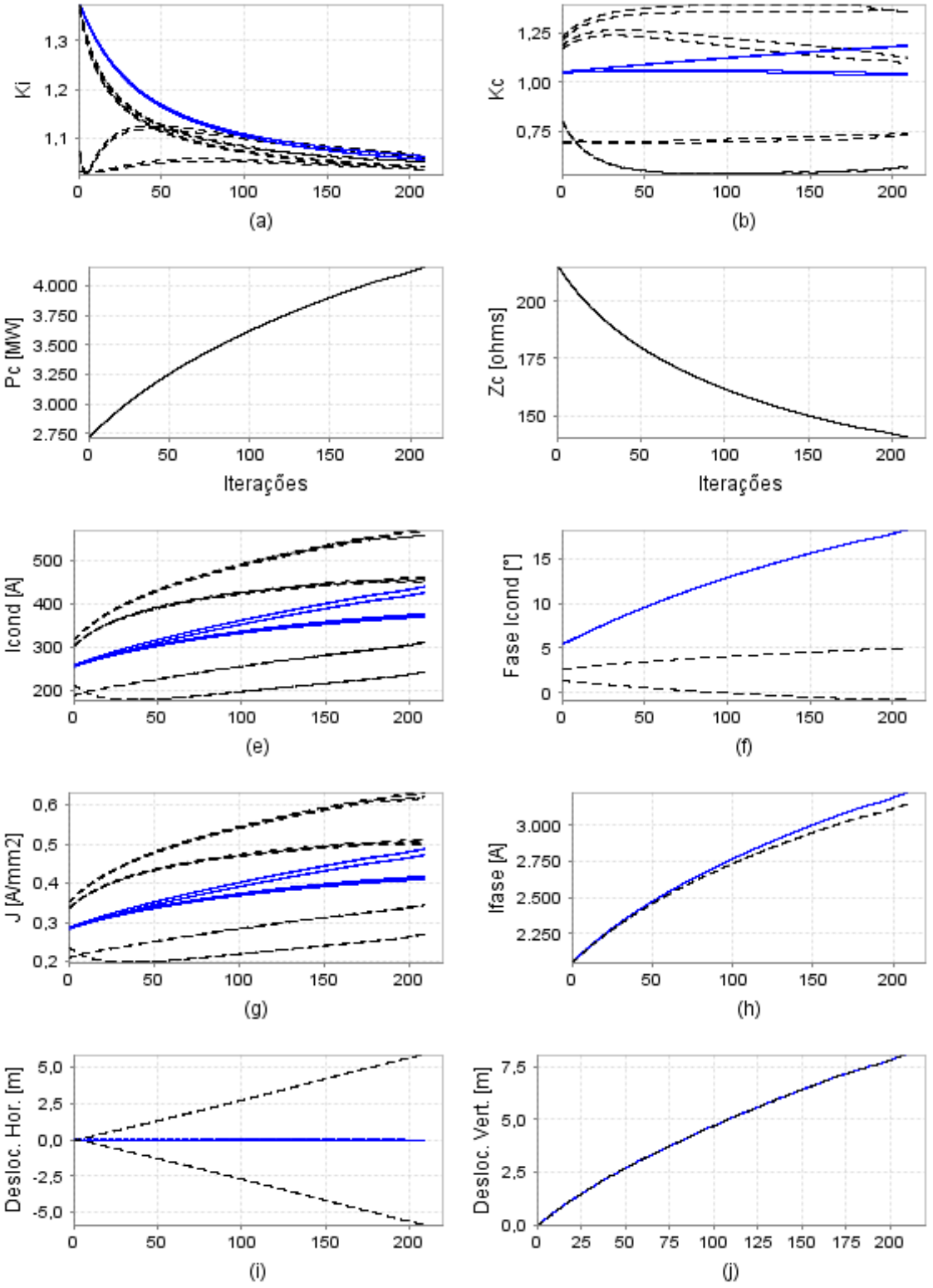

Figura 6.66: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

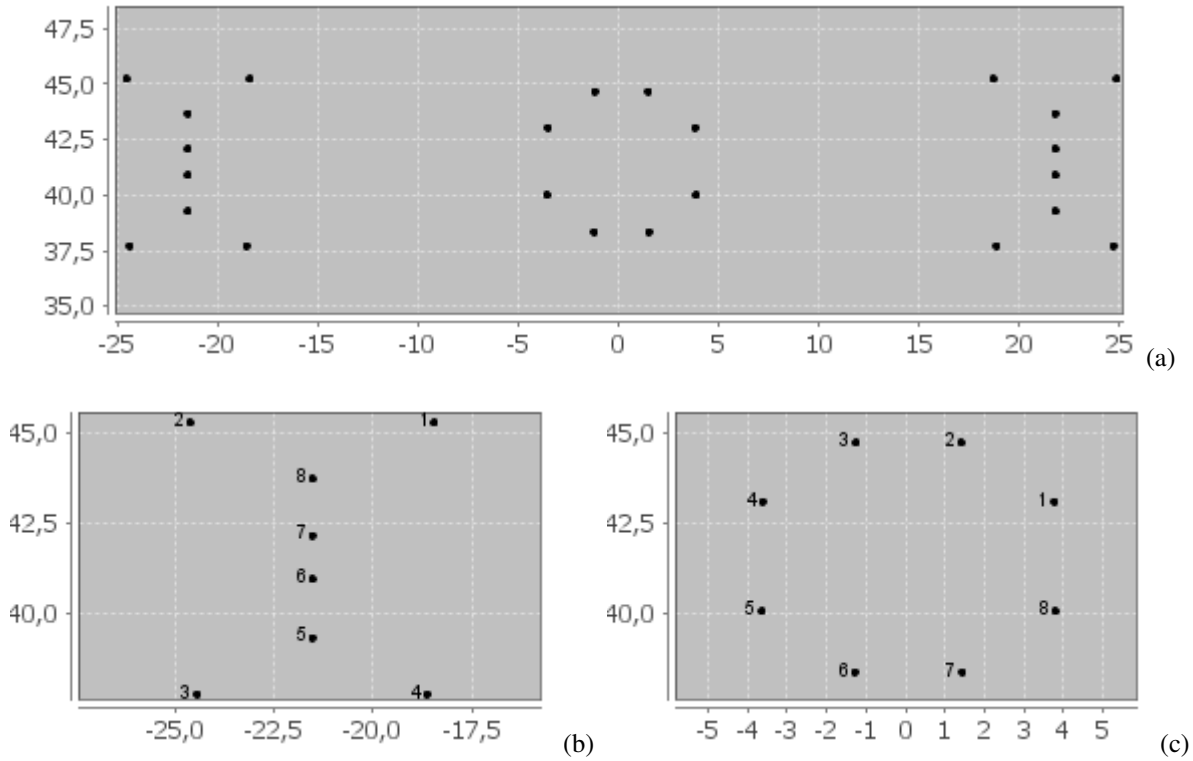

Figura 6.67: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.40: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,258	1,093	1,093	1,258	1,263	1,106	1,106	1,263			1,180	0,228
Ki	1,062	1,056	1,056	1,062	1,062	1,055	1,055	1,062			1,059	0,010
Kc	1,184	1,035	1,035	1,184	1,189	1,048	1,048	1,189			1,114	0,205
Icond [A]	424	370	375	438	440	378	373	426			403	83
Esup [kV/cm]	15,8	13,7	13,7	15,8	15,9	13,9	13,9	15,9			14,8	2,9

Tabela 6.41: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,427	1,141	1,173	1,431	0,784	0,589	0,587	0,776			0,988	0,923
Ki	1,052	1,042	1,042	1,052	1,057	1,035	1,038	1,064			1,048	0,027
Kc	1,356	1,095	1,126	1,360	0,742	0,570	0,565	0,729			0,943	0,877
Icond [A]	568	461	455	557	309	242	242	311			393	353
Esup [kV/cm]	17,9	14,3	14,7	18,0	9,9	7,4	7,4	9,7			12,4	11,6

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	9

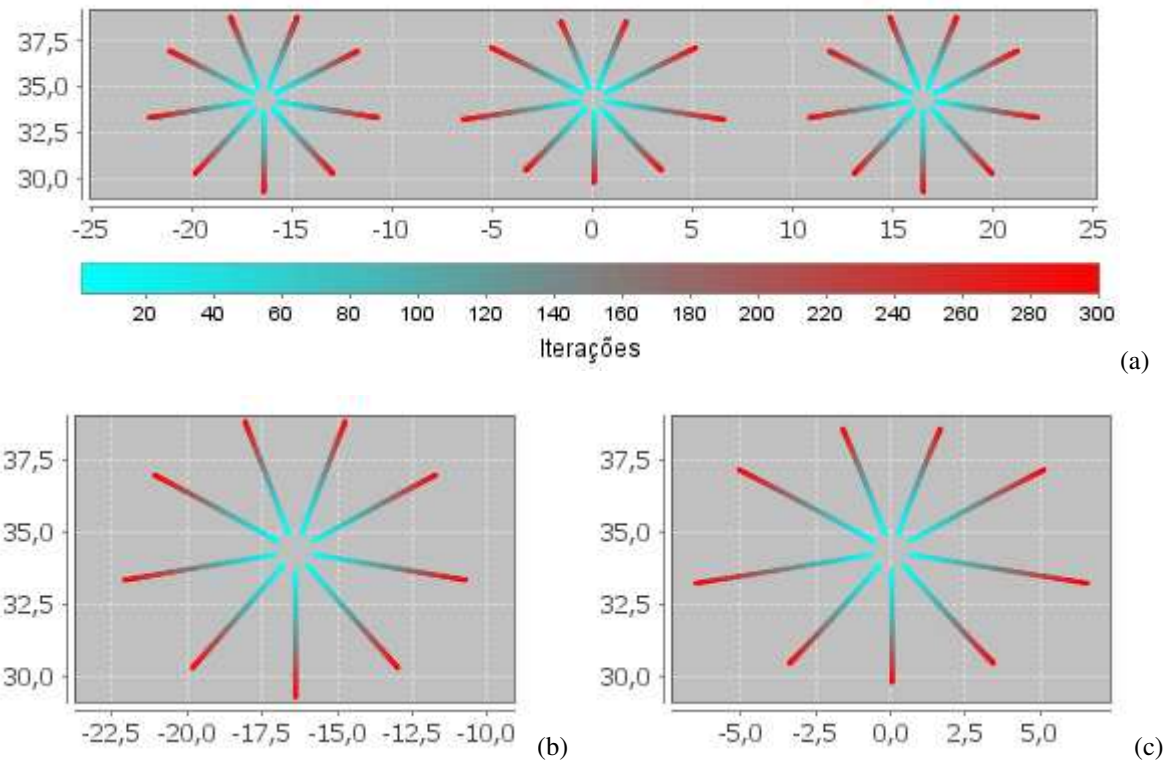

Figura 6.68: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

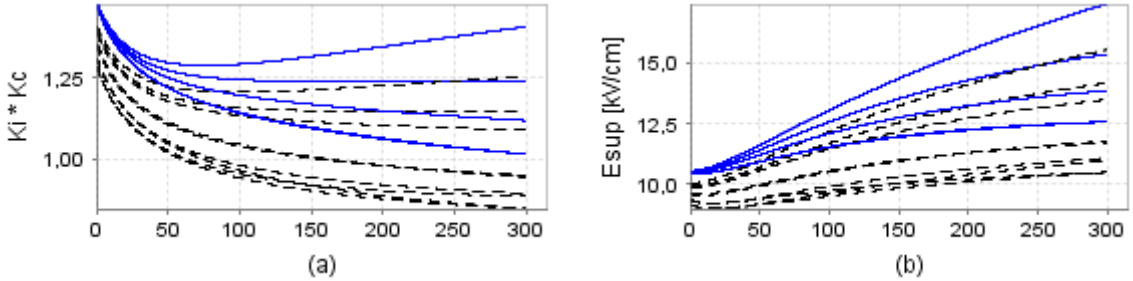

Figura 6.69: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

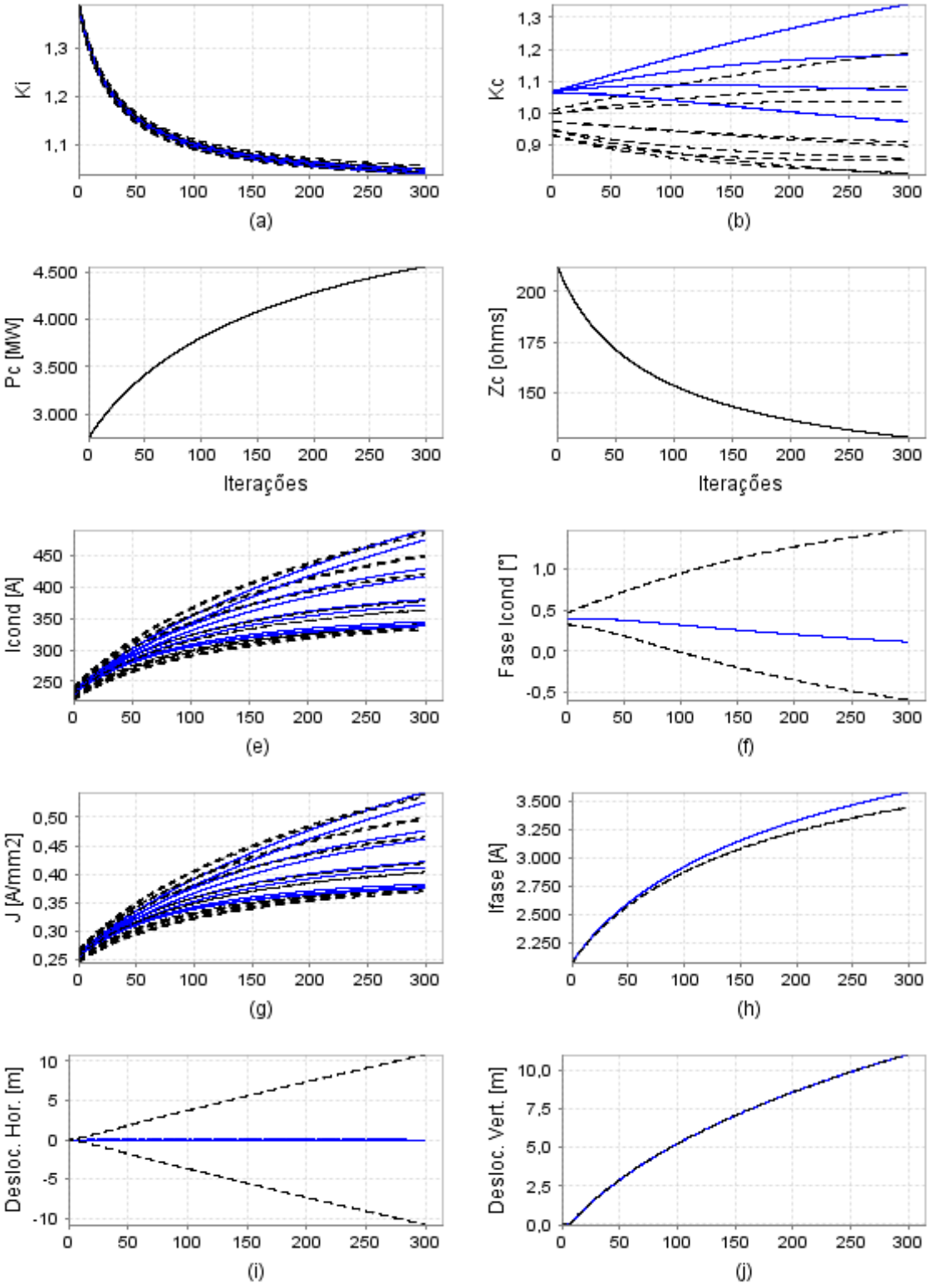

Figura 6.70: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

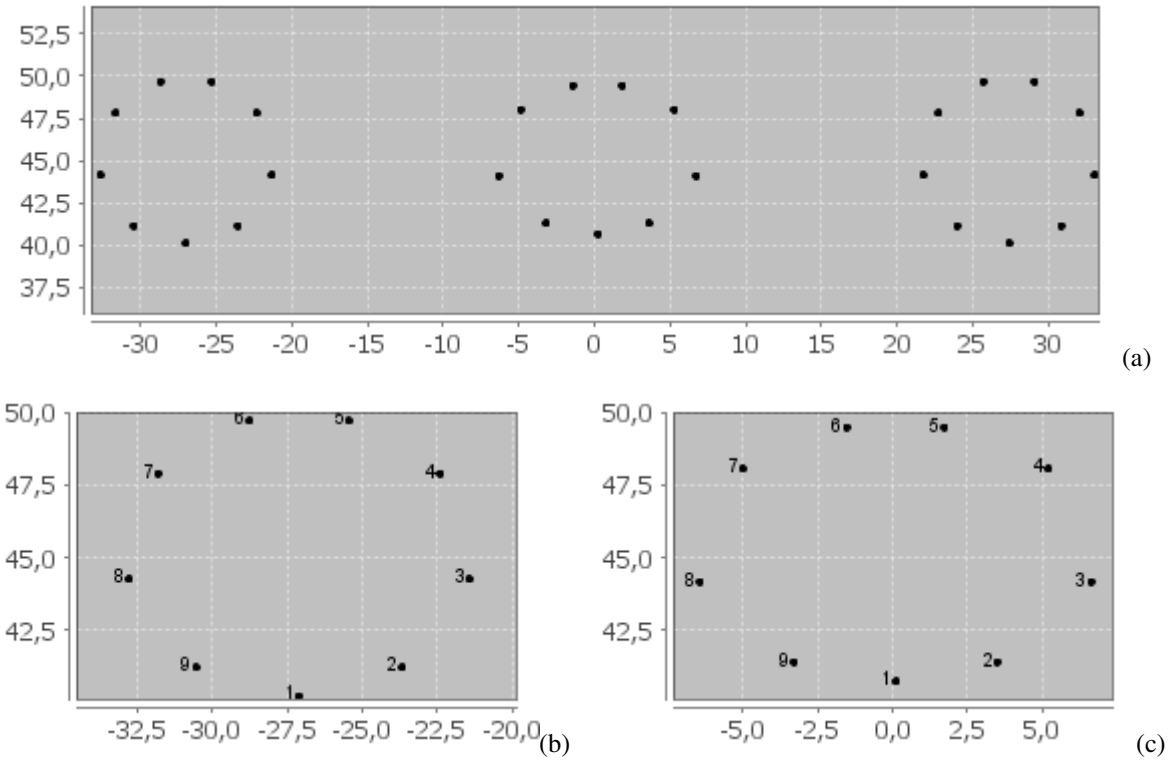

Figura 6.71: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.42: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,014	1,118	1,407	1,240	1,015	1,015	1,240	1,407	1,118		1,175	0,447
Ki	1,040	1,044	1,050	1,048	1,042	1,042	1,048	1,050	1,044		1,045	0,010
Kc	0,975	1,071	1,340	1,183	0,974	0,974	1,183	1,340	1,071		1,123	0,417
Icond [A]	338	371	474	416	340	344	429	490	380		398	162
Esup [kV/cm]	12,6	13,9	17,5	15,4	12,6	12,6	15,4	17,5	13,9		14,6	5,5

Tabela 6.43: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	0,949	1,088	1,254	1,143	0,942	0,845	0,846	0,884	0,893		0,983	0,411
Ki	1,043	1,051	1,056	1,055	1,050	1,044	1,041	1,039	1,039		1,046	0,019
Kc	0,910	1,036	1,187	1,083	0,898	0,809	0,812	0,851	0,860		0,938	0,376
Icond [A]	364	419	483	447	377	341	336	341	340		383	153
Esup [kV/cm]	11,8	13,5	15,6	14,2	11,7	10,5	10,5	11,0	11,1		12,2	5,1

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	9

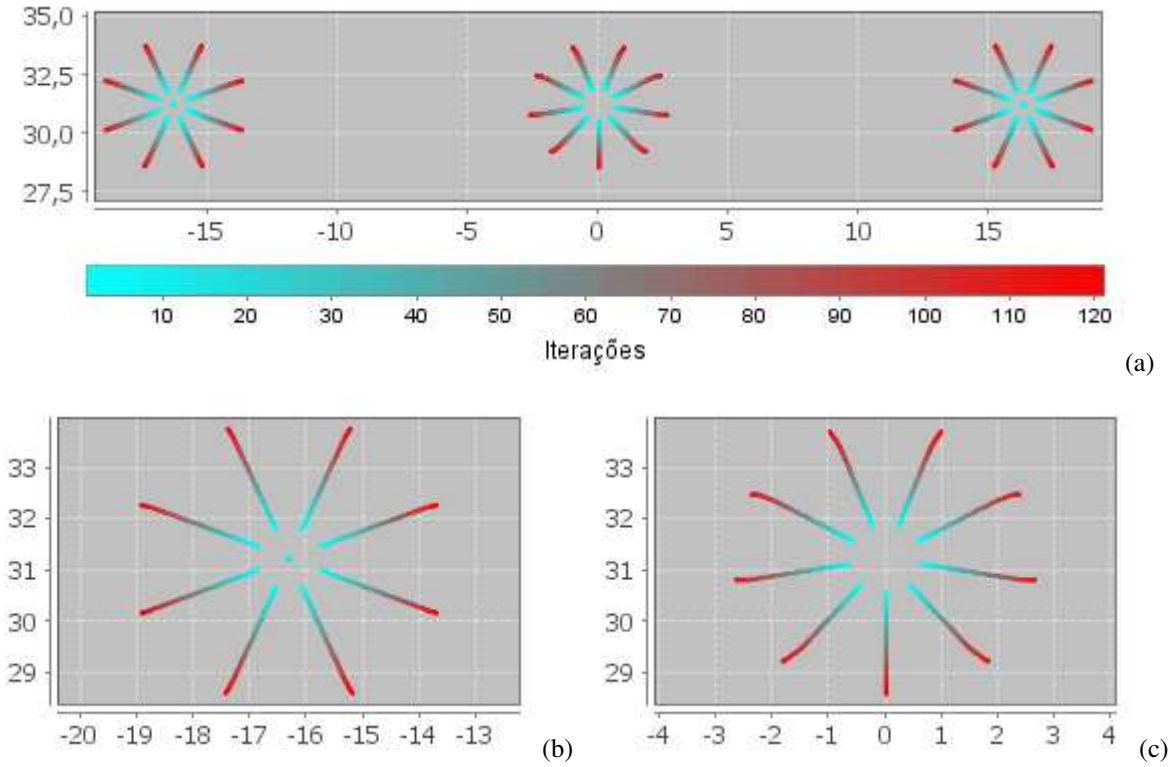

Figura 6.72: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 3-I (93), 8-I (93), 4-I (103), 7-I (103), 8-E (105), 1-E (111), 2-I (113), 9-I (113)

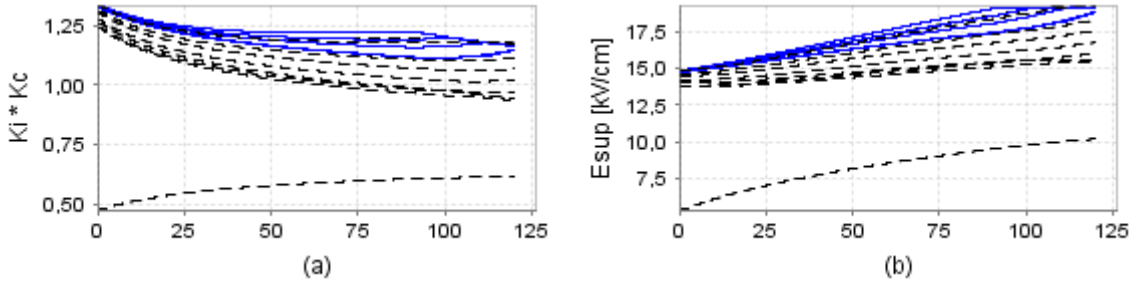

Figura 6.73: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

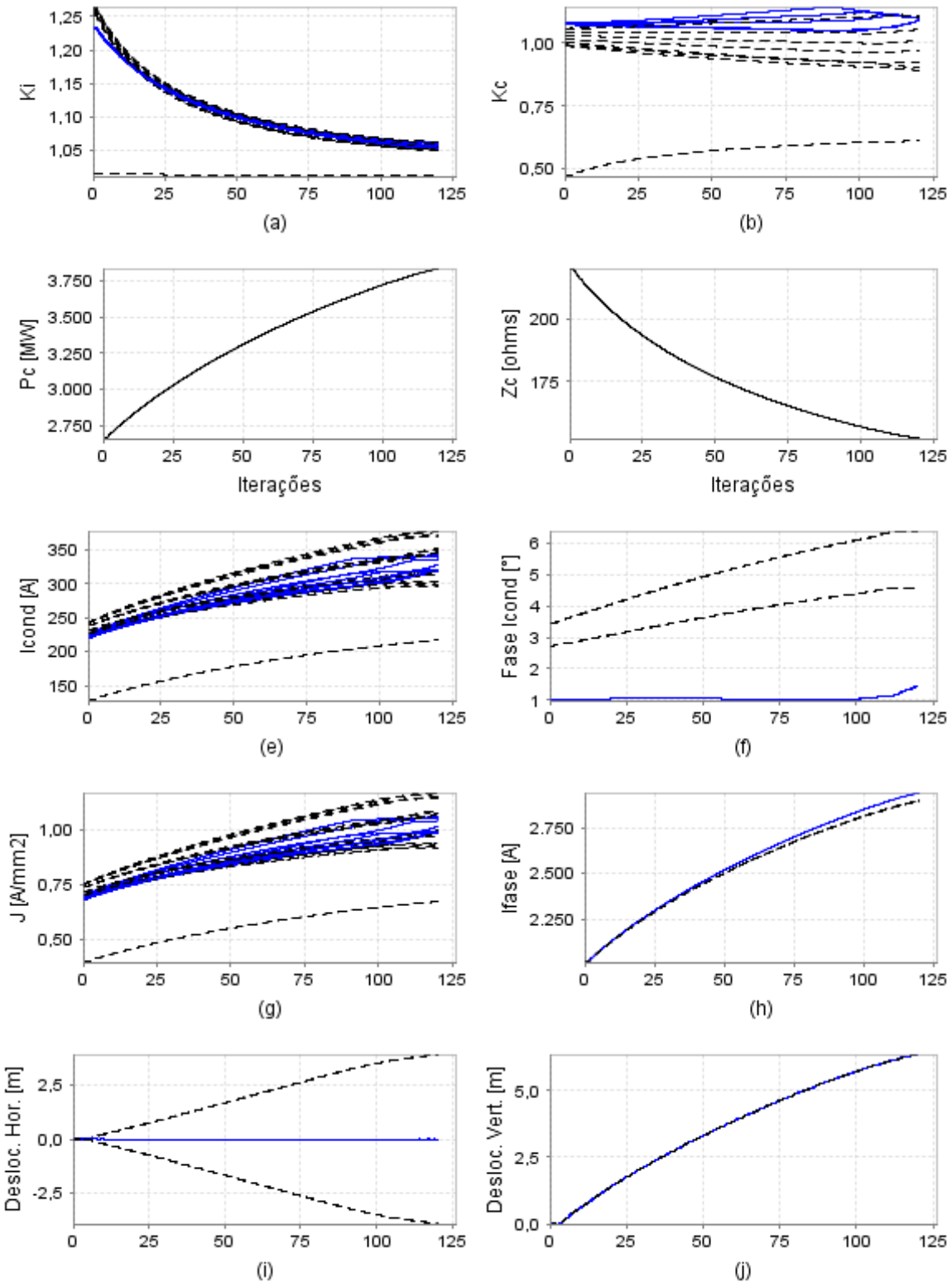

Figura 6.74: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

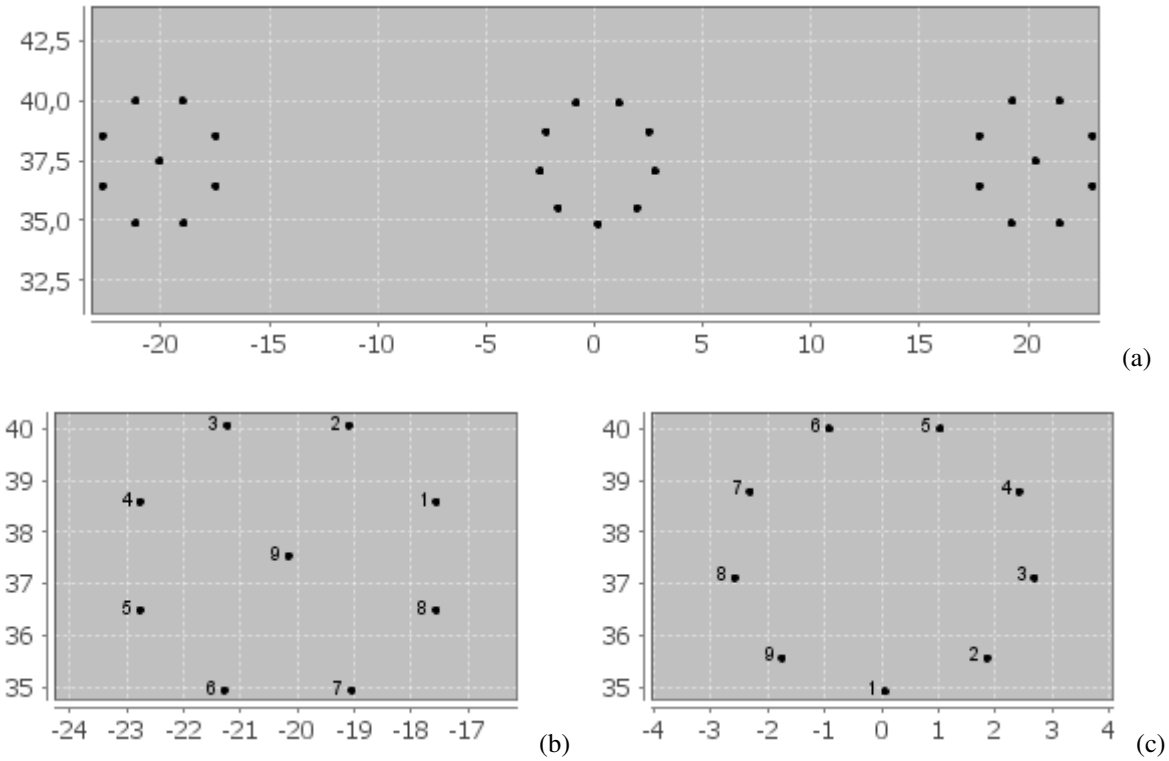

Figura 6.75: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.44: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,143	1,165	1,168	1,166	1,145	1,145	1,166	1,168	1,165		1,159	0,032
Ki	1,054	1,058	1,062	1,061	1,056	1,056	1,061	1,062	1,058		1,058	0,008
Kc	1,084	1,101	1,100	1,100	1,085	1,085	1,100	1,100	1,101		1,095	0,022
Icond [A]	320	319	318	319	318	327	339	341	335		326	27
Esup [kV/cm]	18,8	19,1	19,2	19,2	18,8	18,8	19,2	19,2	19,1		19,0	0,5

Tabela 6.45: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,174	1,068	0,974	0,938	0,947	1,019	1,112	1,177	0,618		1,003	0,482
Ki	1,063	1,059	1,055	1,051	1,050	1,052	1,057	1,062	1,012		1,051	0,044
Kc	1,105	1,008	0,923	0,892	0,902	0,969	1,053	1,108	0,611		0,952	0,429
Icond [A]	371	345	317	303	302	321	350	370	217		322	134
Esup [kV/cm]	19,3	17,5	16,0	15,4	15,6	16,7	18,3	19,3	10,2		16,5	7,9

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	10

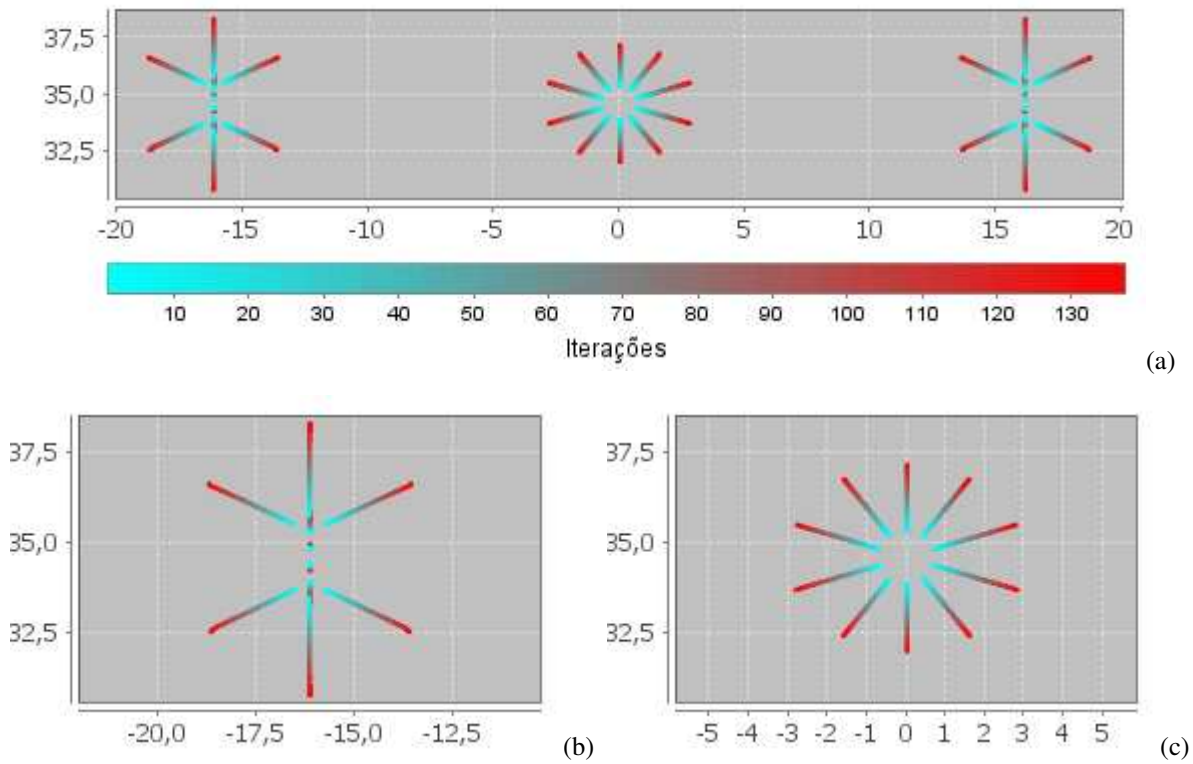

Figura 6.76: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 6-E (121), 1-E (130)

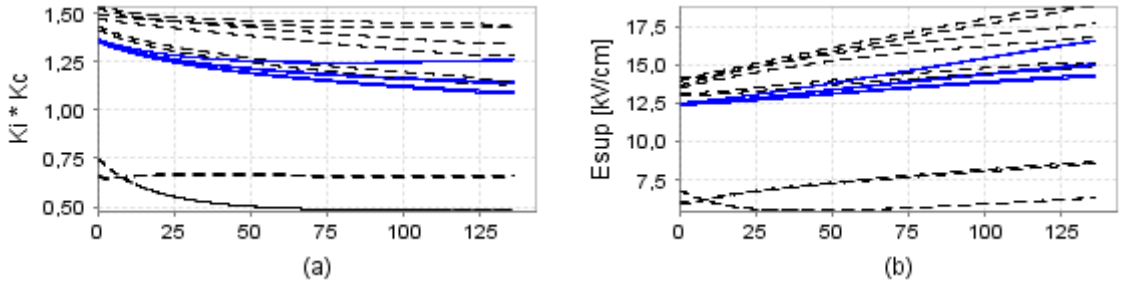

Figura 6.77: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional

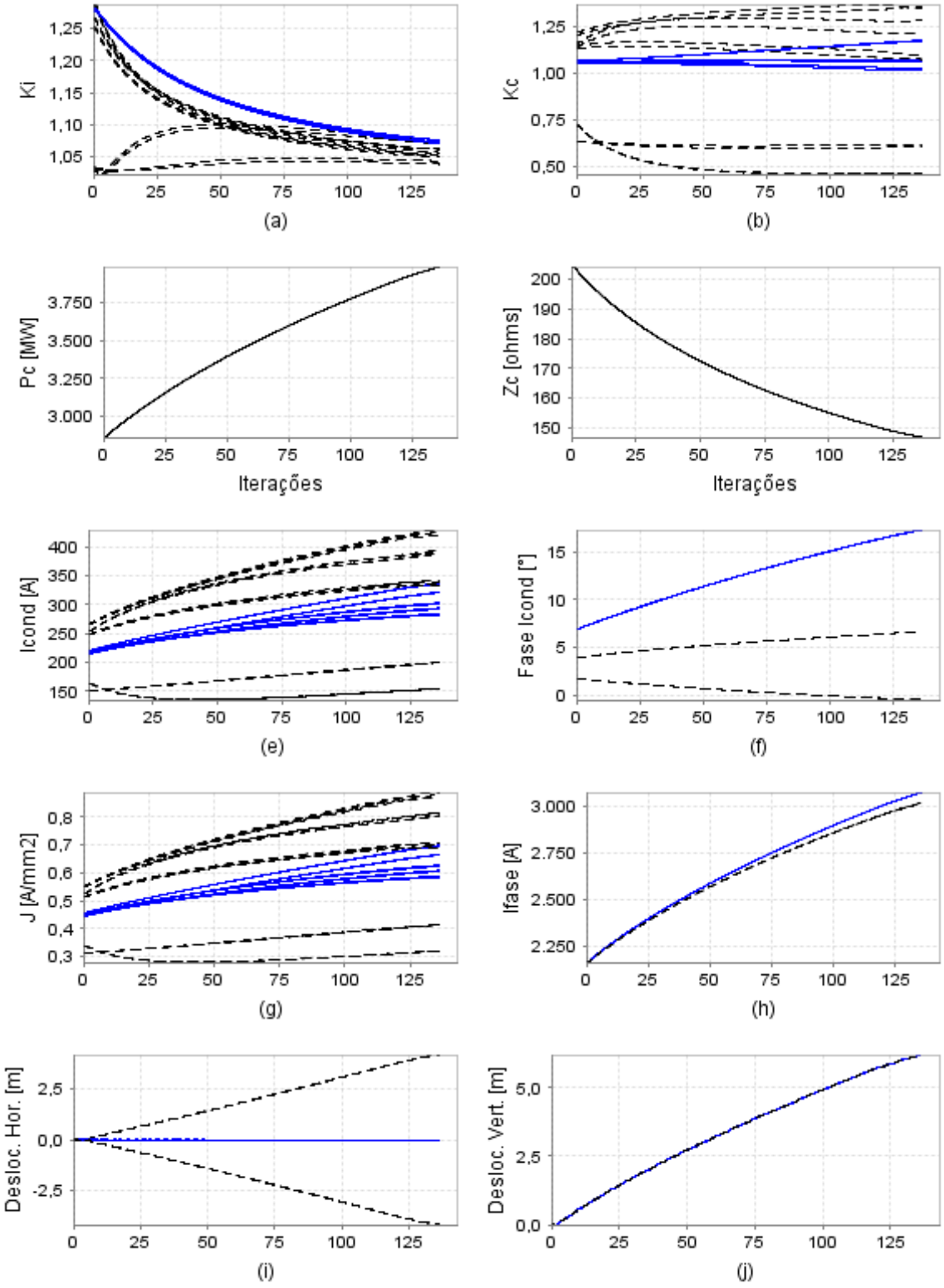

Figura 6.78: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional

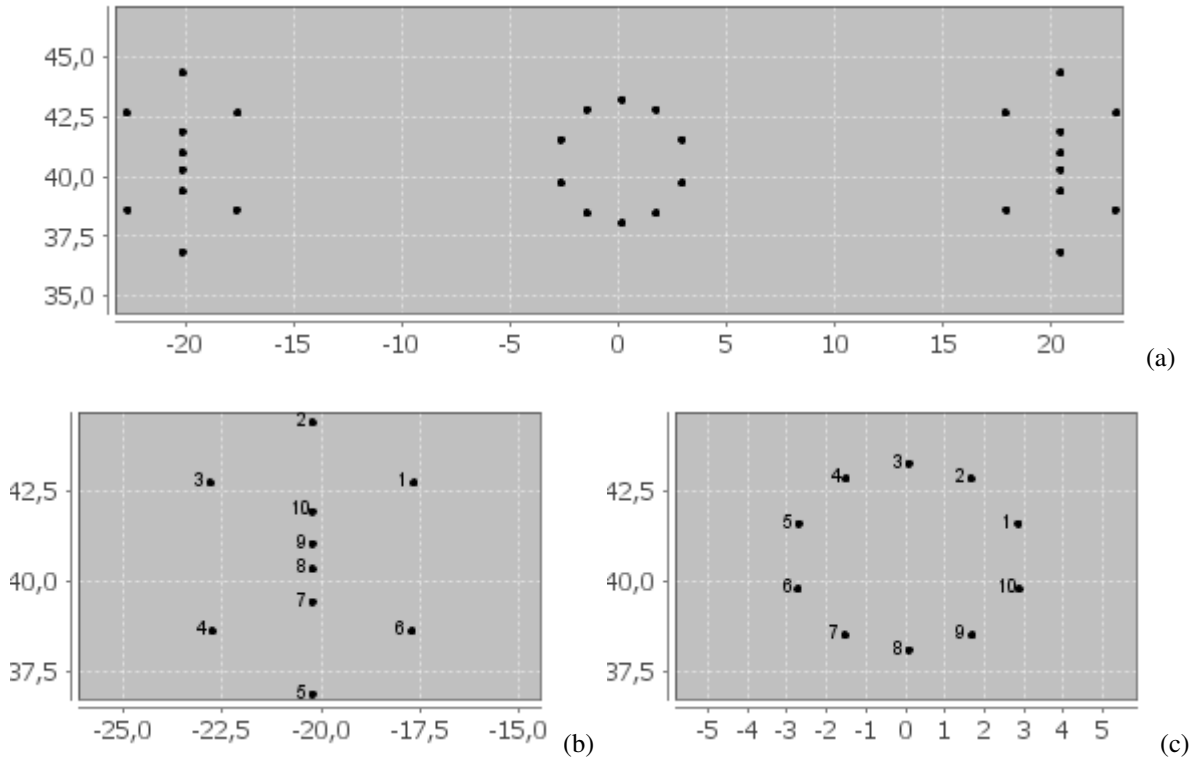

Figura 6.79: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.46: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,259	1,139	1,084	1,139	1,259	1,263	1,149	1,096	1,149	1,263	1,180	0,218
Ki	1,076	1,073	1,071	1,073	1,076	1,076	1,072	1,070	1,072	1,076	1,074	0,007
Kc	1,169	1,061	1,012	1,061	1,169	1,173	1,071	1,024	1,071	1,173	1,099	0,197
Icond [A]	320	292	282	301	336	337	303	284	294	321	307	61
Esup [kV/cm]	16,5	15,0	14,2	15,0	16,5	16,6	15,1	14,4	15,1	16,6	15,5	2,9

Tabela 6.47: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,430	1,281	1,129	1,148	1,347	1,435	0,662	0,484	0,483	0,652	1,005	1,175
Ki	1,062	1,057	1,052	1,050	1,053	1,062	1,071	1,039	1,043	1,076	1,057	0,035
Kc	1,346	1,212	1,074	1,093	1,279	1,351	0,618	0,466	0,463	0,605	0,951	1,109
Icond [A]	424	388	341	338	394	420	199	154	154	199	301	335
Esup [kV/cm]	18,8	16,8	14,8	15,1	17,7	18,8	8,7	6,4	6,3	8,6	13,2	15,4

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	10

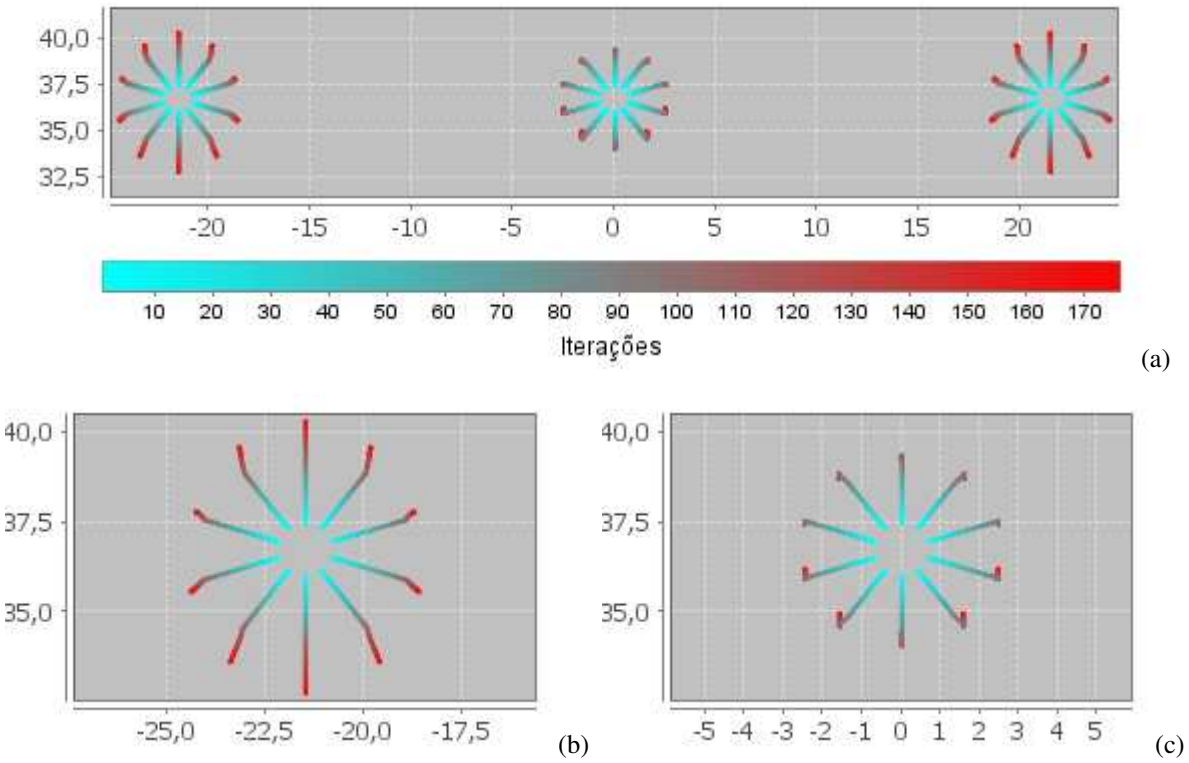

Figura 6.80: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 6-I (85), 10-I (85), 1-I (86), 5-I (86), 7-I (99), 9-I (99), 2-I (102), 4-I (102), 8-I (109), 3-I (125), 10-E (149), 9-E (160)

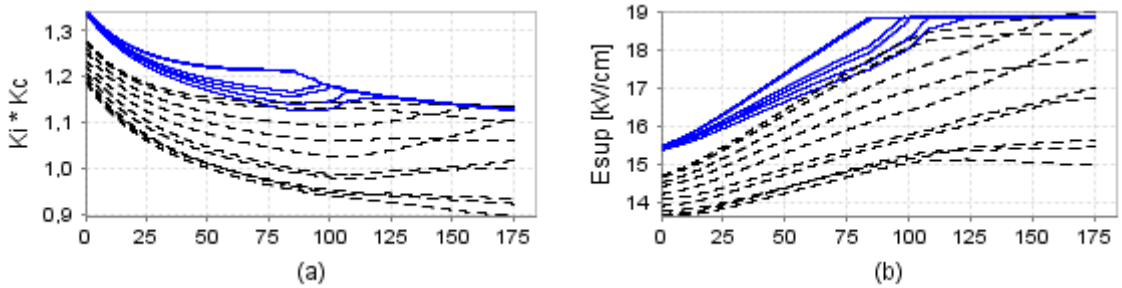

Figura 6.81: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

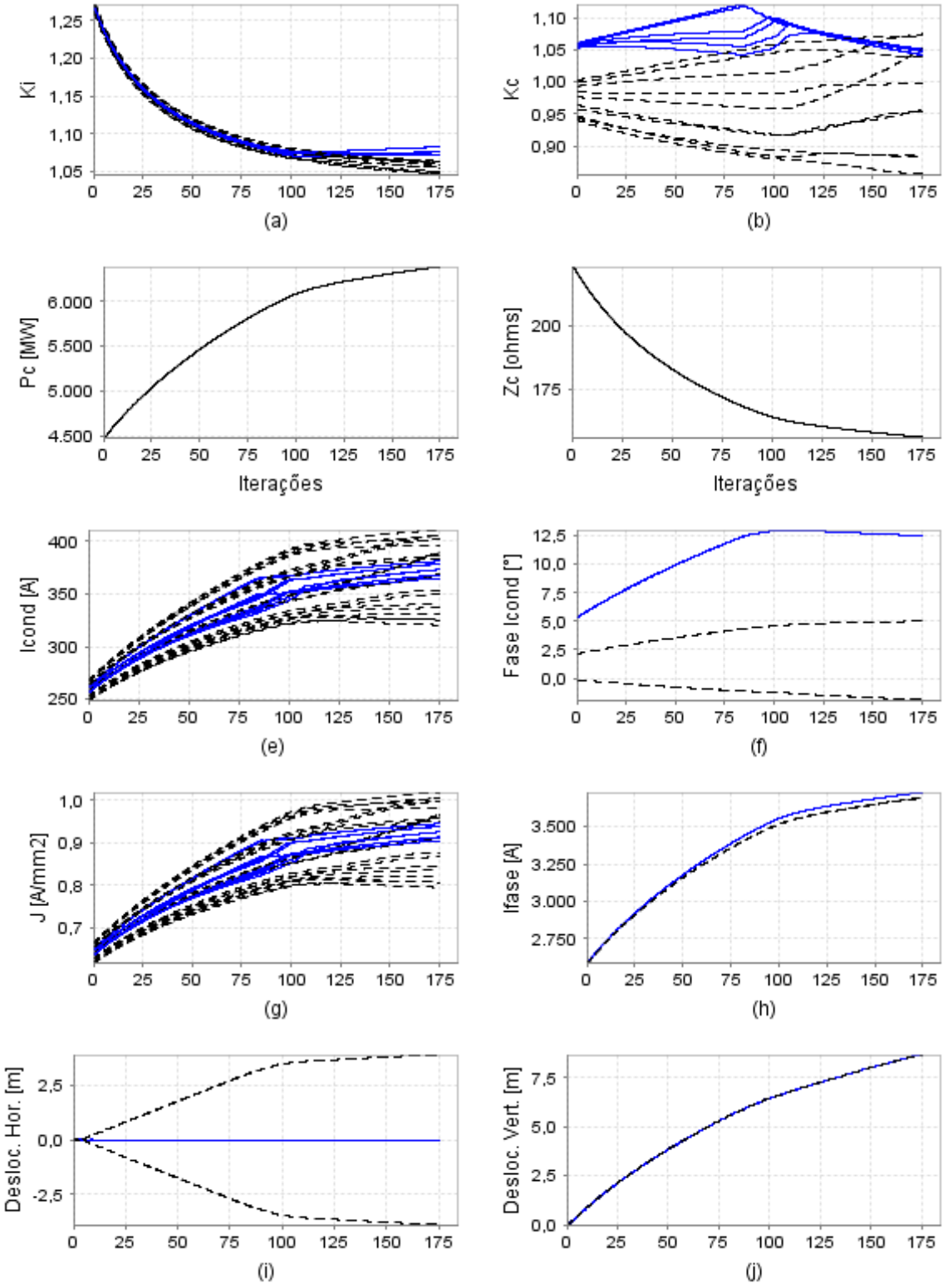

Figura 6.82: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

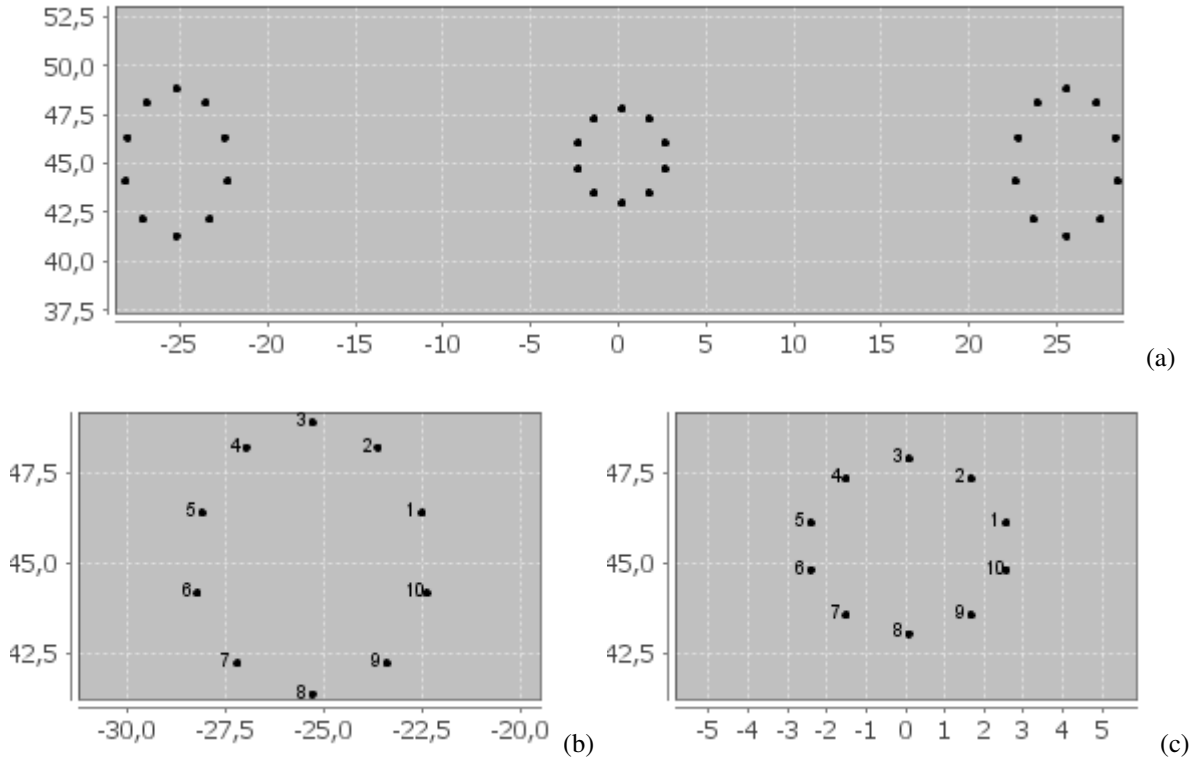

Figura 6.83: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 6.48: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,130	1,128	1,127	1,128	1,130	1,129	1,128	1,127	1,128	1,129	1,128	0,003
Ki	1,083	1,076	1,072	1,076	1,083	1,083	1,076	1,073	1,076	1,083	1,078	0,013
Kc	1,043	1,048	1,051	1,048	1,043	1,043	1,048	1,050	1,048	1,043	1,047	0,010
Icond [A]	365	368	373	378	381	381	379	373	368	365	373	19
Esup [kV/cm]	18,9	18,8	18,8	18,8	18,9	18,9	18,8	18,8	18,8	18,9	18,8	0,1

Tabela 6.49: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,104	1,061	1,017	0,935	0,898	0,924	1,001	1,108	1,137	1,137	1,032	0,272
Ki	1,062	1,064	1,064	1,055	1,049	1,047	1,050	1,056	1,059	1,061	1,057	0,019
Kc	1,040	0,997	0,956	0,886	0,857	0,883	0,953	1,050	1,074	1,072	0,977	0,247
Icond [A]	396	383	368	340	325	330	354	389	402	405	369	91
Esup [kV/cm]	18,4	17,7	17,0	15,6	15,0	15,4	16,7	18,5	19,0	19,0	17,2	4,5

6.5.3- Análise consolidada dos resultados

Nesta seção é apresentada a análise e comparação entre todas as configurações de linhas de transmissão obtidas ao final do processo de otimização da reatância externa, colocando tais resultados em paralelo com as configurações obtidas na iteração em que ocorre a ativação da primeira restrição e com aquelas dadas na iteração em que o ganho de potência característica corresponde a 50 % do ganho final do processo.

As configurações são comparadas em termos da relação entre a potência característica e o produto $n_s \cdot (2r)$, ou seja, número de subcondutores vezes o diâmetro dos subcondutores. Tal produto é proporcional à área da superfície total dos subcondutores de cada feixe, portanto, o gráfico reflete o uso da superfície total condutora do feixe. Outra comparação feita é dada em termos da seção condutora total do feixe, parâmetro que reflete o uso de material condutor e está diretamente relacionado à densidade de corrente característica. Também são comparadas as soluções em termos do peso total do feixe, fator importante no projeto mecânico da linha.

São comparadas a altura e a largura dos feixes externos, que são parâmetros para a avaliação da dimensão dos feixes. A altura é dada pela maior diferença entre as posições verticais (*y*) de dois subcondutores do mesmo feixe e a largura é dada pela maior diferença entre as posições horizontais (*x*), assim, ambas dimensionam o menor retângulo paralelo ao nível do solo que enquadra todos os subcondutores do feixe. A área de tal retângulo também é uma variável de comparação entre os casos analisados.

6.5.3.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Na Figura 6.84 estão dispostos todos os casos de otimização da reatância externa sem simetria vertical dos feixes. É possível perceber a tendência de variação aproximadamente quadrática da potência característica com relação à tensão de operação. Para um mesmo nível de tensão, a variação de potência característica se dá em duas partes: a primeira mostra uma variação aproximadamente linear e de inclinação maior para os maiores níveis de tensão, a segunda mostra o estabelecimento da potência característica em patamares que indicam que a mesma não deve crescer a partir de uma dada superfície total de condução.

A primeira parte é bastante intuitiva, uma vez que o aumento da superfície total de condução proporciona a possibilidade de se elevar o carregamento da linha, a menos da irregularidade do campo elétrico superficial e da redução do campo elétrico crítico que ocorre em condutores com maior diâmetro.

Na segunda parte deve-se tomar o devido cuidado para evitar conclusões erradas. Existe sim uma tendência de saturação da potência característica com o aumento da superfície total condutora do feixe, observada em alguns conjuntos de casos, porém, uma grande parte dos casos que aparenta tal saturação deve-se na verdade à interrupção do processo de otimização pela limitação do número de iterações fixado. A identificação de tais casos pode ser feita pela correspondência da Figura 6.84 com a Figura 6.85 a qual mostra a mesma informação referente às configurações obtidas até a ativação da primeira restrição. Os casos omitidos em neste último gráfico são aqueles em que não houve ativação de restrição alguma e, portanto, um patamar de potência característica definido pelos casos correspondentes no primeiro gráfico deve-se somente à interrupção do processo de otimização por ter atingido o limite de iterações estabelecido.

A comparação entre os dois gráficos acima mencionados fornece a diferença de potência característica desde a ativação da primeira restrição até o final do processo, a qual corresponde ao ganho de potência característica com a execução do método do gradiente projetado (problema restrito). O segundo gráfico, em relação ao primeiro, mostra menor inclinação na tendência de elevação da potência característica e menor dispersão na distribuição dos pontos e, conforme foi explicado, não exibe os patamares observados na primeira.

Como a otimização da reatância externa tem tendência oposta à uniformização na distribuição de carga elétrica, observa-se que o método do gradiente projetado tem importância significativa no ganho de potência característica. Isto porque ao ser ativada a primeira restrição a configuração normalmente encontra-se com má distribuição do carregamento elétrico e a atuação do gradiente projetado tende a uniformizar tal distribuição, permitindo maior ganho de potência característica através do aumento no carregamento dos subcondutores que estariam subutilizados.

A Figura 6.86 mostra a mesma relação entre configurações obtidas a 50 % do ganho final de potência característica. Existe redução significativa na inclinação da tendência do aumento de potência característica em comparação com a Figura 6.84, o que mostra maior ganho de potência característica quando a superfície condutora total é maior, ou seja, há um potencial maior para o aumento do aproveitamento da superfície dos condutores quando a superfície total do feixe é maior. No entanto, a formação dos patamares mencionados degrada o ganho obtido ao final do

processo de otimização, formando uma região de baixo aproveitamento da superfície total condutora quando o número de subcondutores é elevado. Característica semelhante é observada na comparação entre a Figura 6.84 e a Figura 6.85.

A Figura 6.87 mostra a relação entre Pc e a seção total condutora dos feixes onde se observa que não há uma correlação forte entre as duas variáveis. Isto porque a seção condutora varia com o quadrado do diâmetro dos condutores enquanto que a superfície condutora varia linearmente, e esta sim tem correlação mais forte com a potência característica. A Figura 6.88 e a Figura 6.89 mostram a mesma relação para as configurações obtidas à ativação da primeira restrição e a 50% do ganho de potência característica, respectivamente, e têm comportamento semelhante. Comportamento semelhante também é observado na Figura 6.90, na Figura 6.91 e na Figura 6.92, onde se relacionam Pc e peso total dos feixes por unidade de comprimento.

A Figura 6.93 e a Figura 6.96 mostram a distribuição da largura e da altura dos feixes externos das configurações finais em relação à potência característica, ambas evidenciam a tendência de aumento do feixe para maiores valores de potência característica, porém com uma dispersão elevada entre os casos se comparada aos resultados obtidos até a ativação da primeira restrição, cujas dimensões são mostradas na Figura 6.94 e na Figura 6.97. Tal fato se deve à grande variedade de geometrias obtidas com a execução do método de otimização com o gradiente projetado em contraste com a forte semelhança entre as configurações obtidas com o método do gradiente irrestrito.

Ainda na Figura 6.94 e na Figura 6.97 pode-se observar também que o aumento da potência característica com o aumento das dimensões do feixe externo é maior para tensões maiores e para linhas compactas.

A Figura 6.95 e a Figura 6.98 mostram as mesmas curvas para as configurações obtidas a 50 % do ganho final de potência característica. A constatação mais evidente é a grande diferença nas dimensões dos feixes em relação às configurações finais, às quais apresentam feixes que ultrapassam 10 m de largura ou altura. Já aquelas apresentam dimensões moderadas, de até 4,5 m, ainda que tais dimensões estejam além daquelas praticadas atualmente.

Os demais gráficos desta seção permitem uma análise dos mesmos parâmetros anteriormente analisados, porém detalhada para o nível de tensão de operação de 765 kV, mostrando as tendências particulares para diferentes números de subcondutores por feixe, as quais se enquadram nas características gerais até aqui mencionadas. Os gráficos mostram ainda que, enquanto que a potência característica das linhas com distância convencional entre fases fica

bastante limitada pelas restrições (consequentemente limitando o aproveitamento da superfície total condutora), as linhas compactas têm um aumento significativo, sendo limitadas em potência característica muito superior.

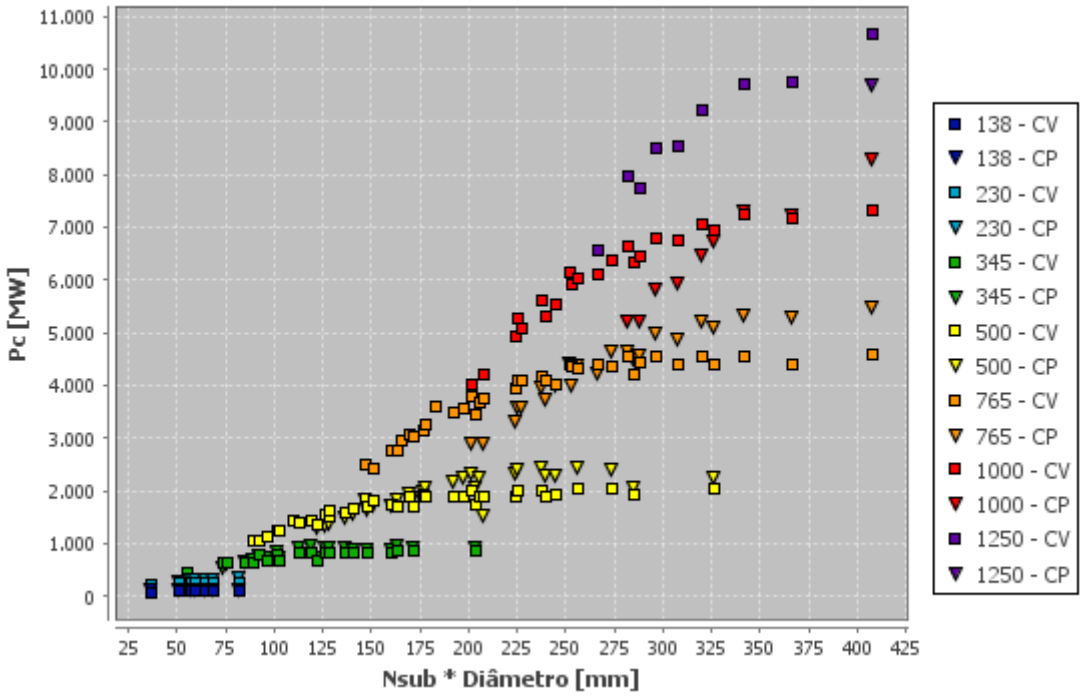

Figura 6.84: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

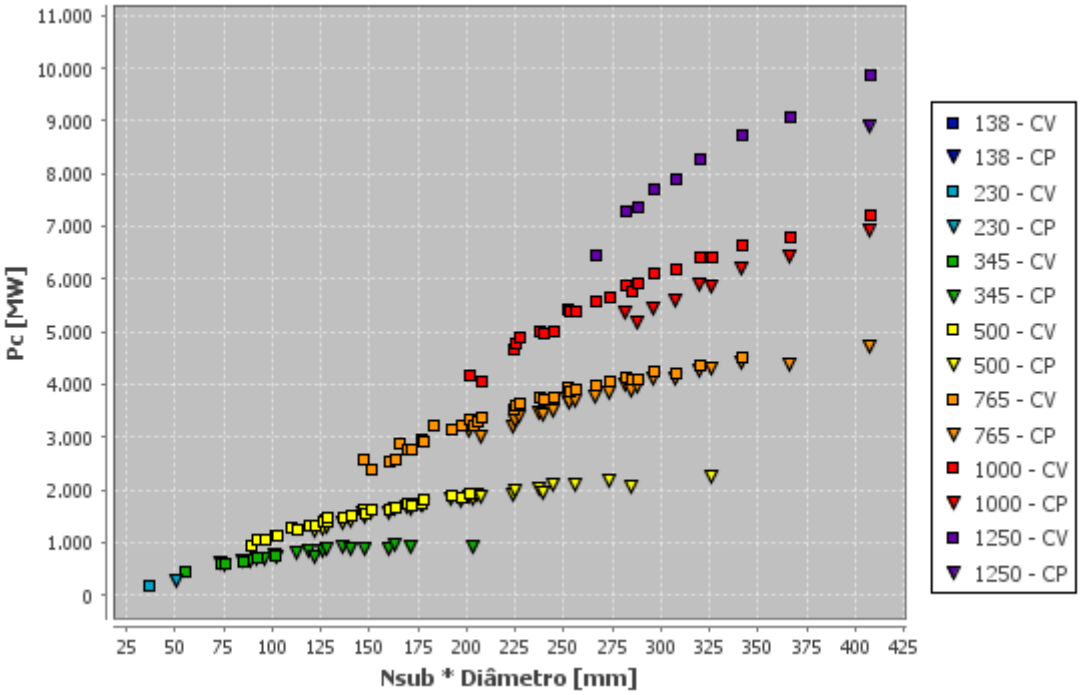

Figura 6.85: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

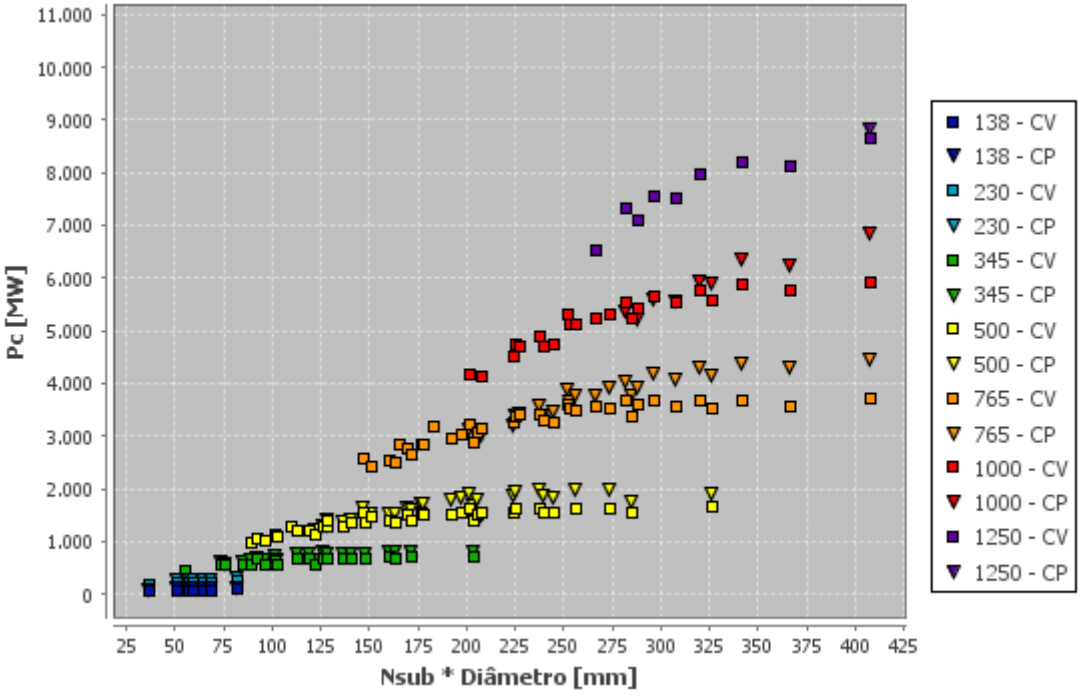

Figura 6.86: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

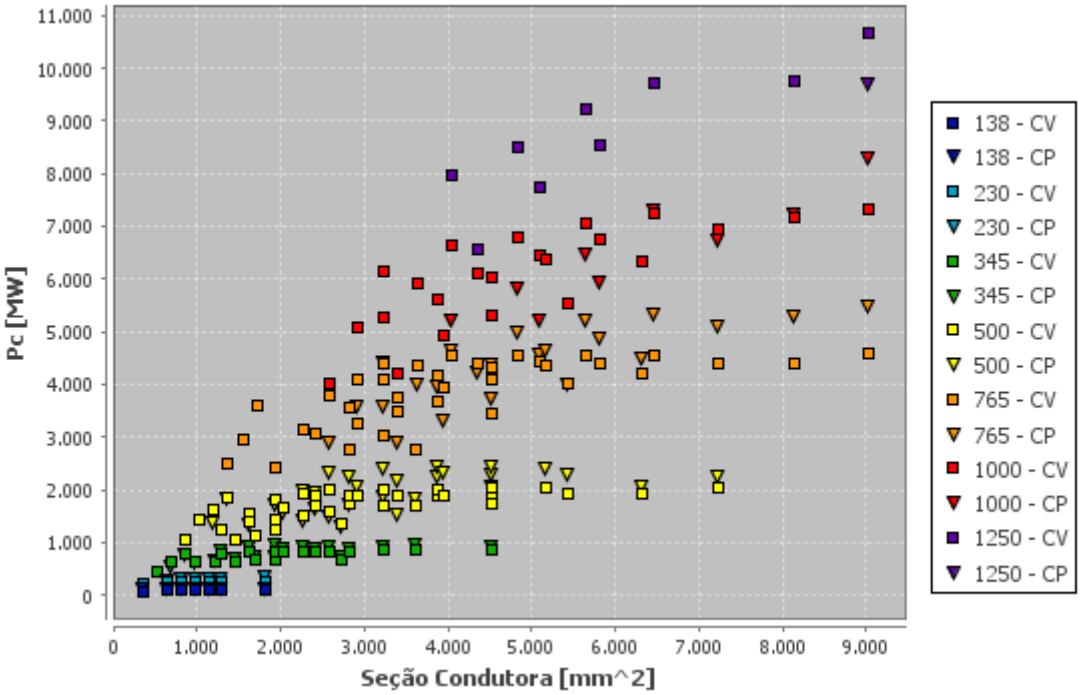

Figura 6.87: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

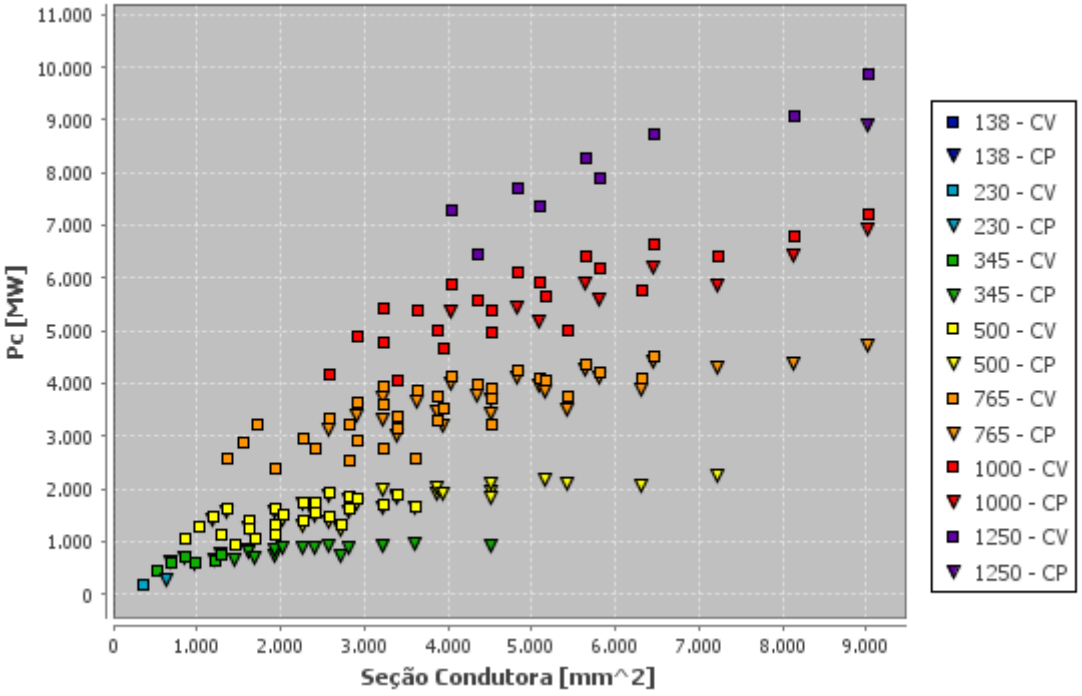

Figura 6.88: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

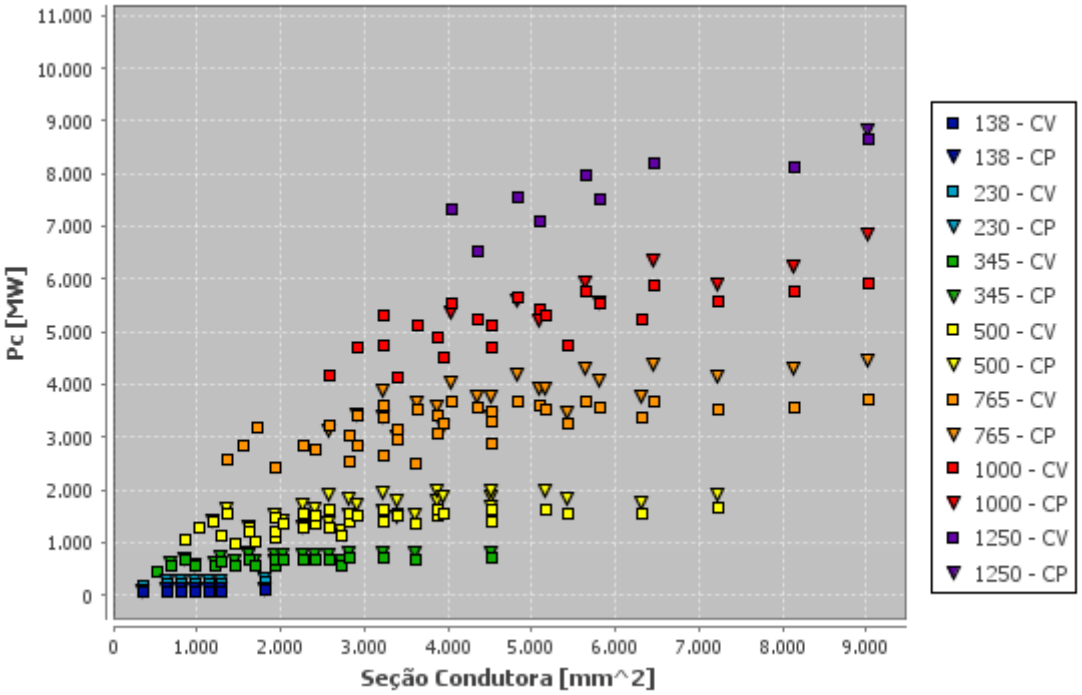

Figura 6.89: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

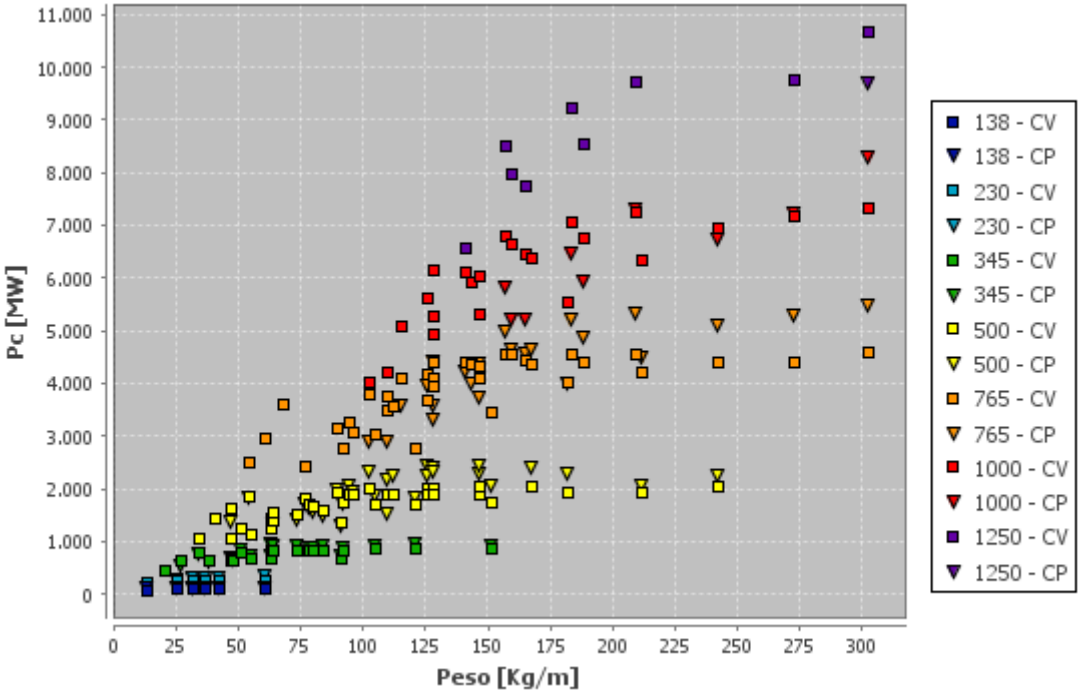

Figura 6.90: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

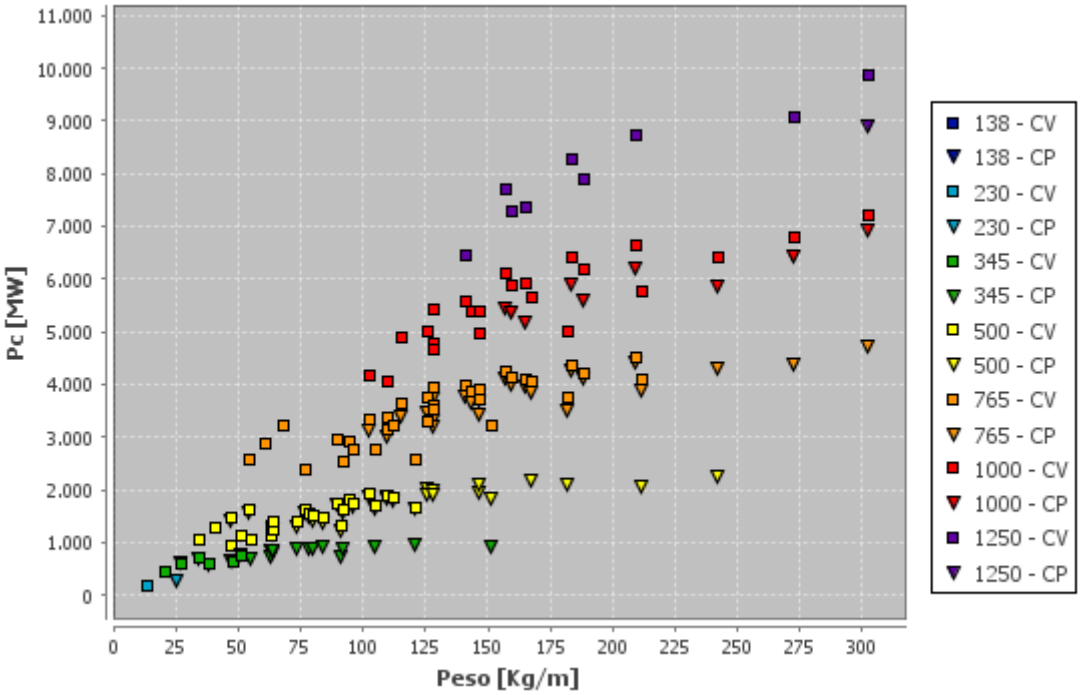

Figura 6.91: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

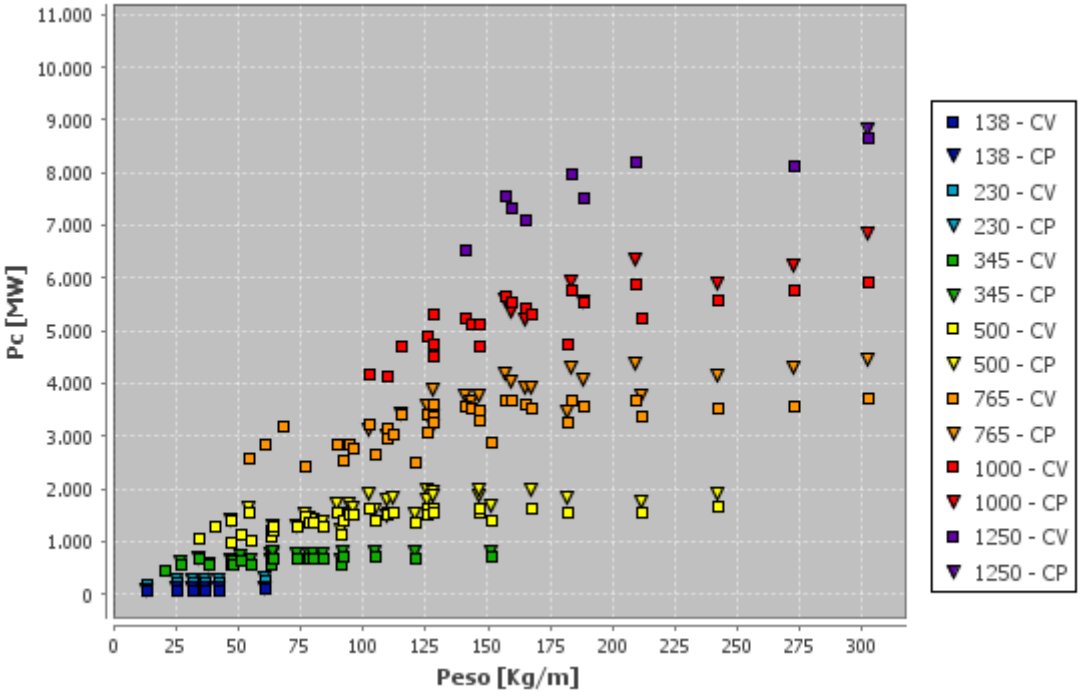

Figura 6.92: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

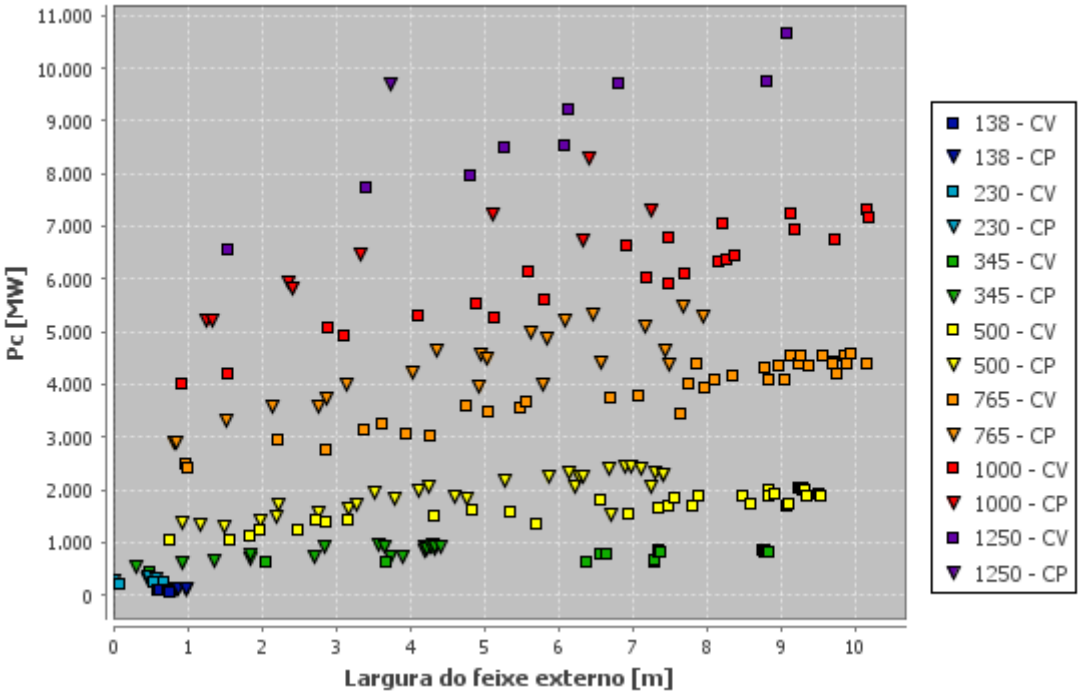

Figura 6.93: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

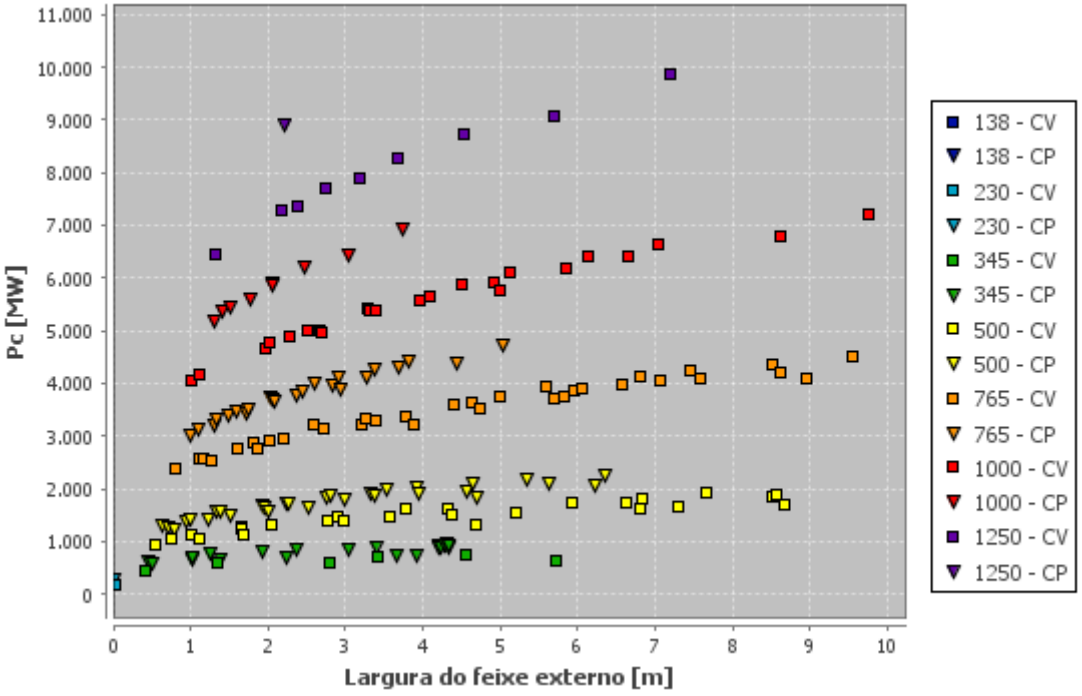

Figura 6.94: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

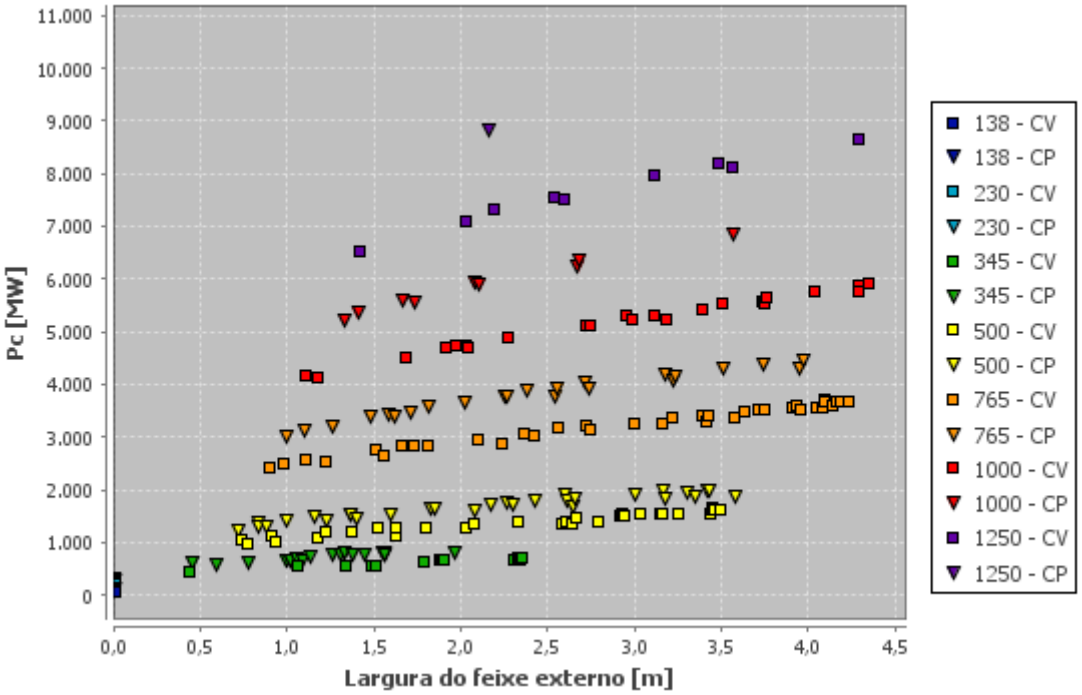

Figura 6.95: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

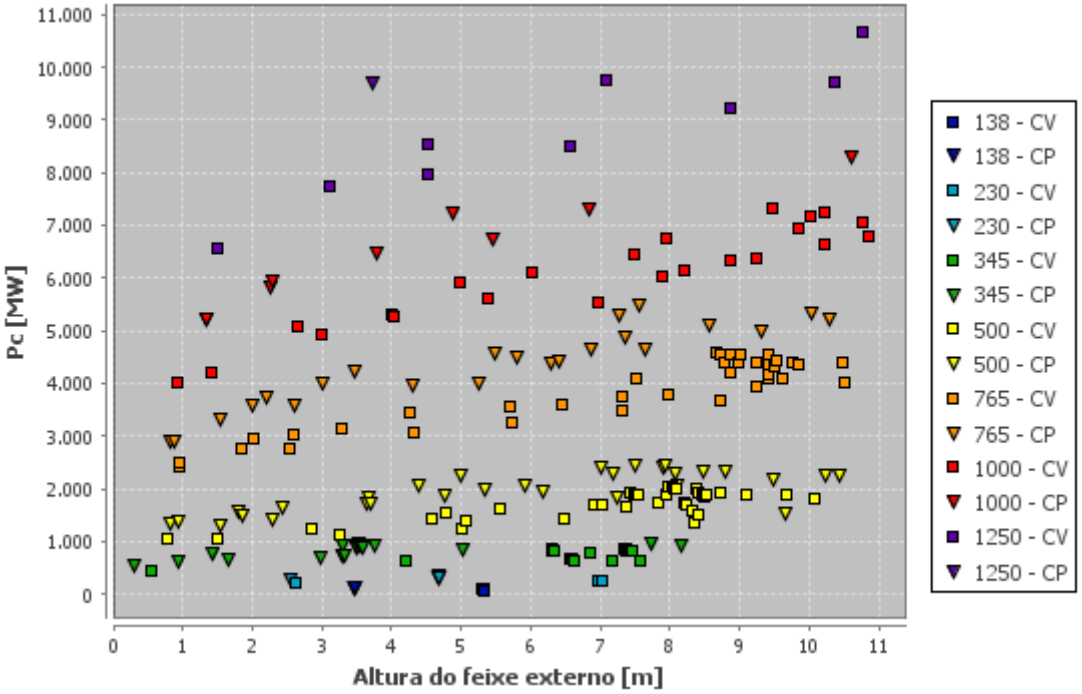

Figura 6.96: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

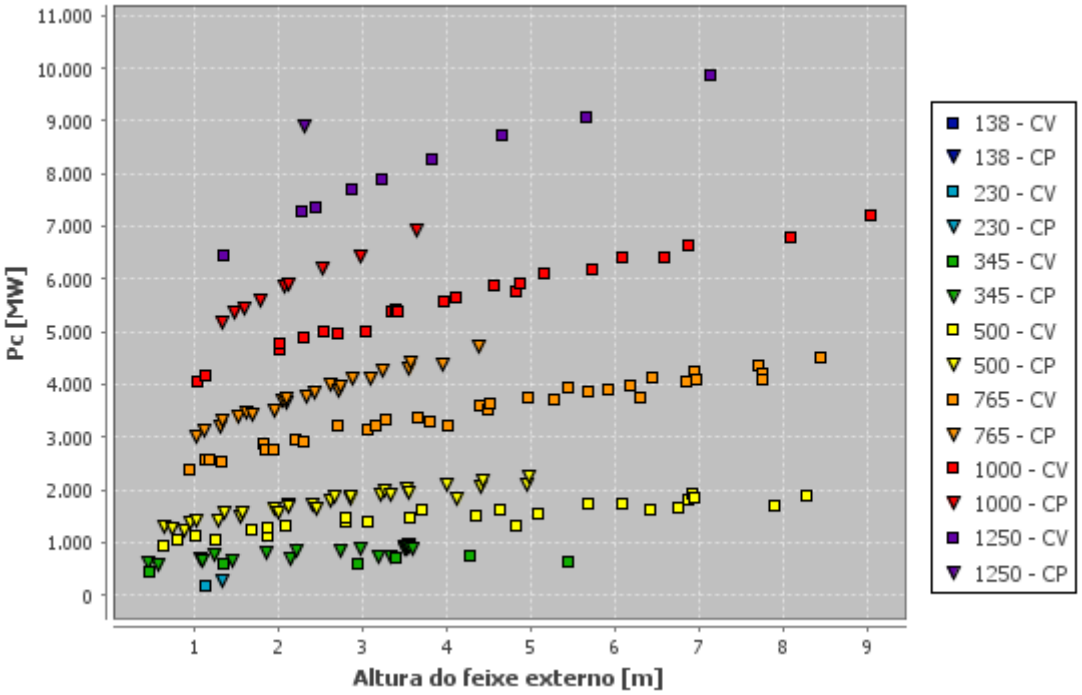

Figura 6.97: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

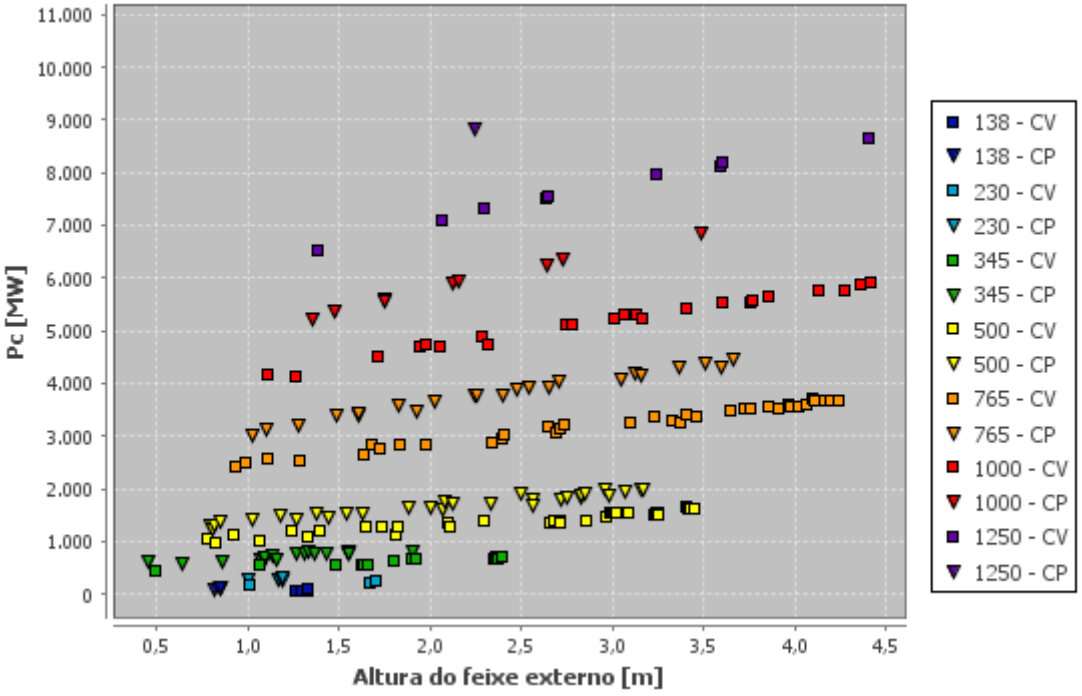

Figura 6.98: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

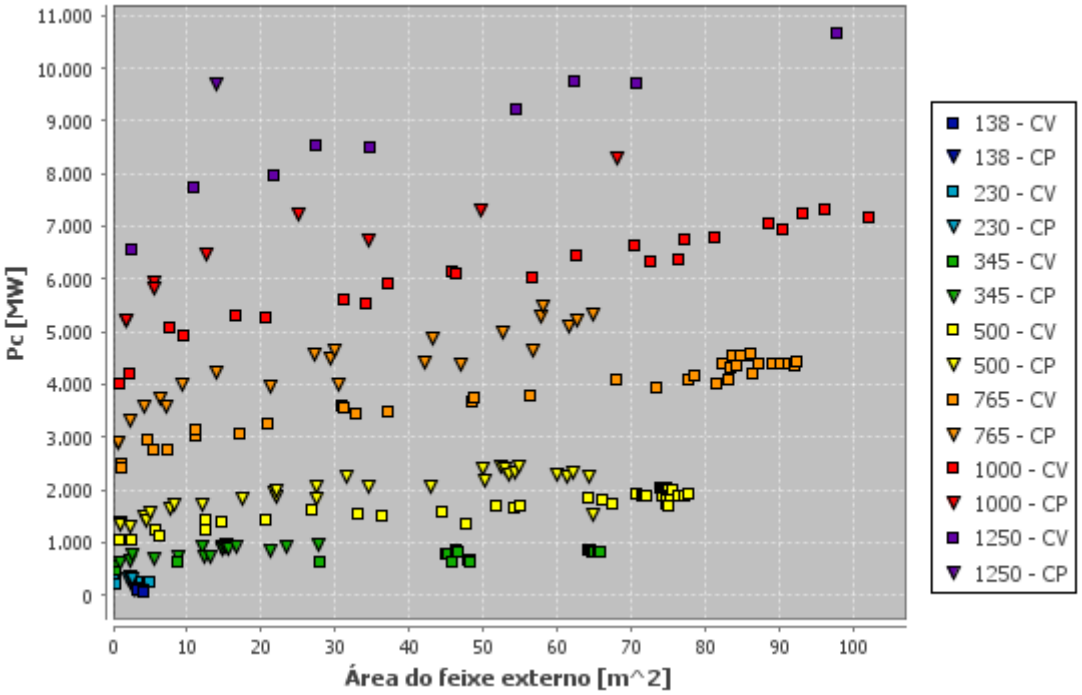

Figura 6.99: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

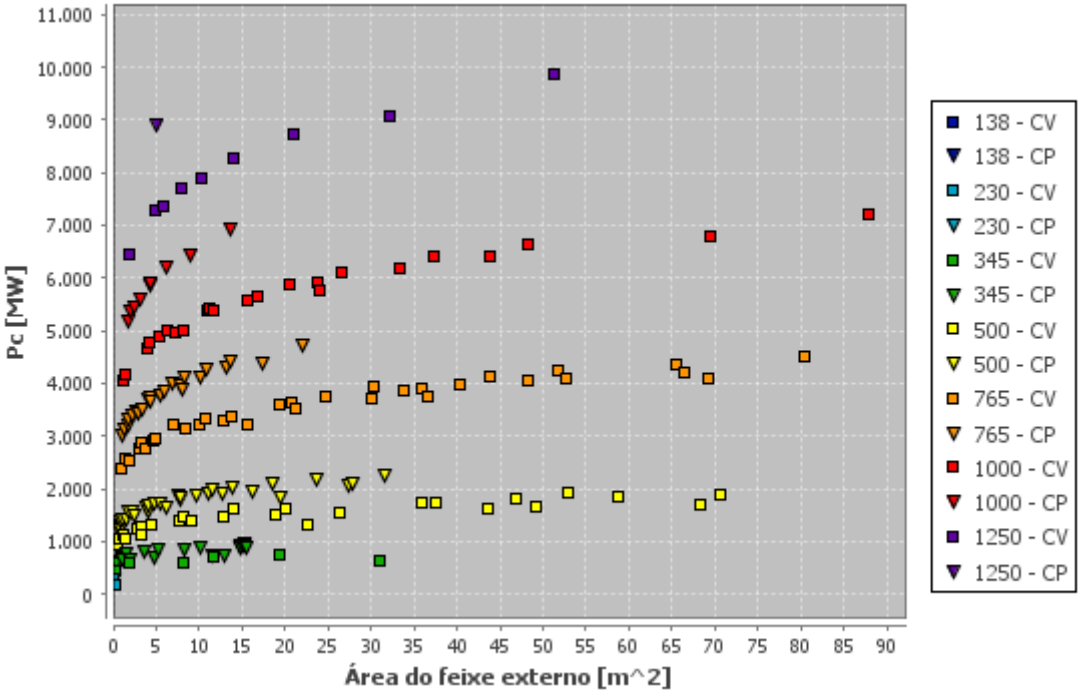

Figura 6.100: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

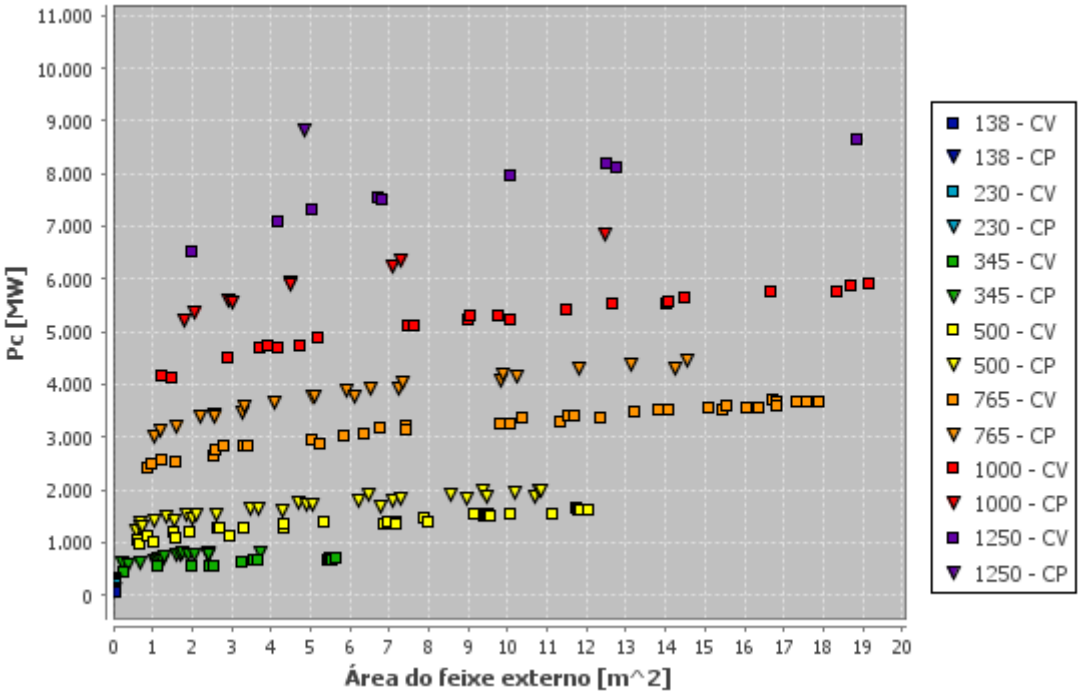

Figura 6.101: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

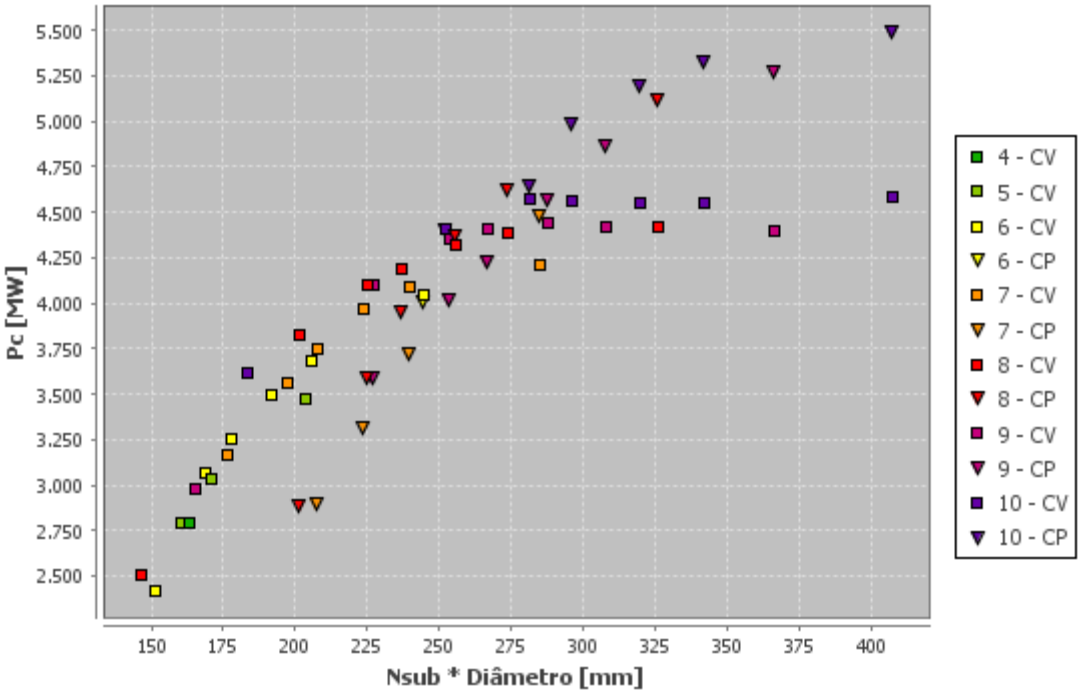

Figura 6.102: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

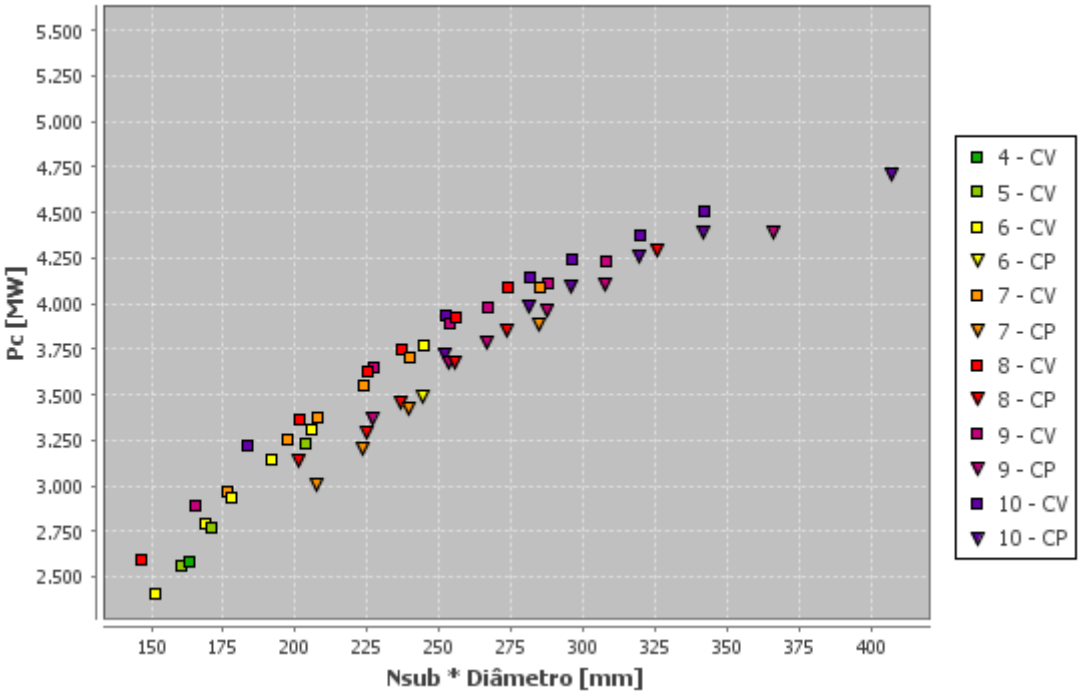

Figura 6.103: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

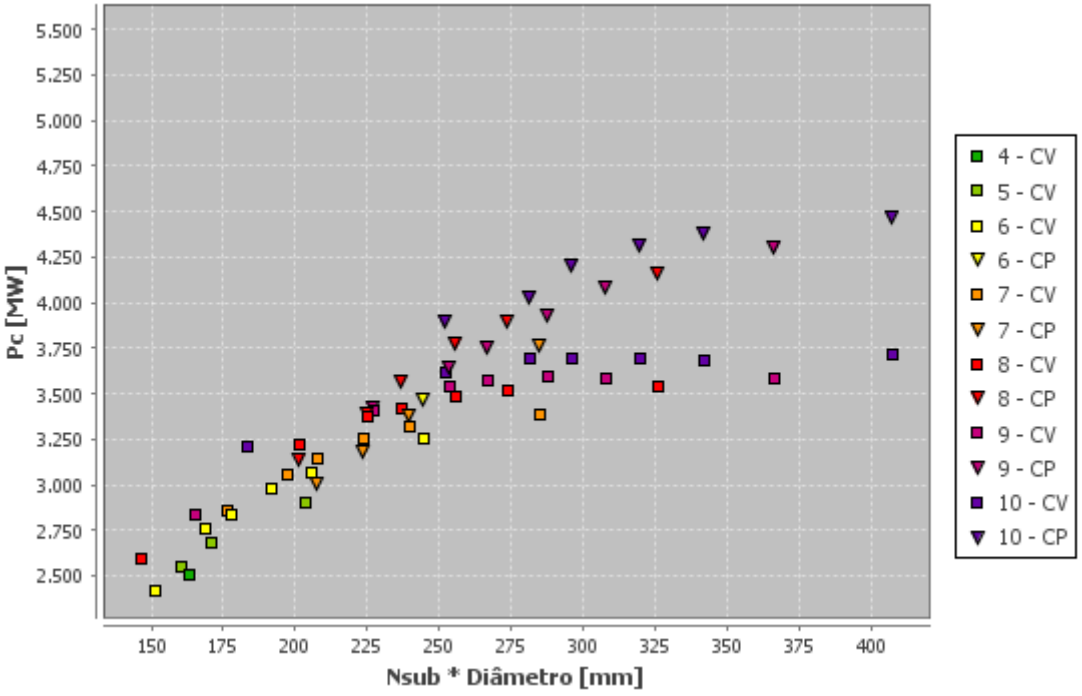

Figura 6.104: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

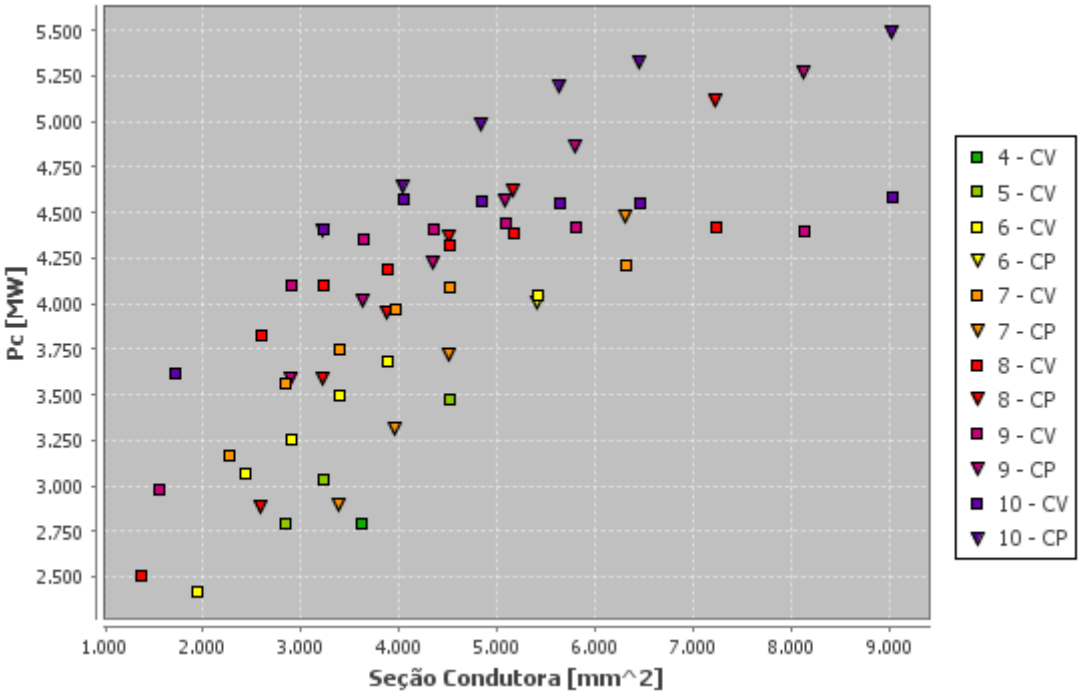

Figura 6.105: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

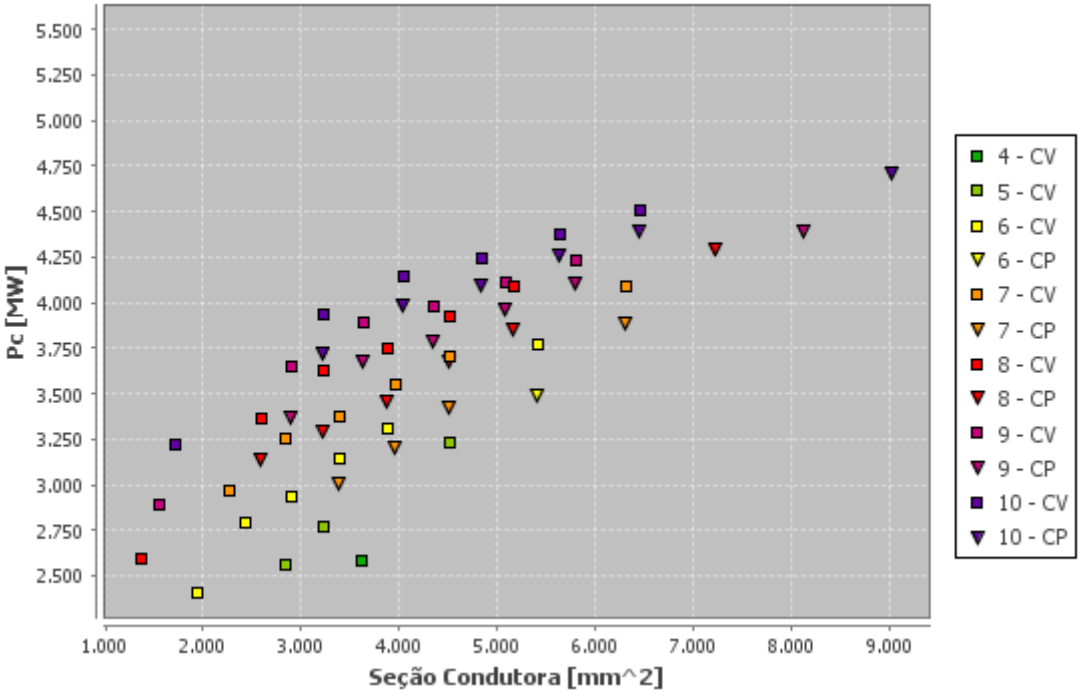

Figura 6.106: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

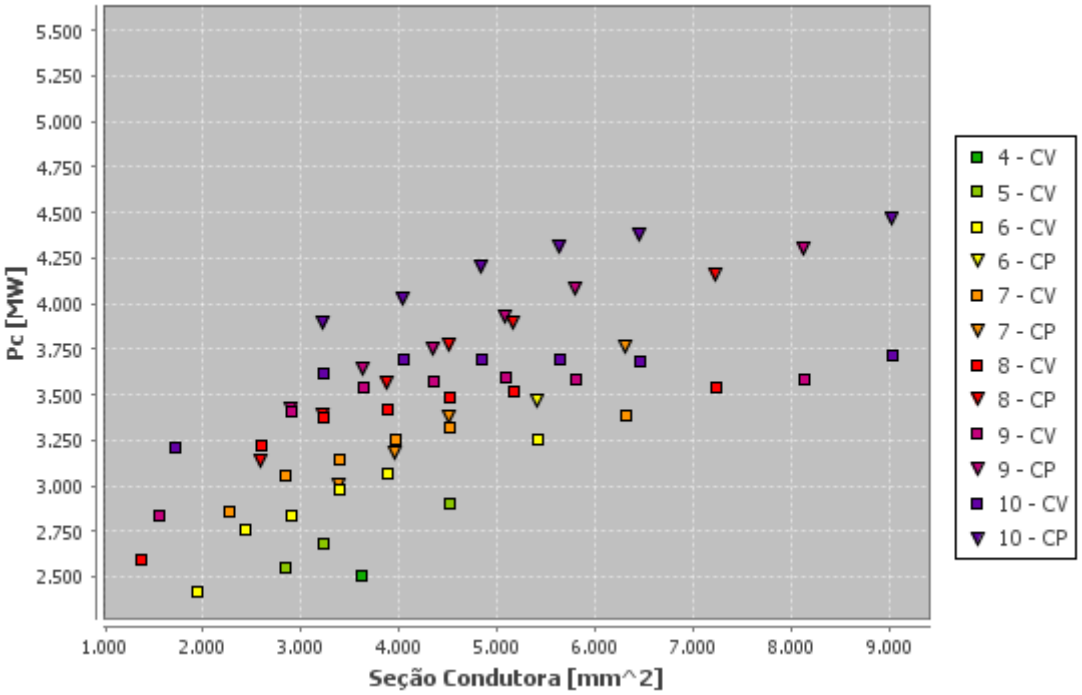

Figura 6.107: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

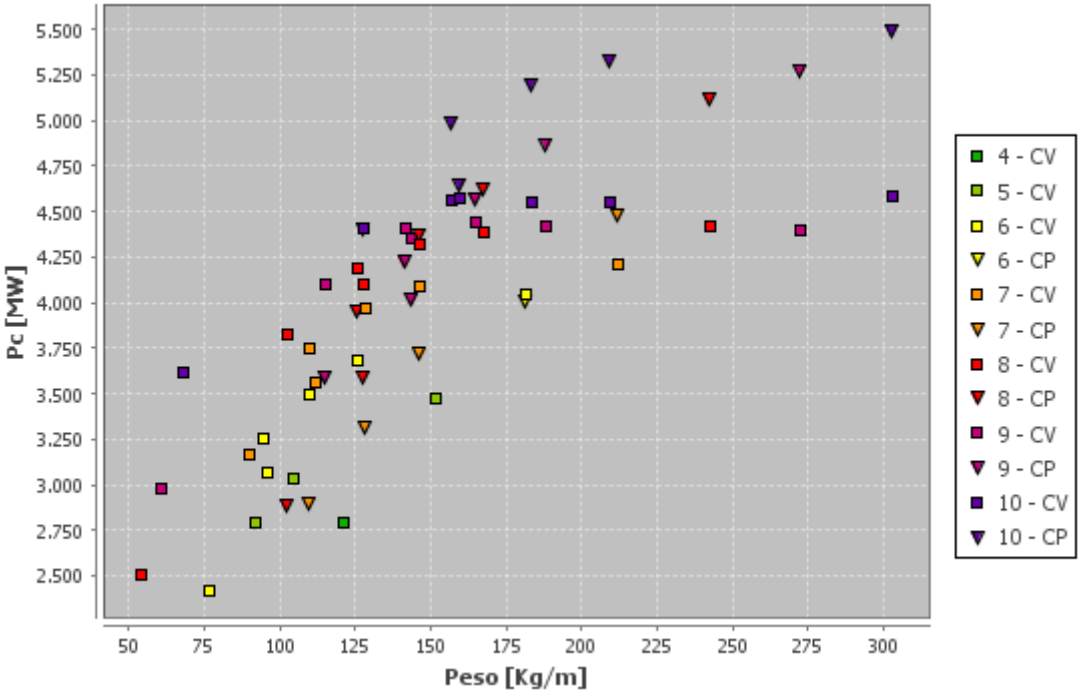

Figura 6.108: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

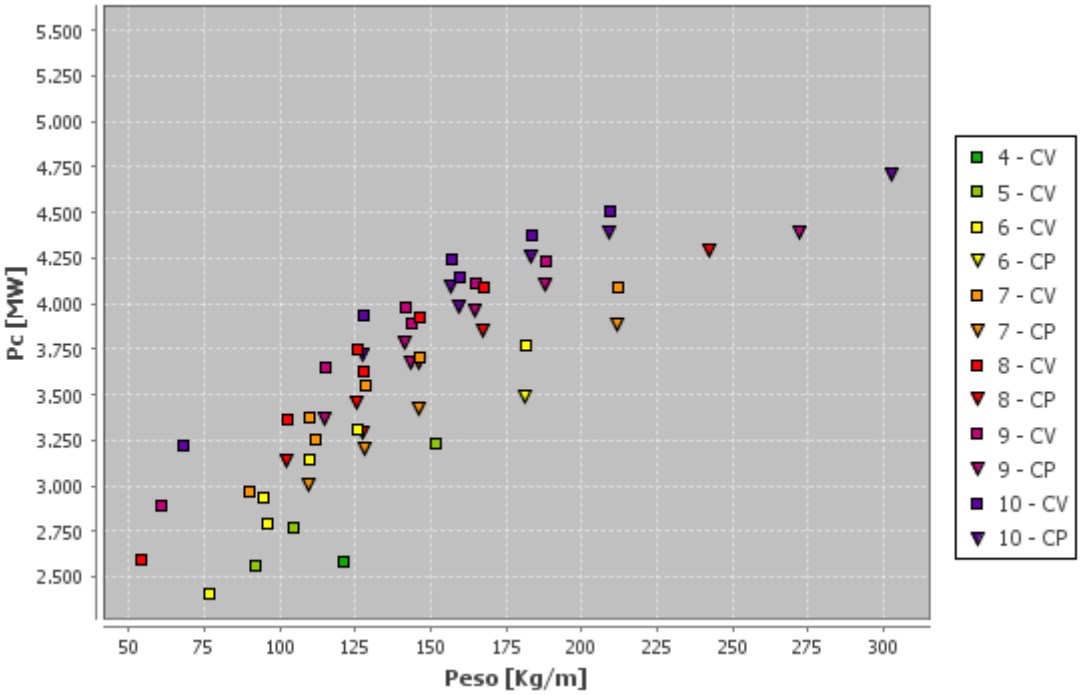

Figura 6.109: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

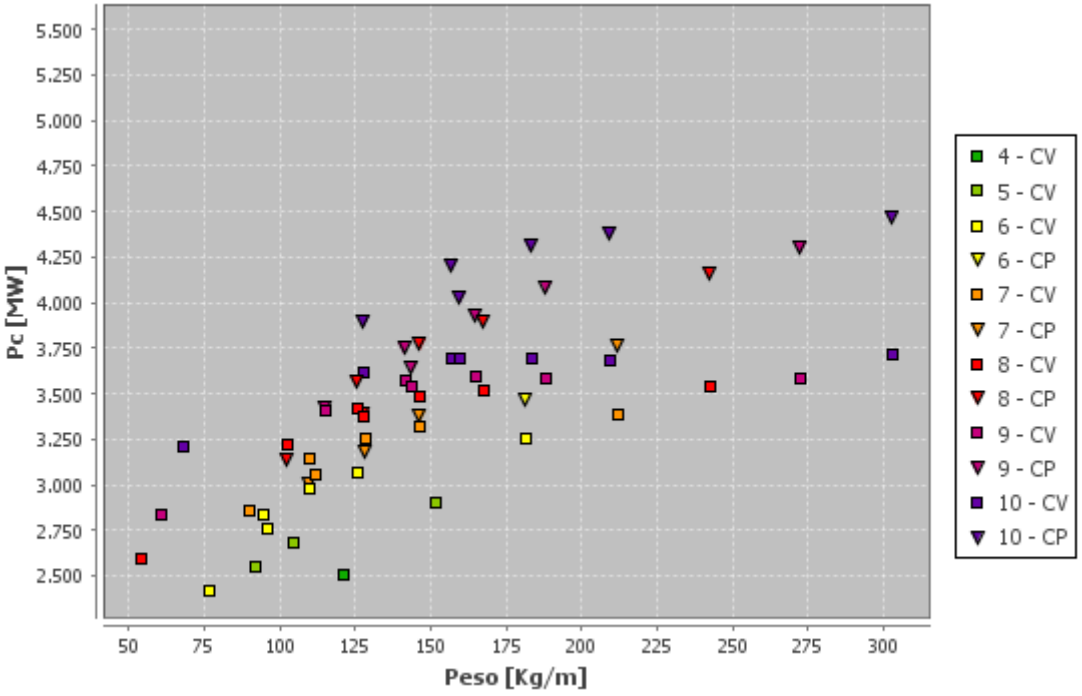

Figura 6.110: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

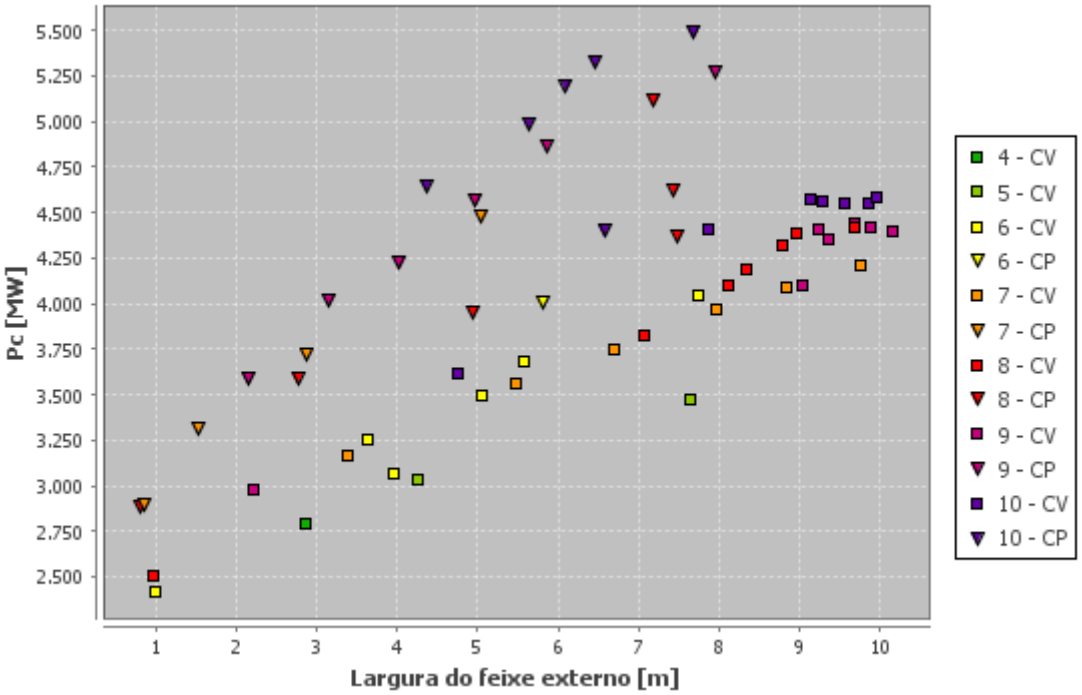

Figura 6.111: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

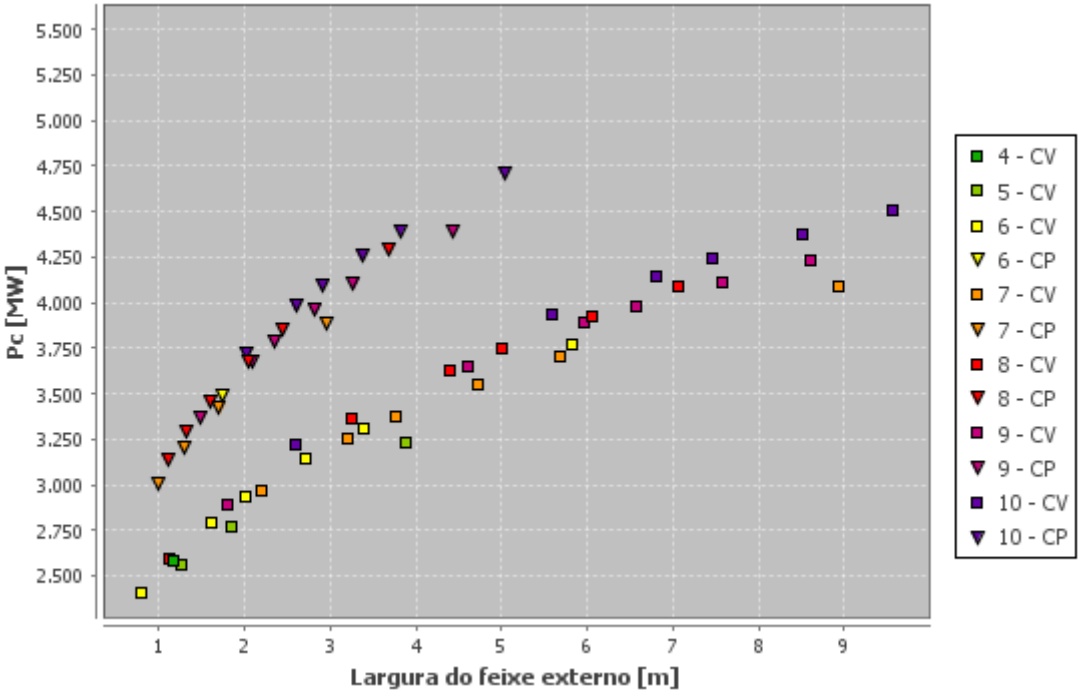

Figura 6.112: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

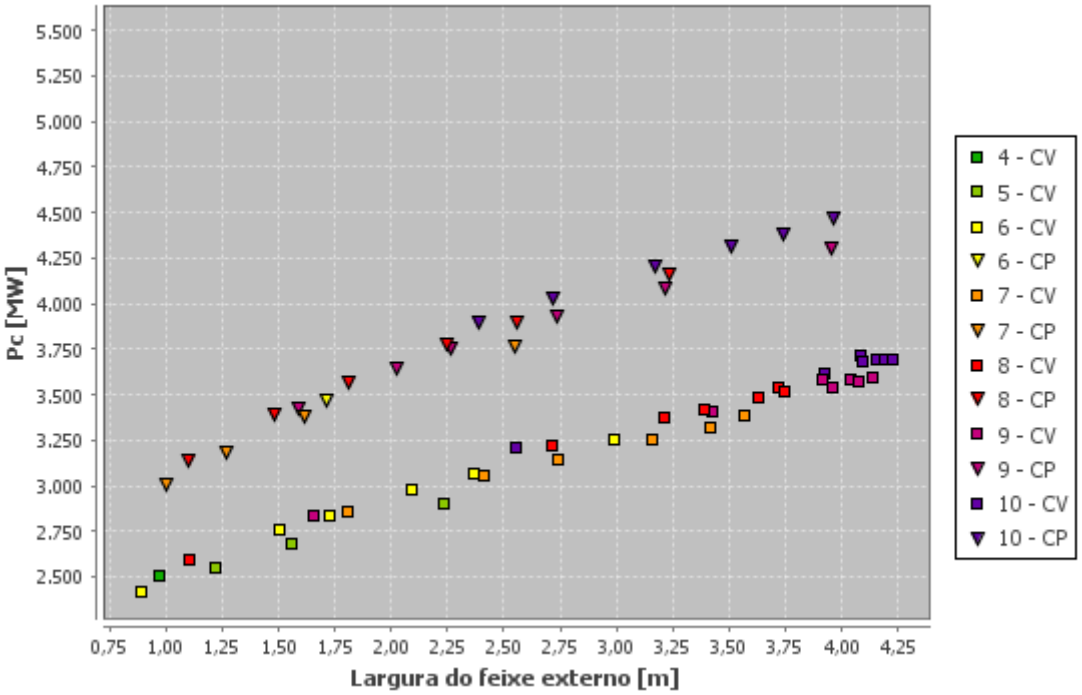

Figura 6.113: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

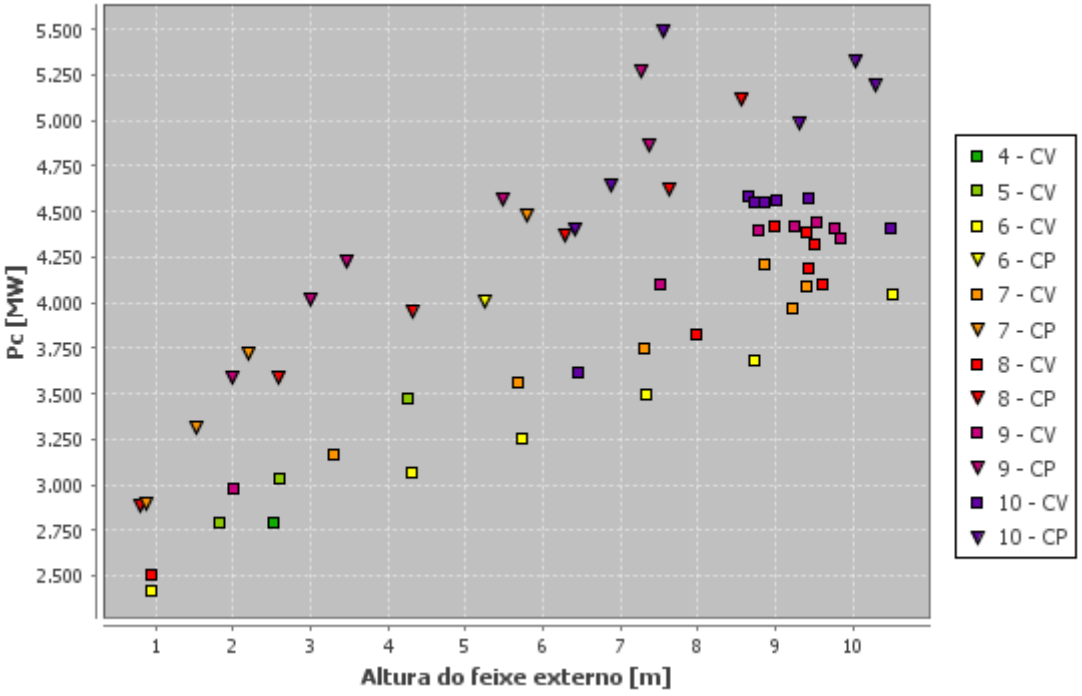

Figura 6.114: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

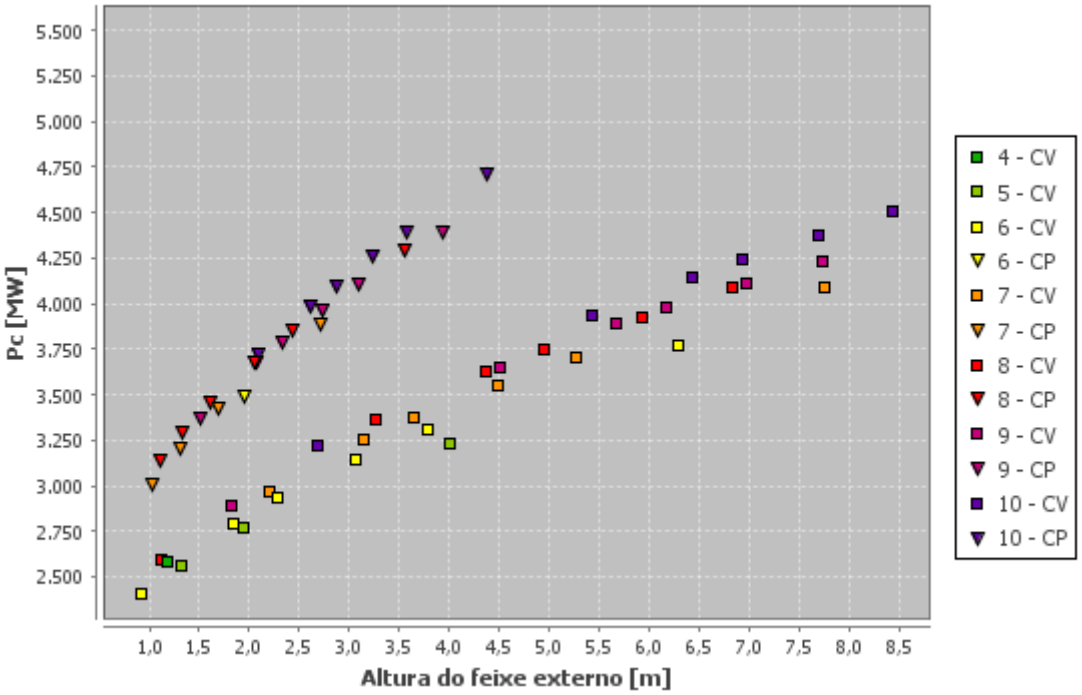

Figura 6.115: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

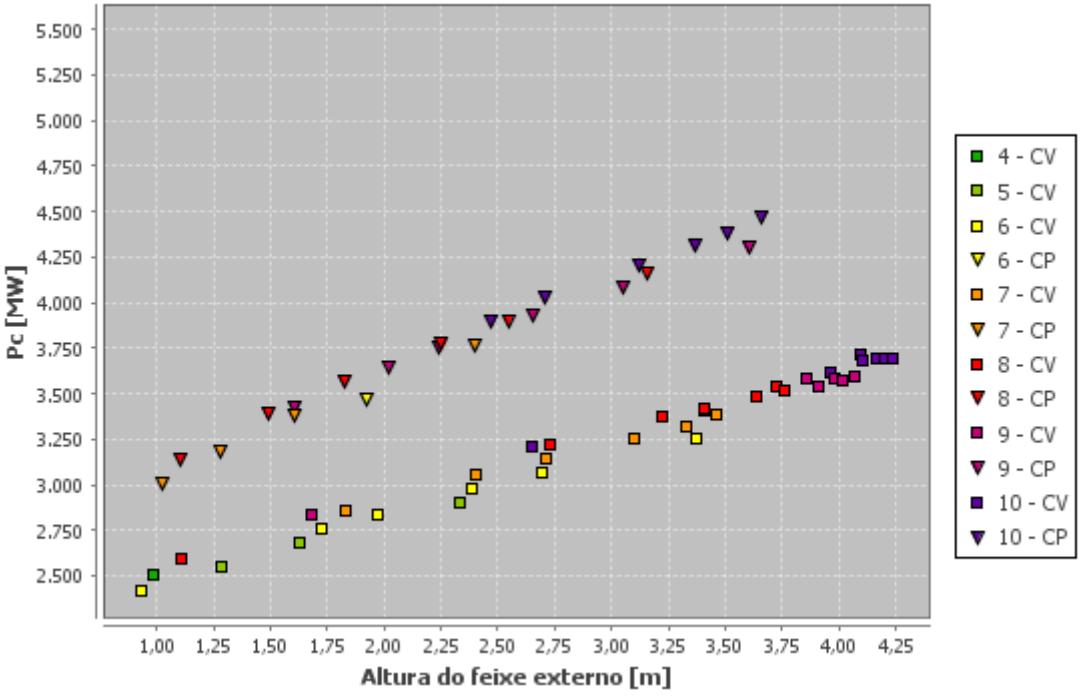

Figura 6.116: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

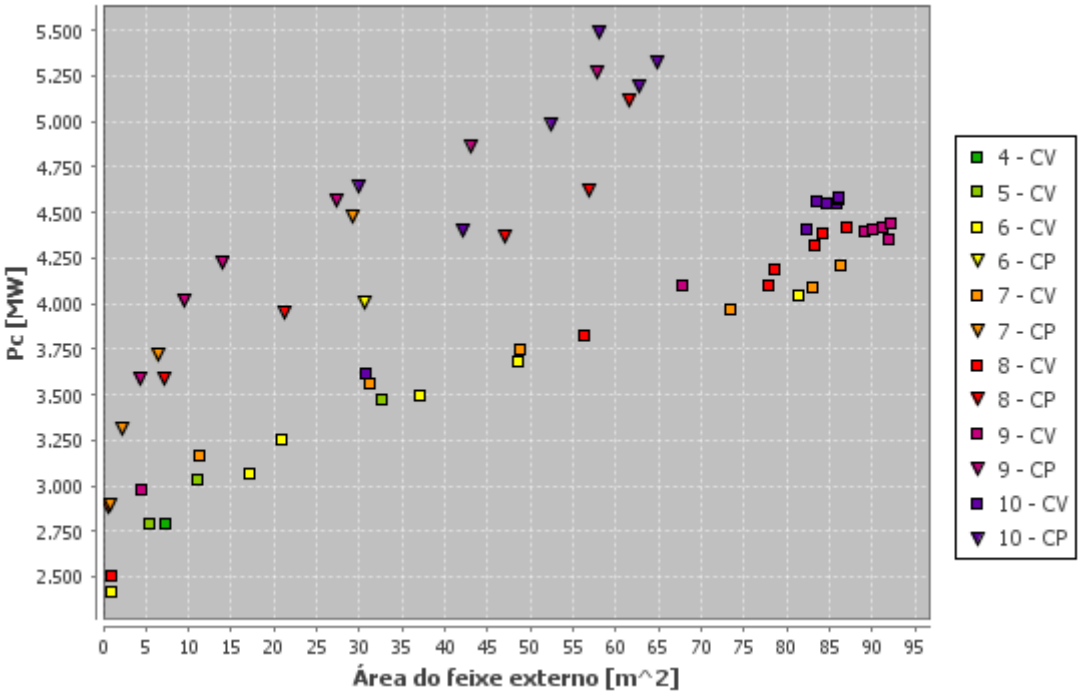

Figura 6.117: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

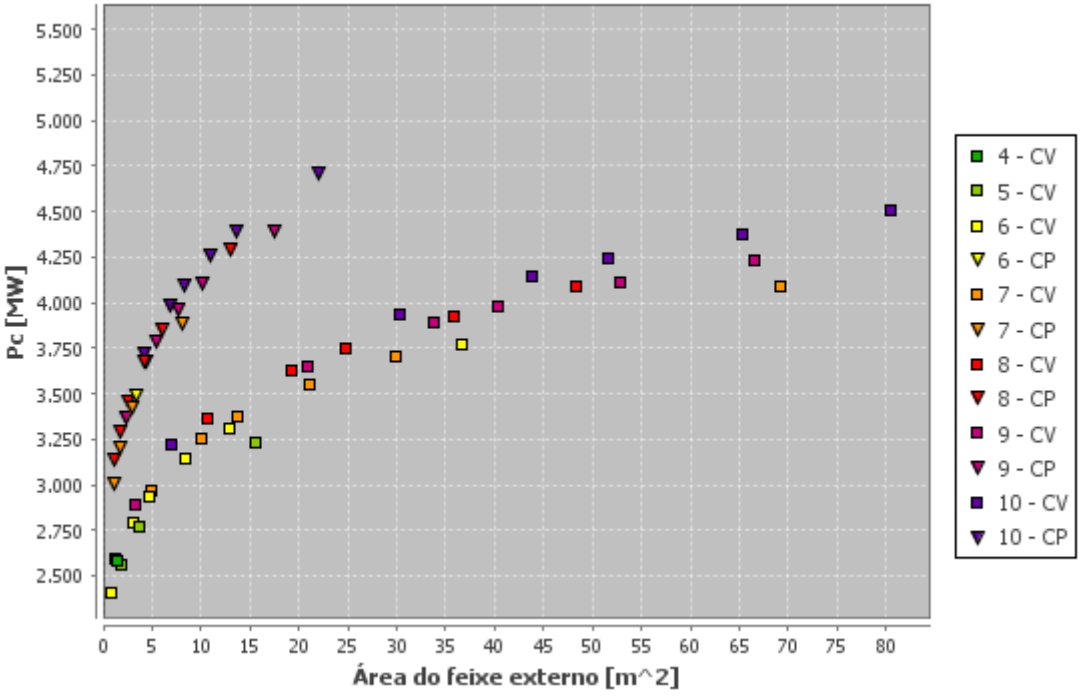

Figura 6.118: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

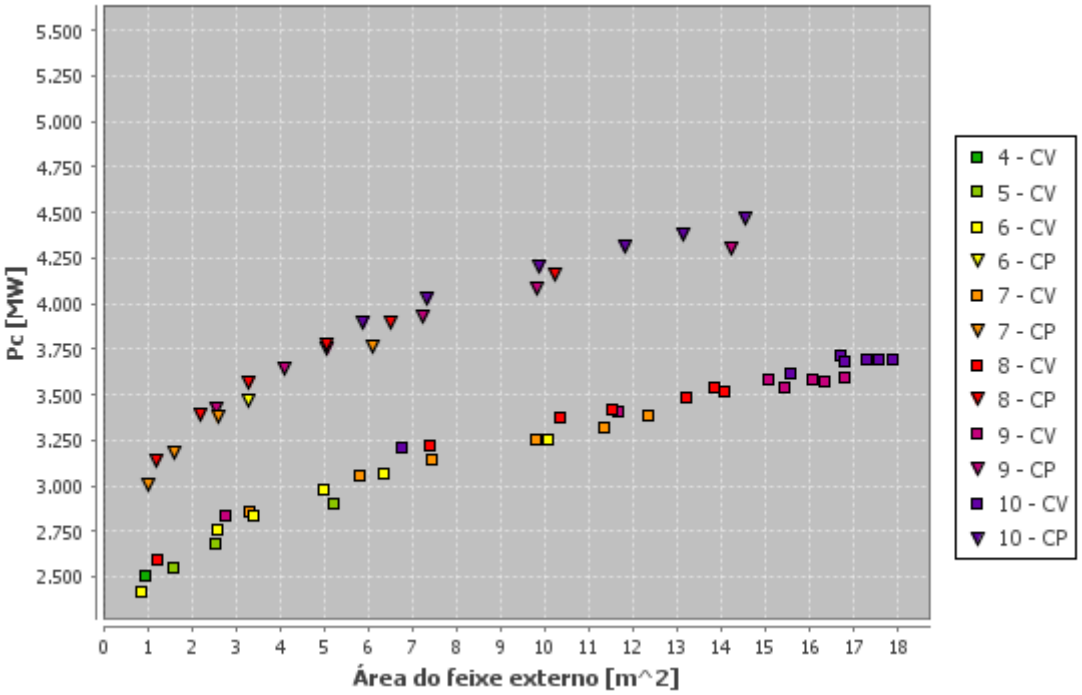

Figura 6.119: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

6.5.3.2- Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

A grande variedade de configurações que iniciam o processo de otimização, com diferentes números de subcondutores alocados sobre o eixo de simetria vertical dos feixe externos em casos que empregam o mesmo número de subcondutores, leva a uma distribuição dispersa dos casos quando se relaciona a potência característica com a superfície total de condução. Isto significa que para um mesmo nível de tensão e mesma superfície total de condução têm-se diferentes potências características e, consequente, diferença no aproveitamento da superfície condutora.

Os mesmos patamares de potência característica observados na otimização sem simetria dos feixes existem também neste conjunto de casos, ainda que de forma pouco acentuada, porém são mais difíceis de se constatar justamente porque há grande dispersão entre os pontos. Nos

gráficos detalhados por nível de tensão é mais fácil ter esta constatação, principalmente nos casos com menores níveis de tensão, onde a expansão dos feixes é menos limitada pelas restrições.

Os comportamentos das relações entre Pc e seção condutora total dos feixes e entre Pc e peso total dos feixes por unidade de comprimento são semelhantes aos observados nos casos sem simetria vertical dos feixes.

É interessante comparar os casos convencionais com aqueles que empregam subcondutores centrais. Verifica-se que quando se inicializa o processo com todos os subcondutores dos feixes externos verticalmente alinhados chega-se ao maior valor de potência característica, fixado o número de subcondutores por feixe. Este fato se deve ao maior acoplamento mútuo e à redução no desequilíbrio de carregamento elétrico, uma vez que neste tipo de configuração não há contraposição de subcondutores em relação ao eixo de simetria vertical. À exceção deste tipo de configuração são predominantes em potência característica as configurações oriundas da inicialização com feixes regulares. De forma geral, o emprego de subcondutores centrais leva a uma maior verticalização do feixe, o que imprime flexibilidade na relação entre largura e altura, as quais têm impacto na faixa de passagem e altura da torre, respectivamente. É importante ressaltar que a escolha de configurações com subcondutores centrais poderá ser penalizada com a redução da potência característica da configuração otimizada, a depender da configuração escolhida.

A comparação entre as configurações finais e aquelas obtidas na ativação da primeira restrição resulta em conclusões semelhantes àquelas feitas na análise da otimização sem a simetria dos feixes. O mesmo pode ser afirmado sobre a comparação com as configurações obtidas a 50 % do ganho de potência característica.

A distribuição dos casos com relação ao número de subcondutores centrais segue o mesmo comportamento descrito para as configurações finais, observada menor discrepância de potência característica entre casos com mesmo número de subcondutores de igual tipo.

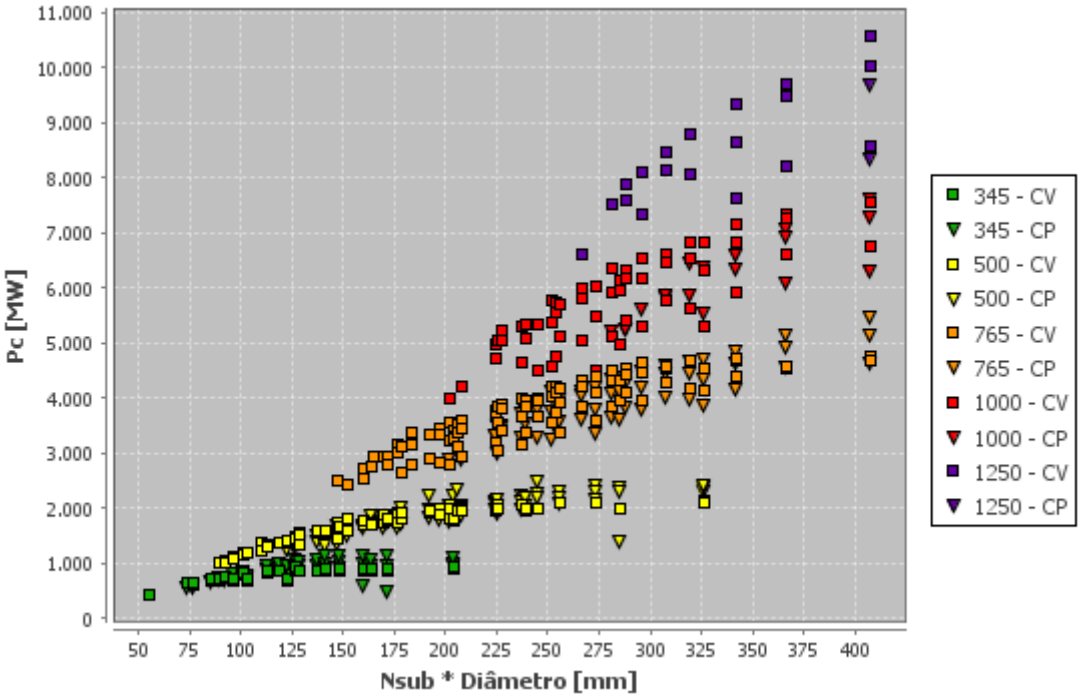

Figura 6.120: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

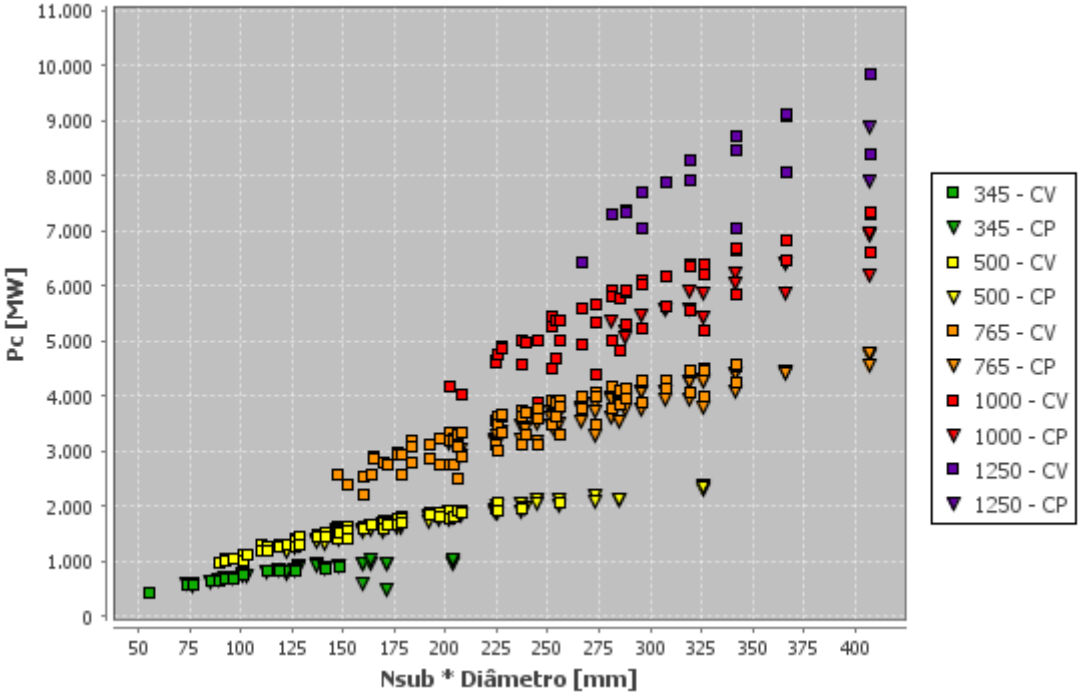

Figura 6.121: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

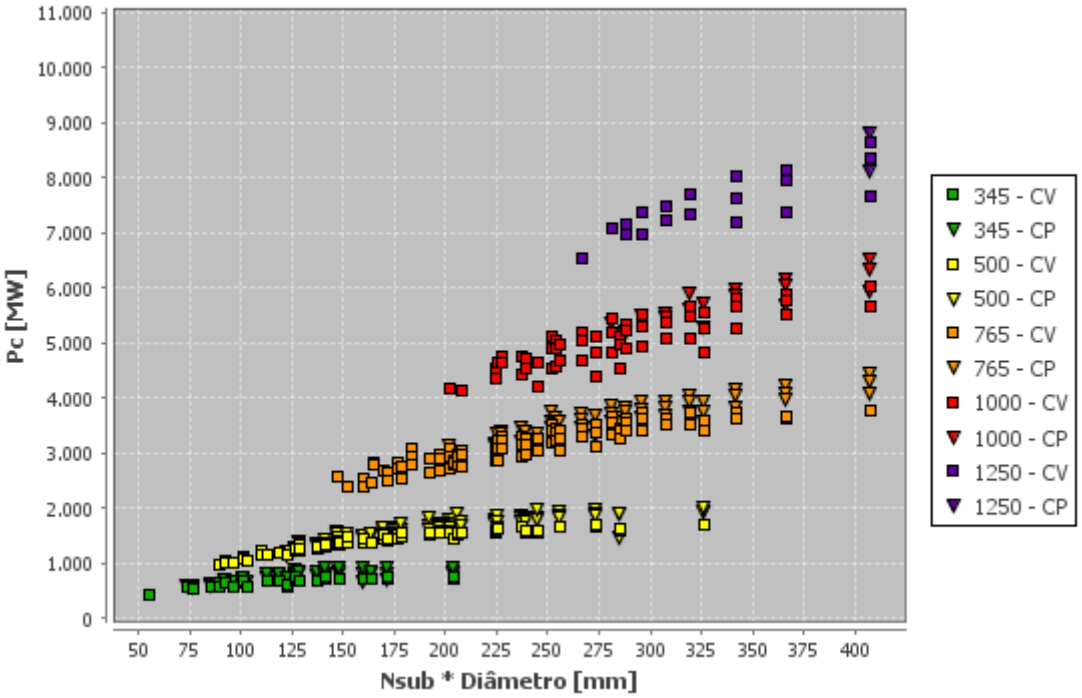

Figura 6.122: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

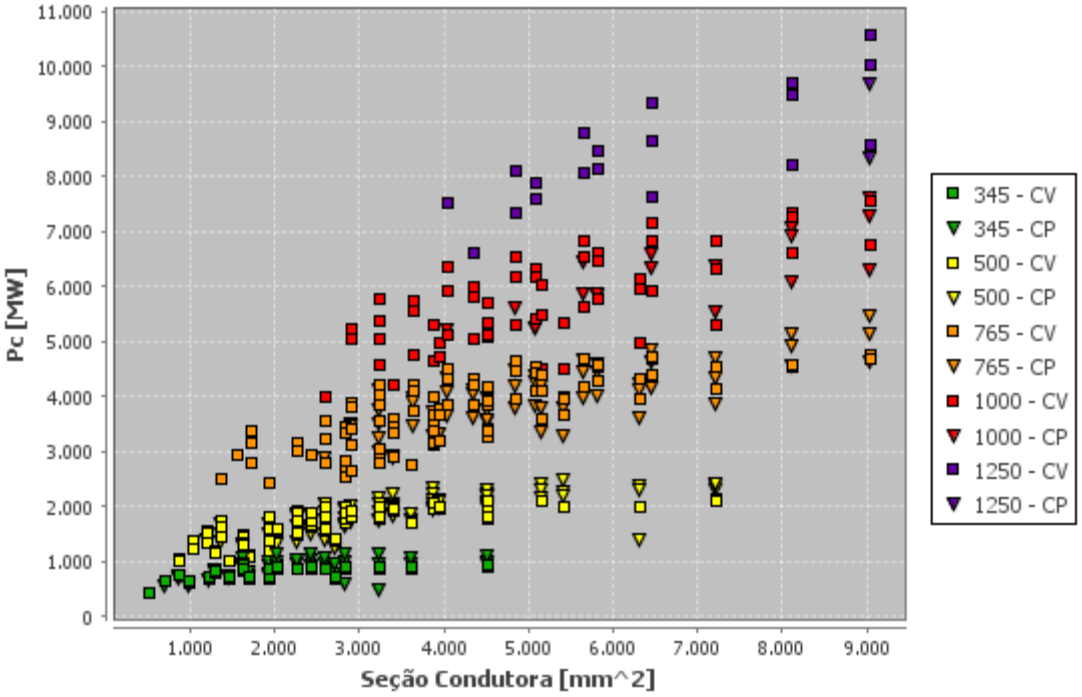

Figura 6.123: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

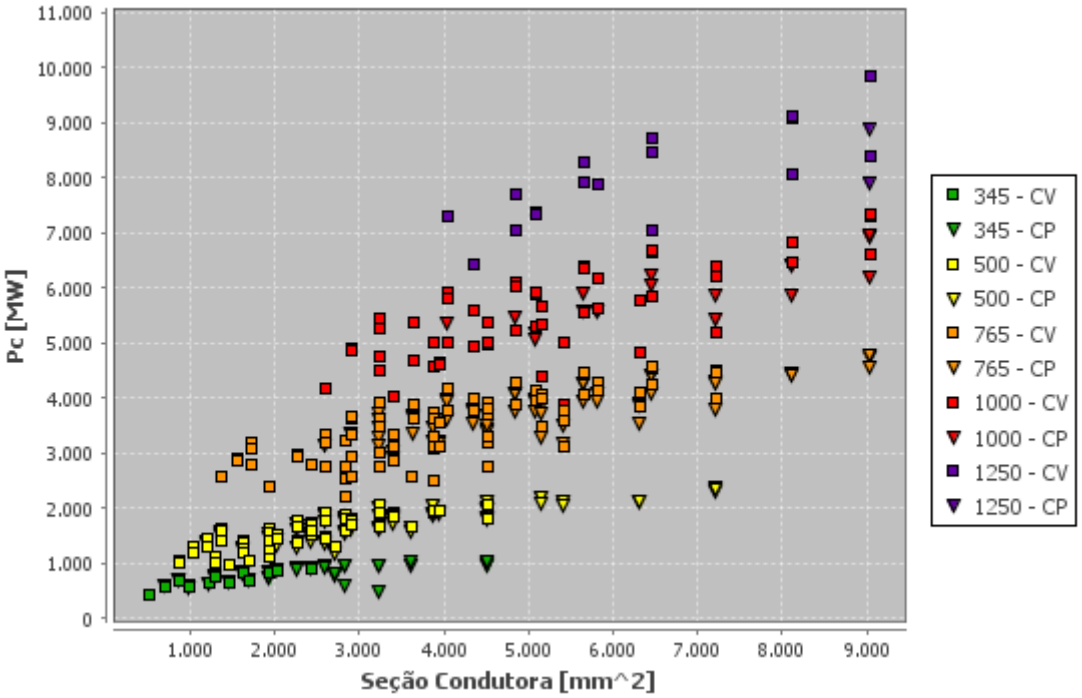

Figura 6.124: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

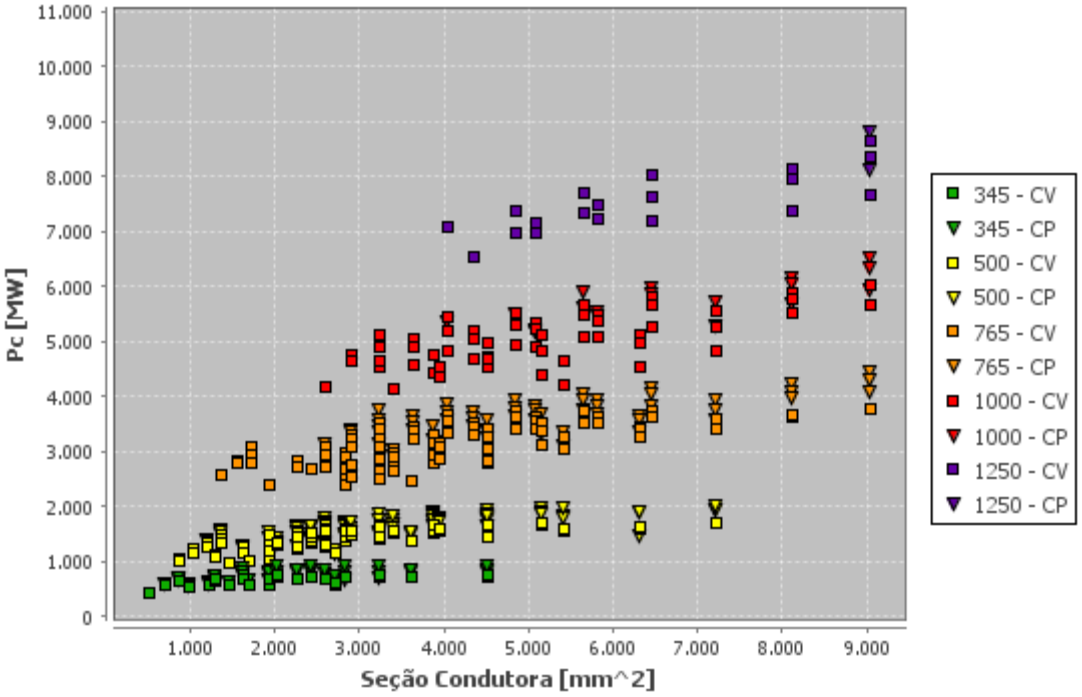

Figura 6.125: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

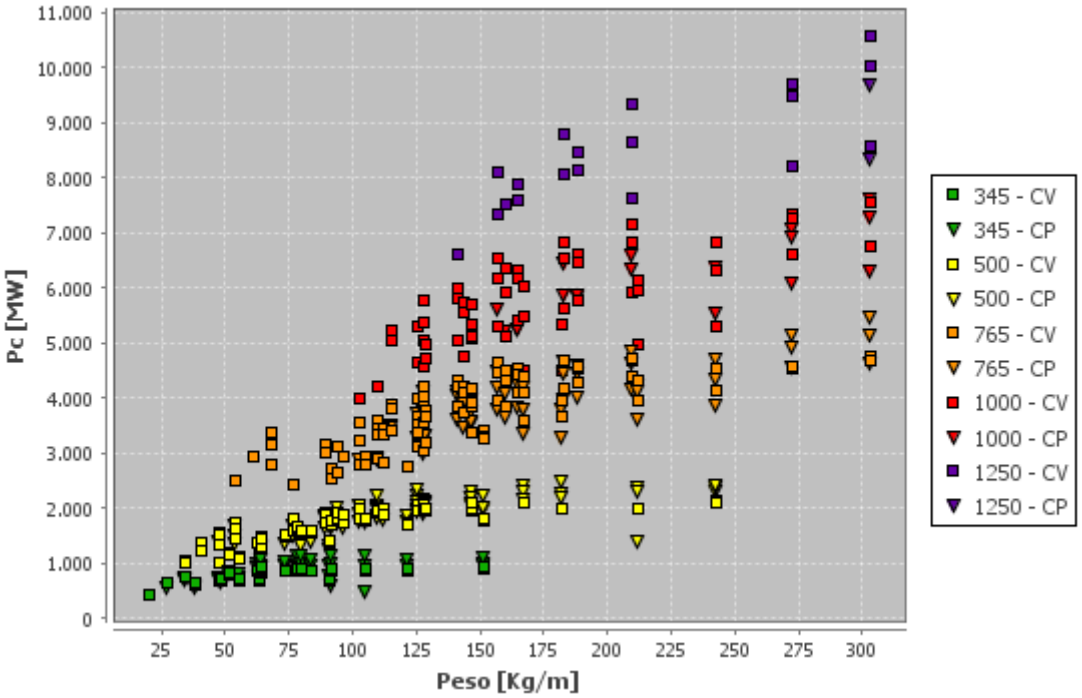

Figura 6.126: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

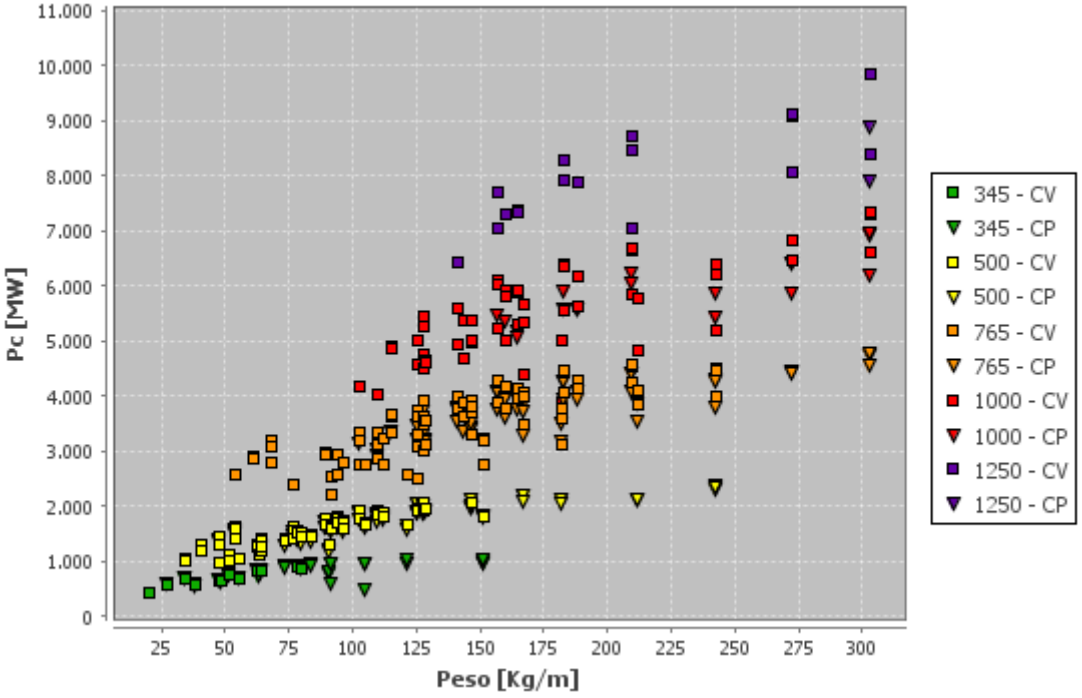

Figura 6.127: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

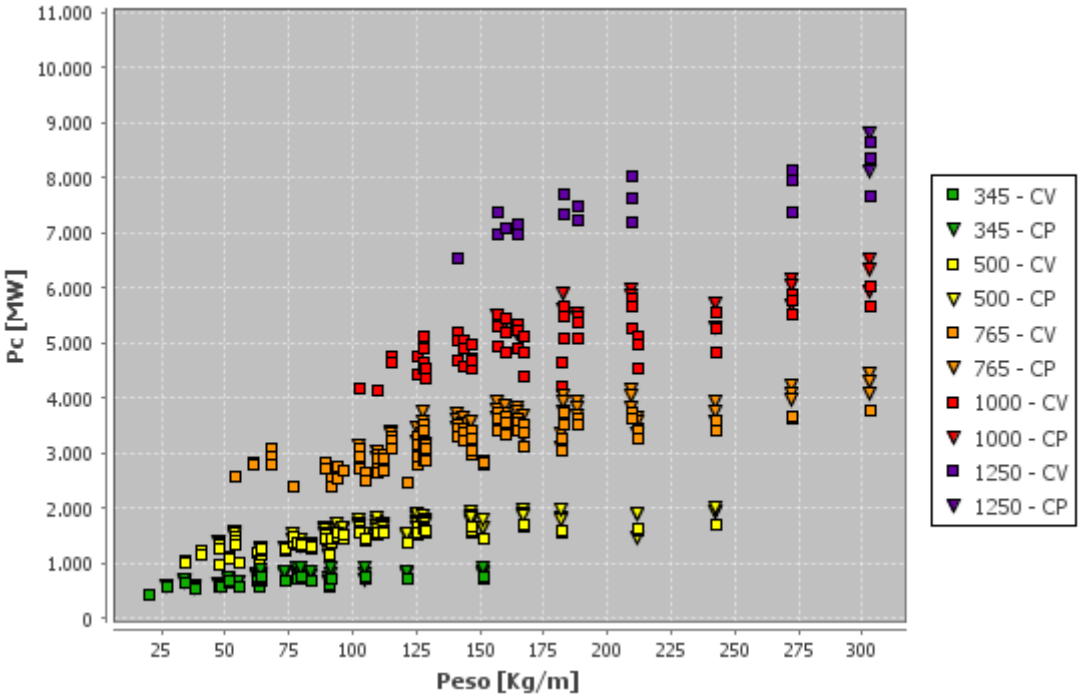

Figura 6.128: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

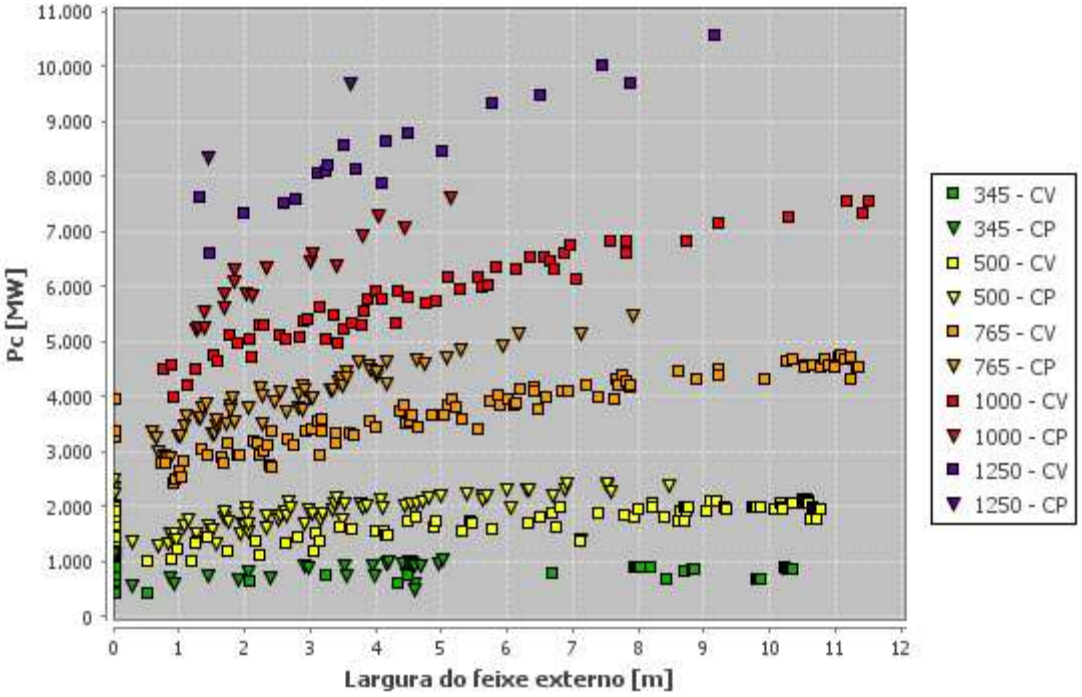

Figura 6.129: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

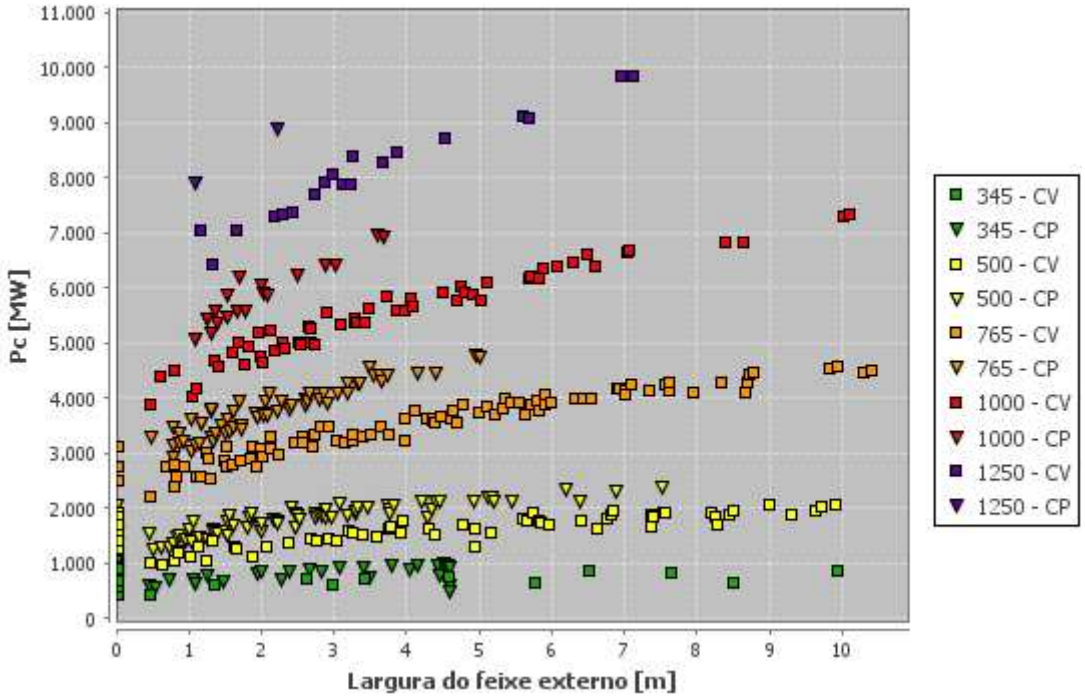

Figura 6.130: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

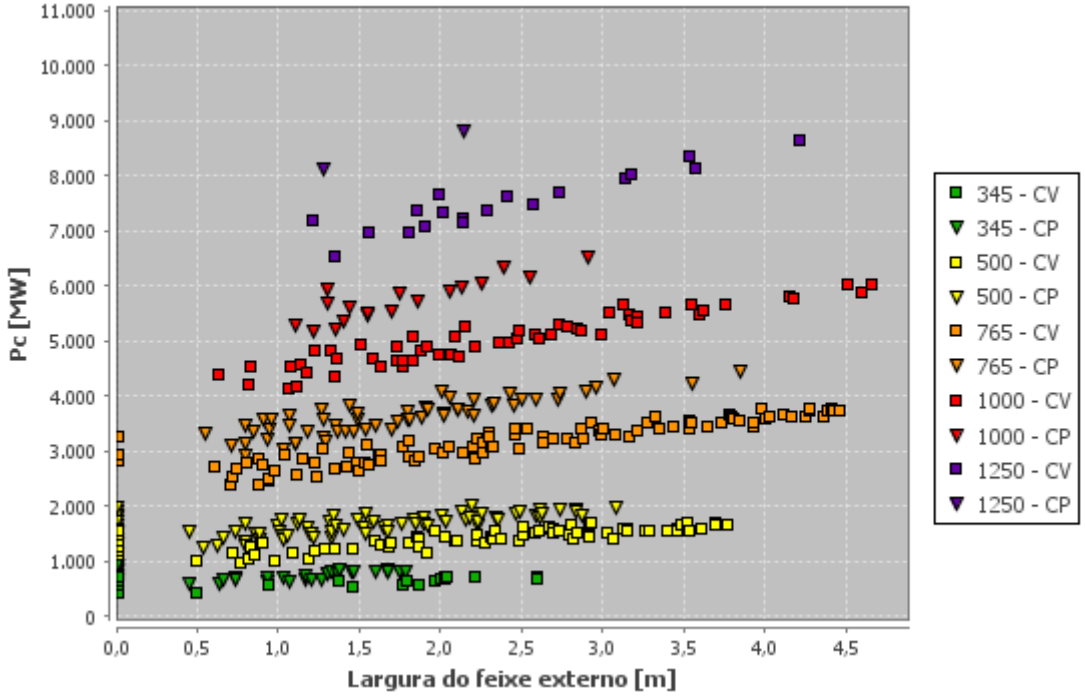

Figura 6.131: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

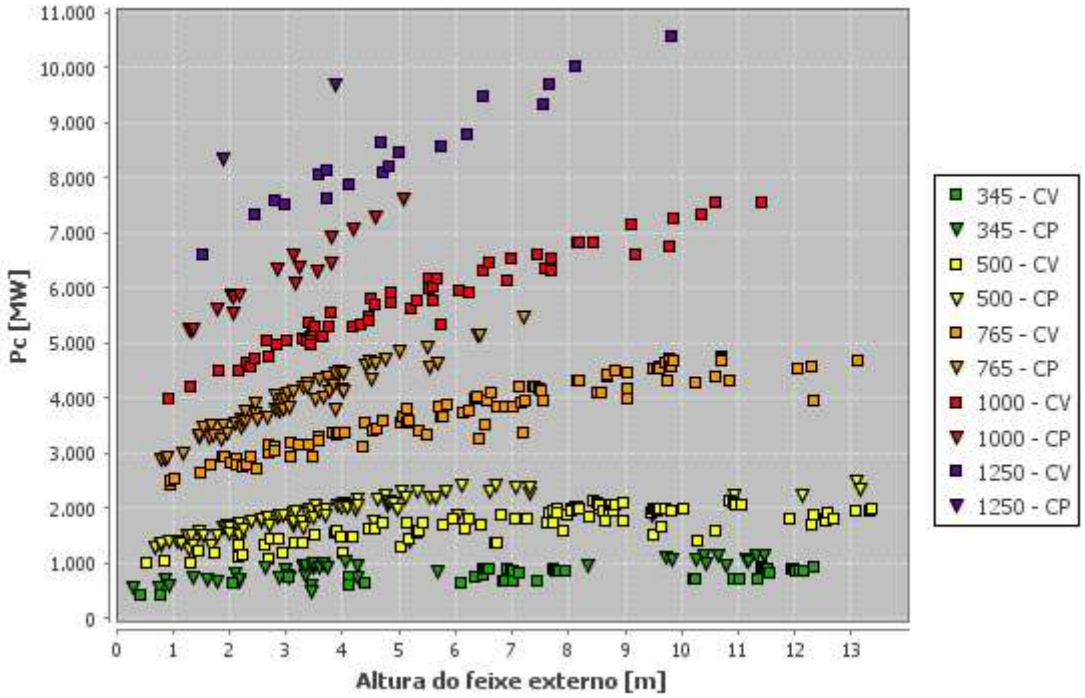

Figura 6.132: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

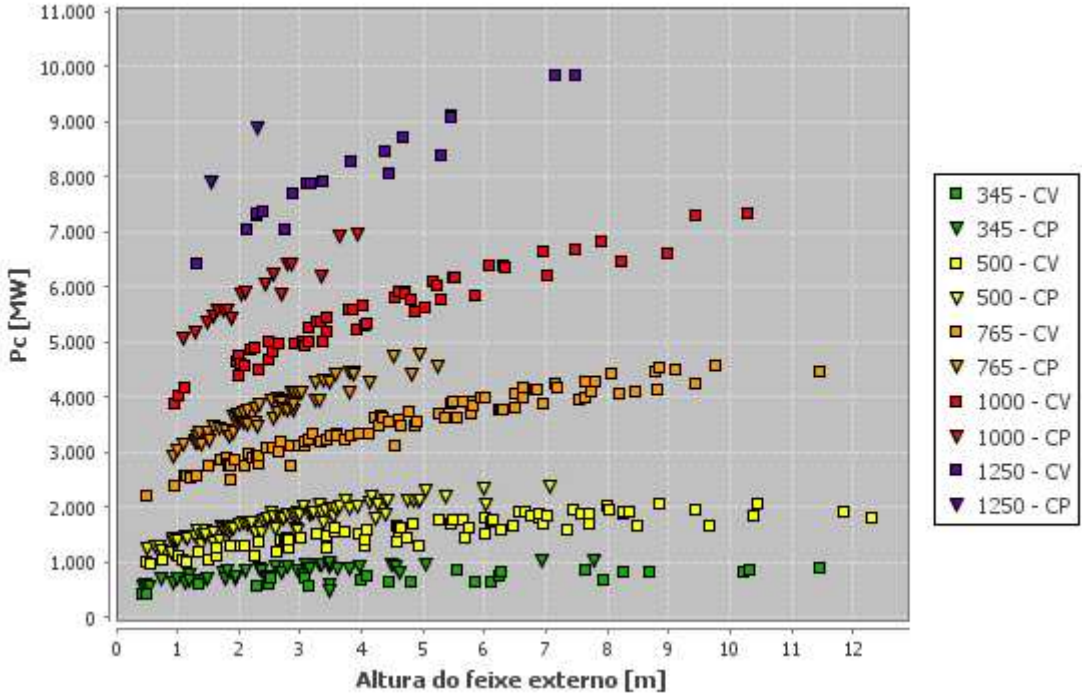

Figura 6.133: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

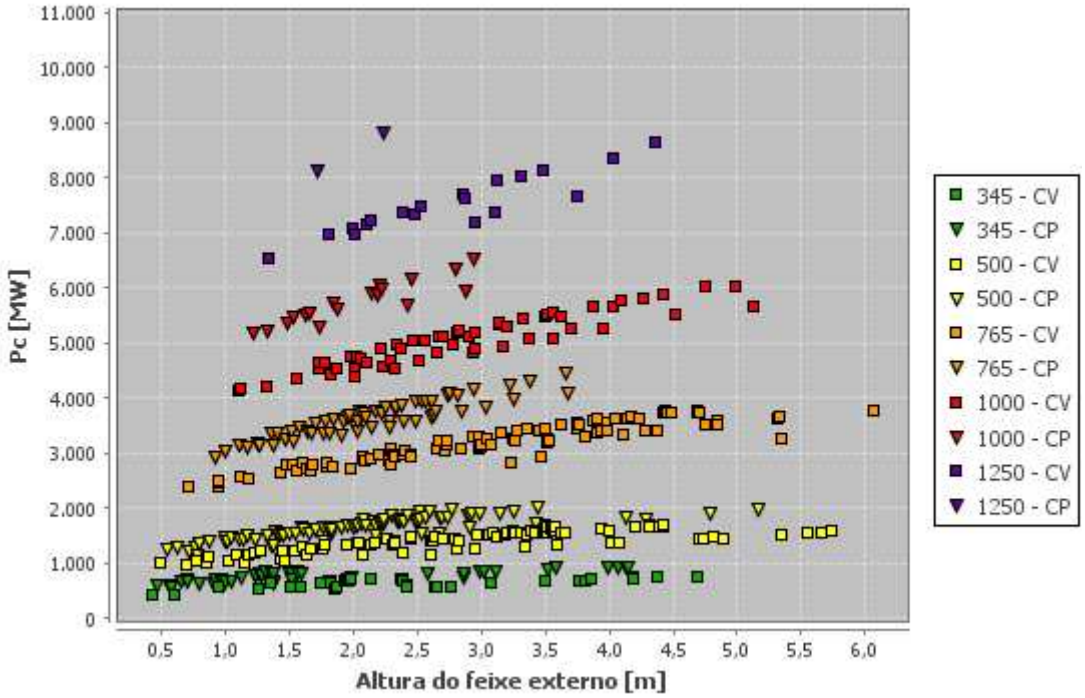

Figura 6.134: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

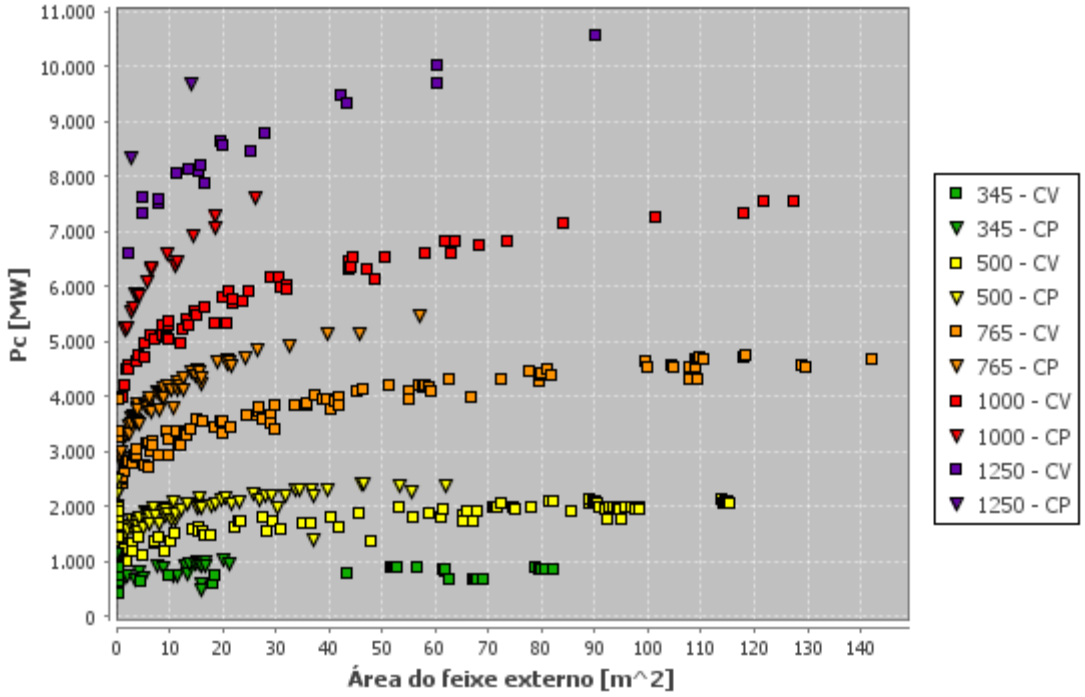

Figura 6.135: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

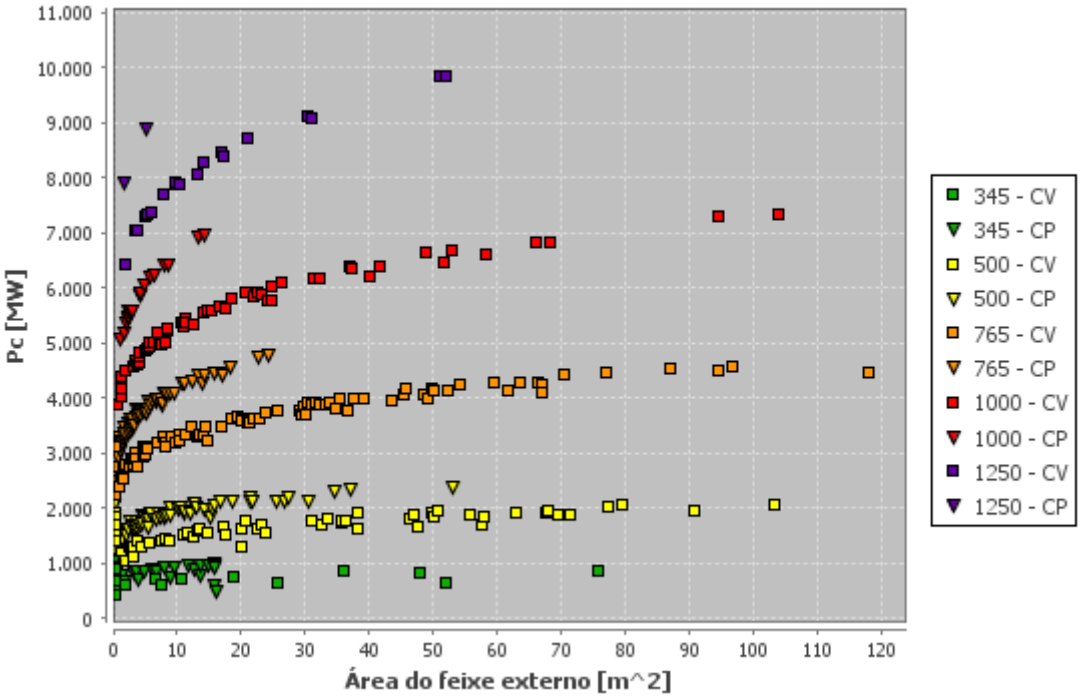

Figura 6.136: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

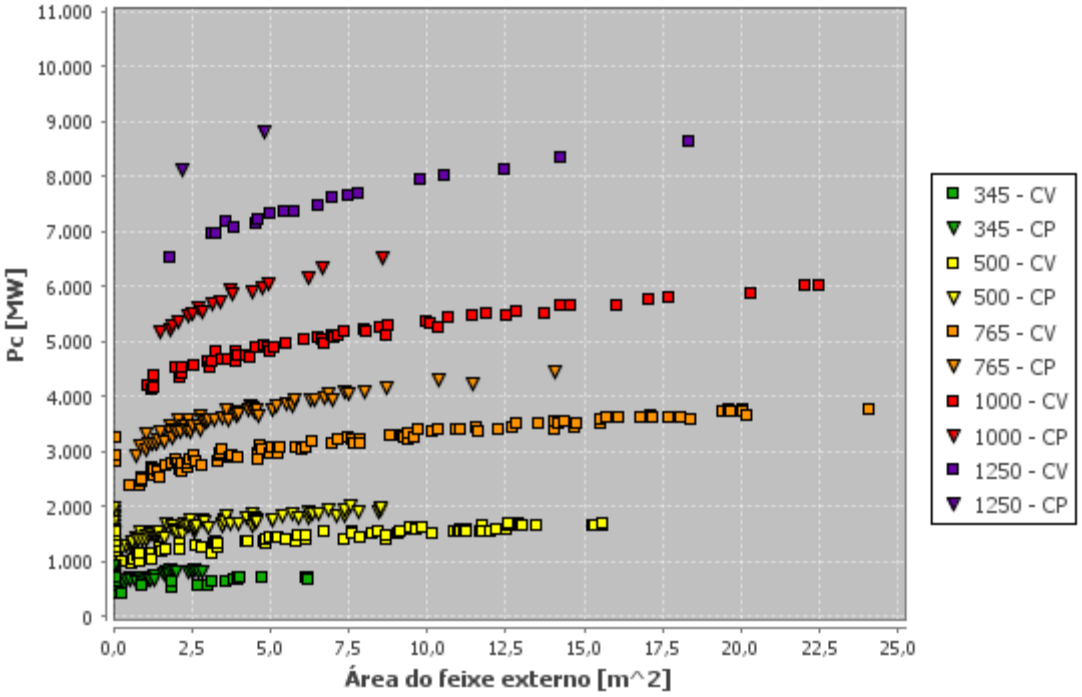

Figura 6.137: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

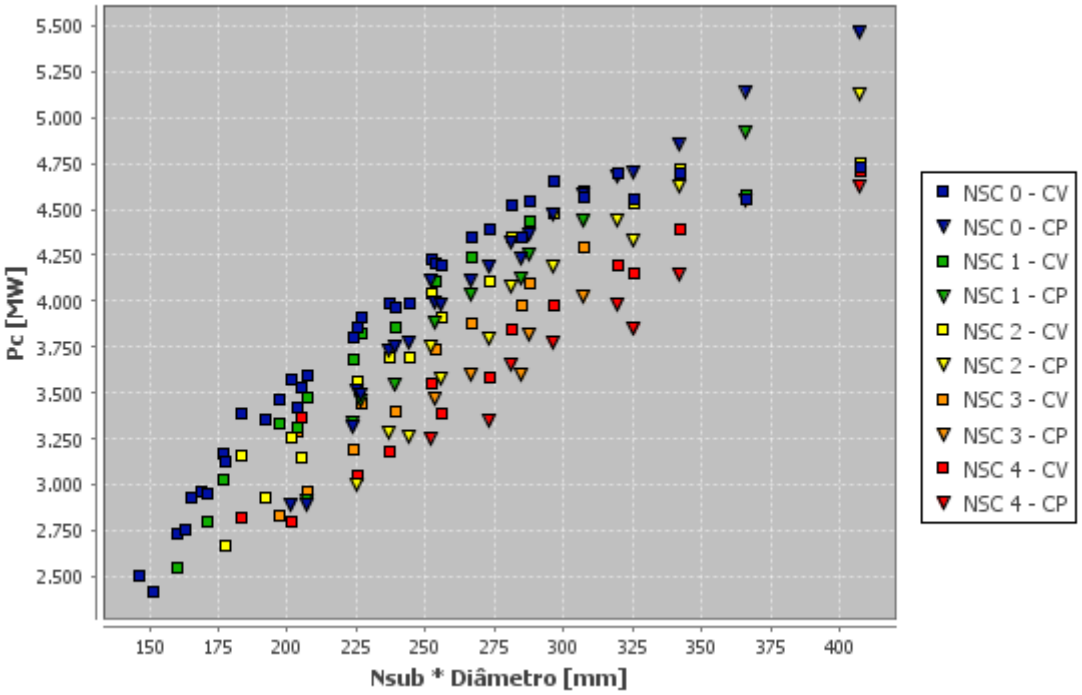

Figura 6.138: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

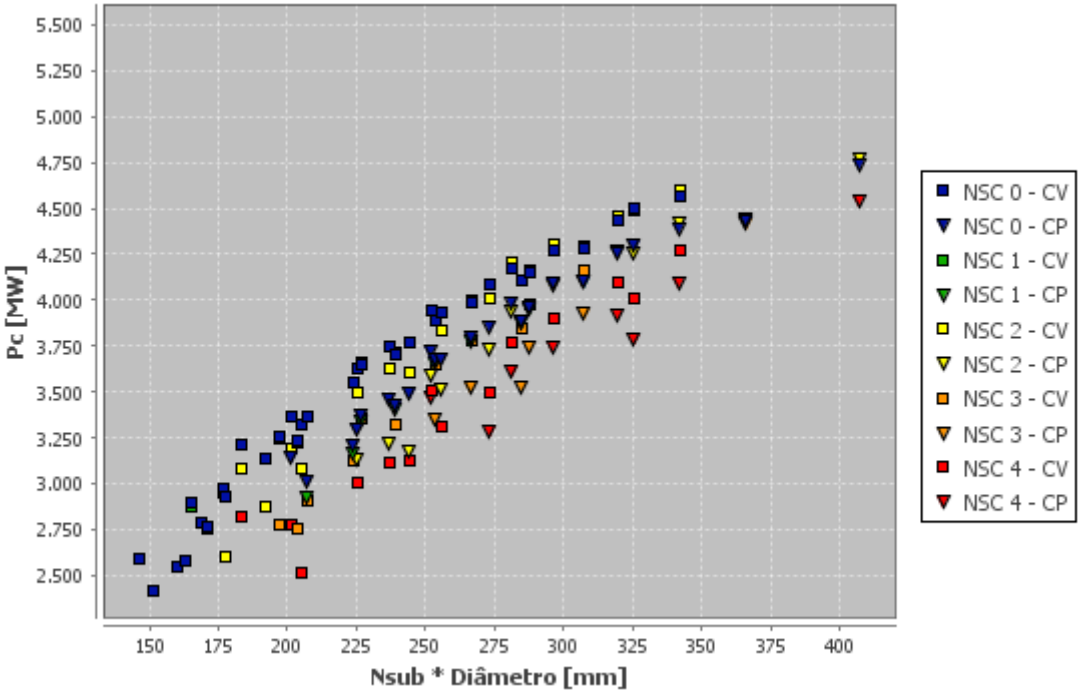

Figura 6.139: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

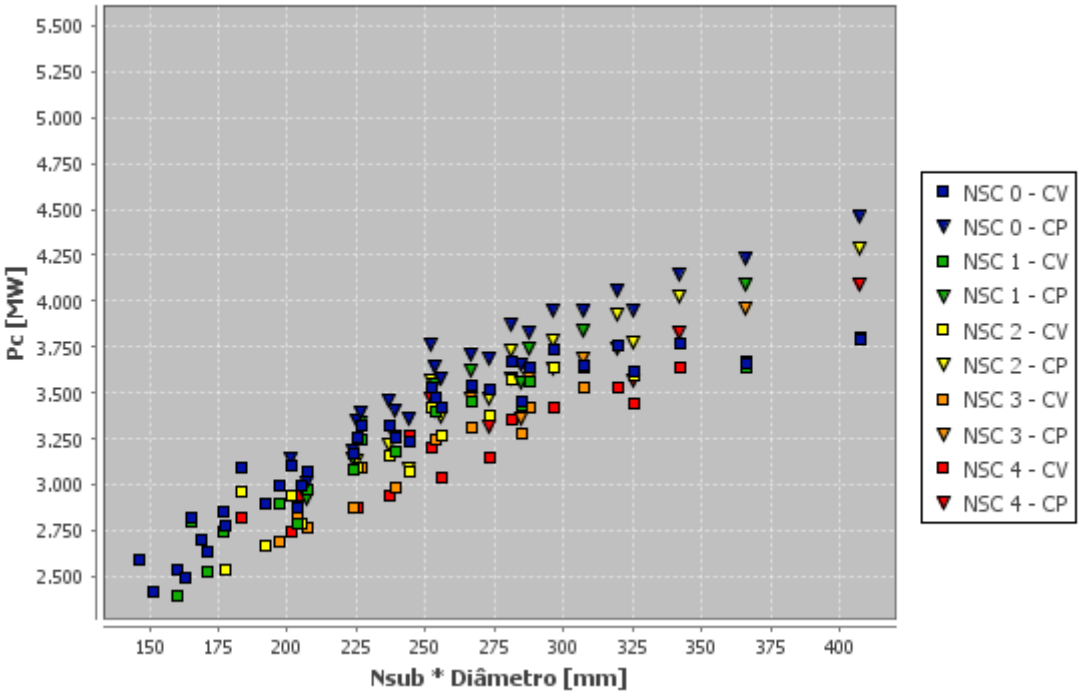

Figura 6.140: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

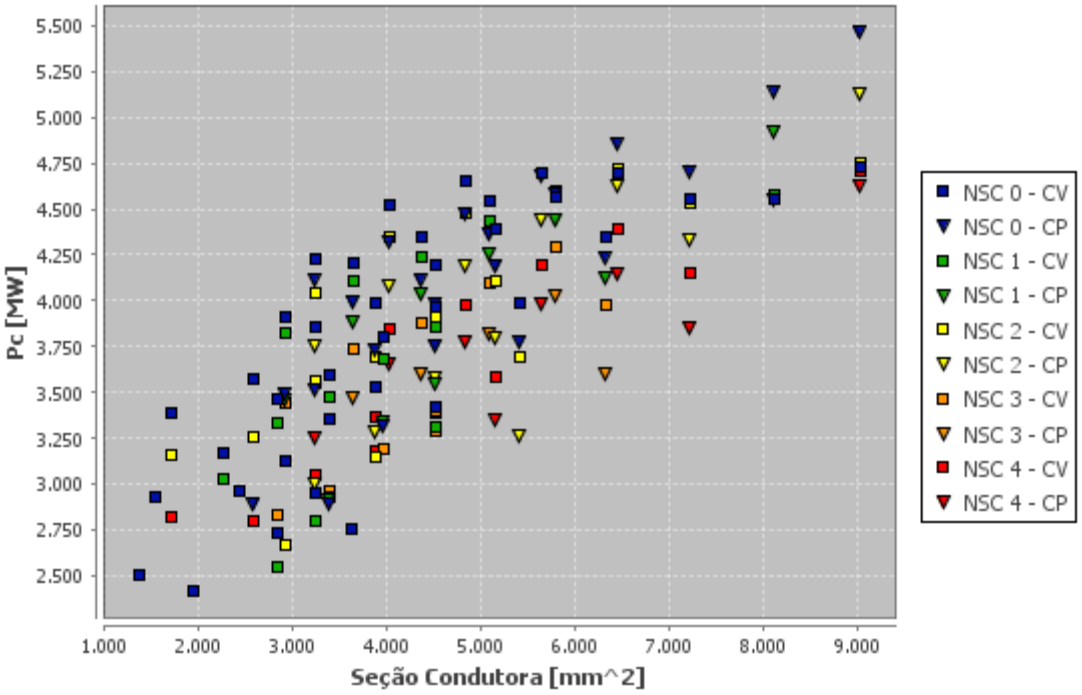

Figura 6.141: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

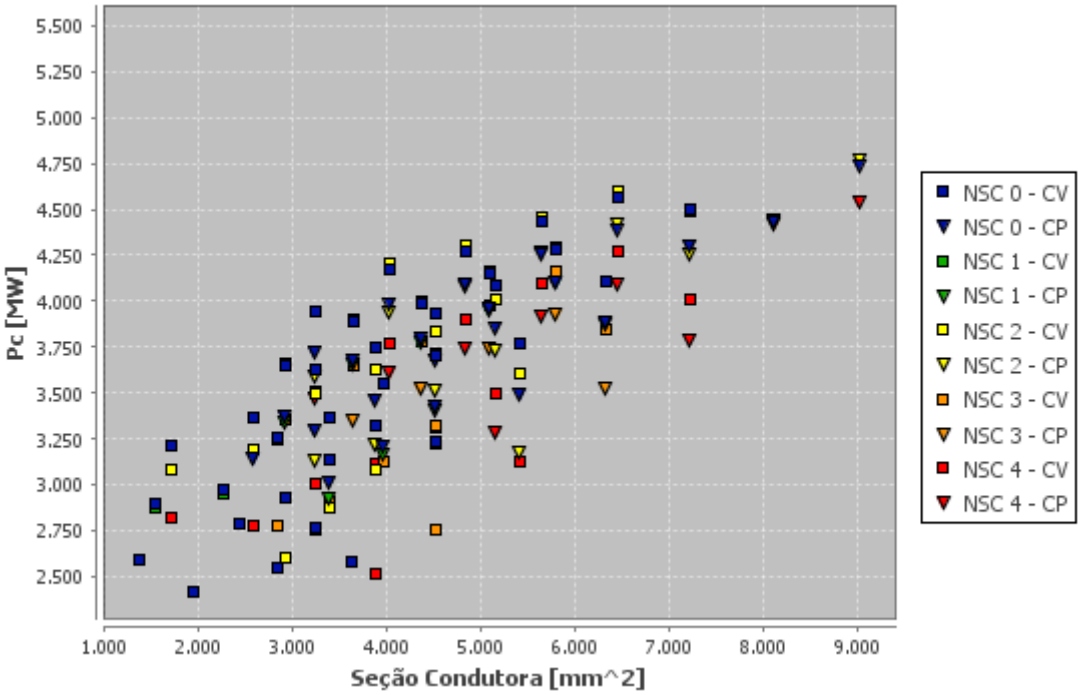

Figura 6.142: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

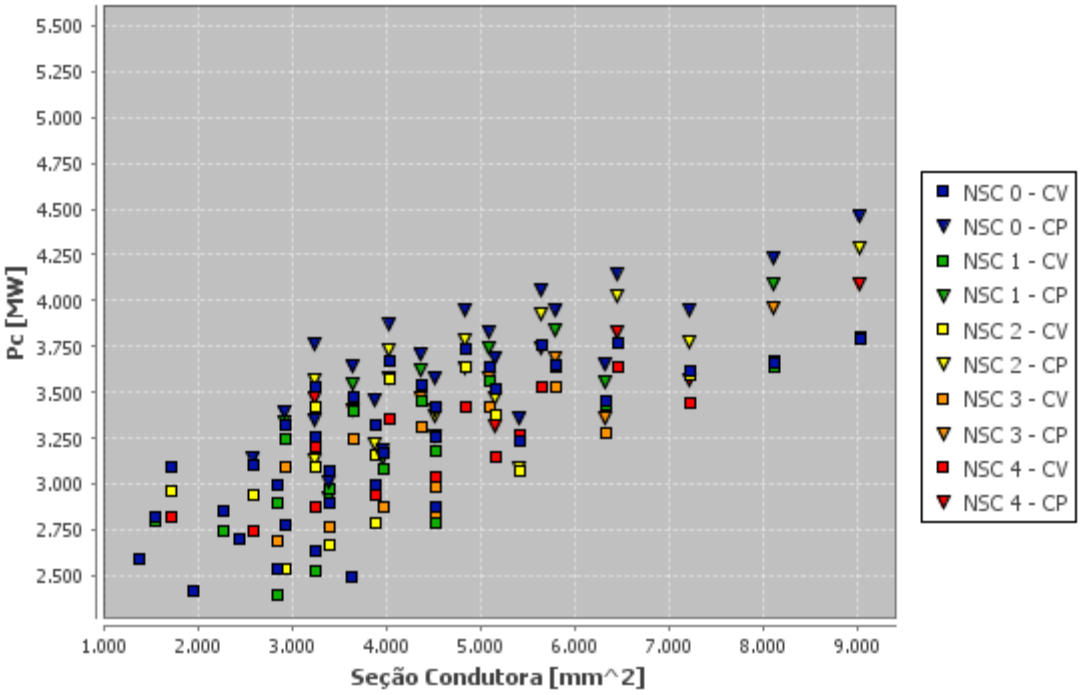

Figura 6.143: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

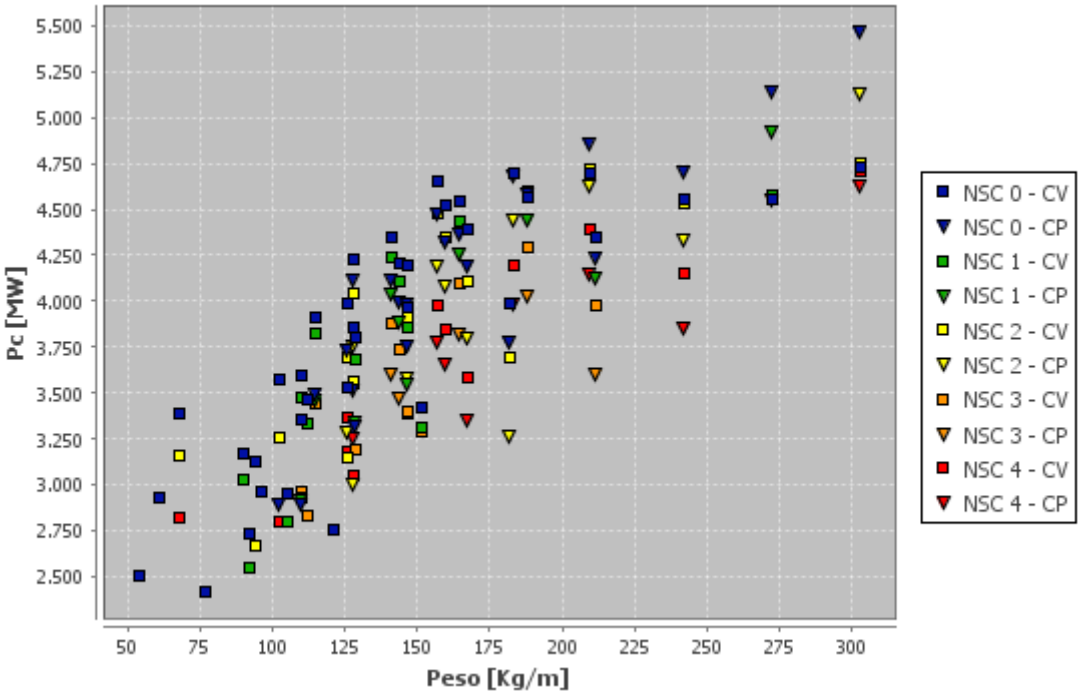

Figura 6.144: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

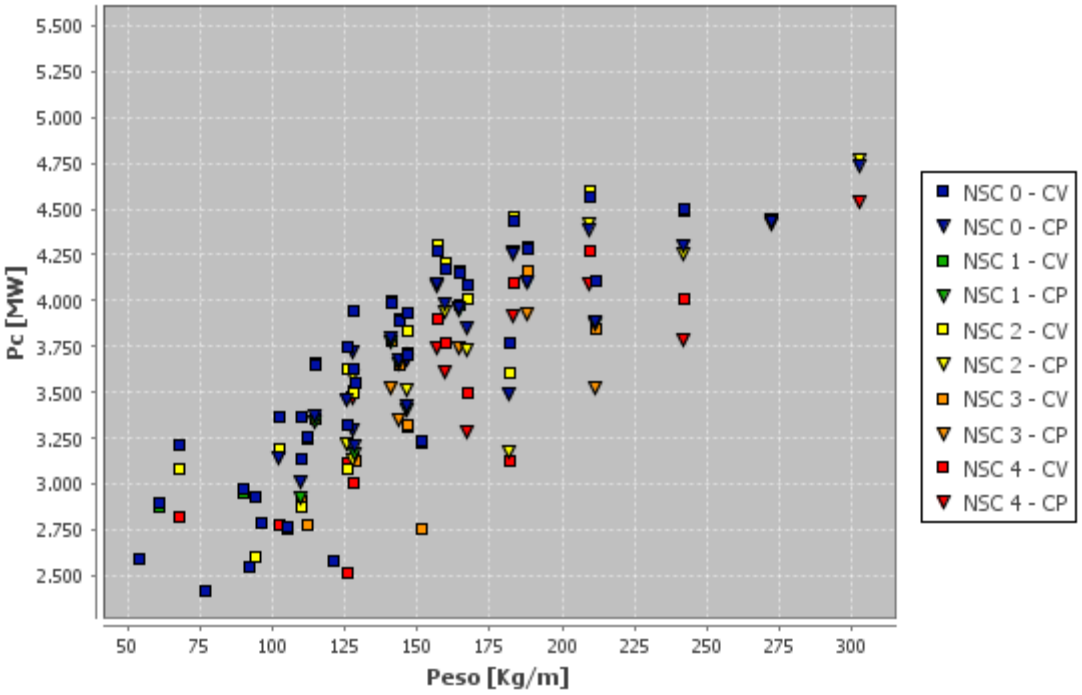

Figura 6.145: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

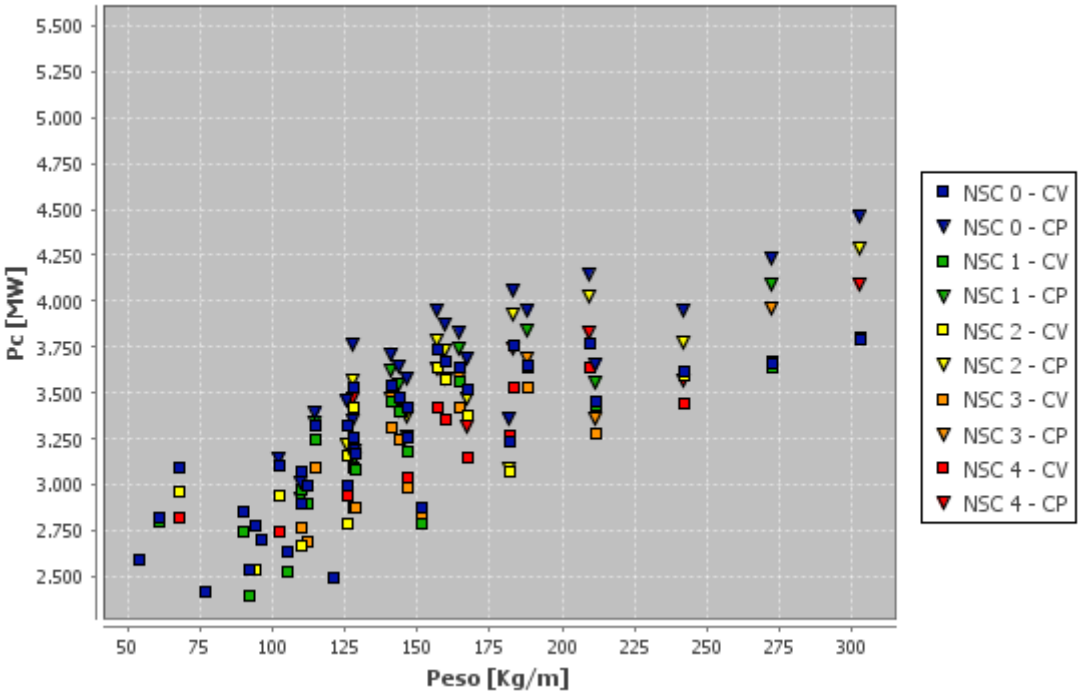

Figura 6.146: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

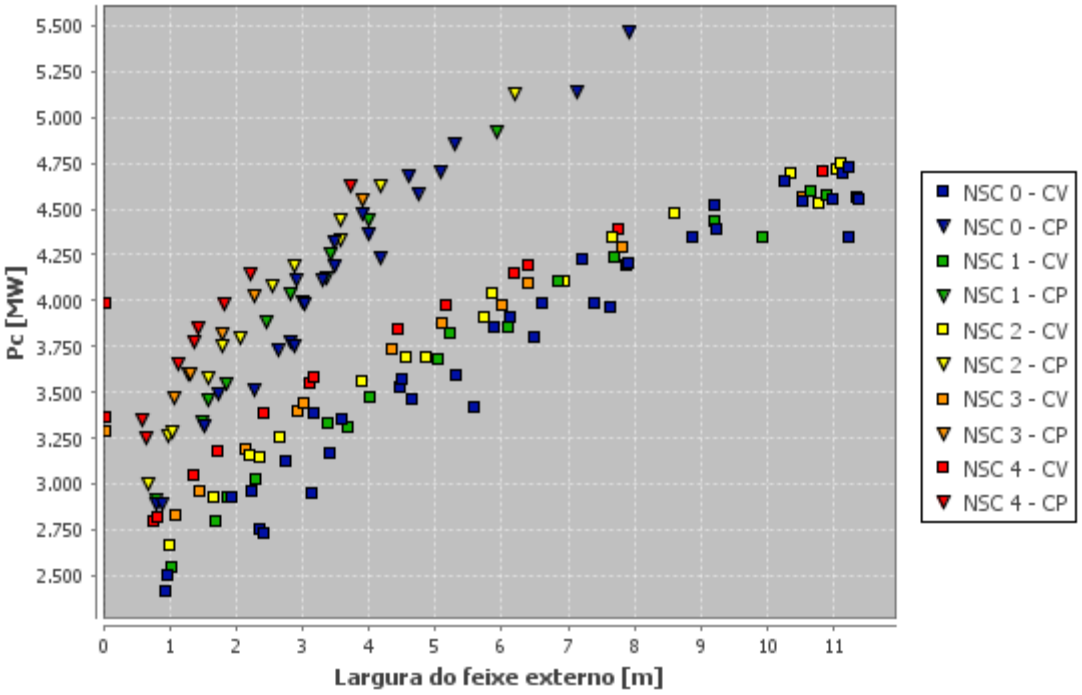

Figura 6.147: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

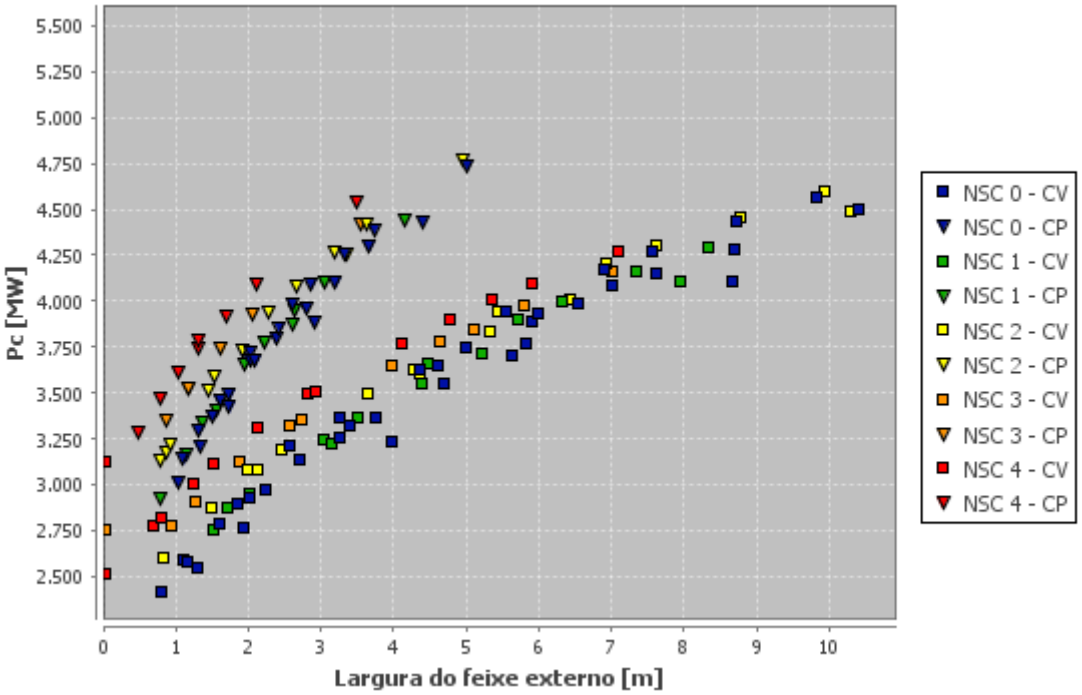

Figura 6.148: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

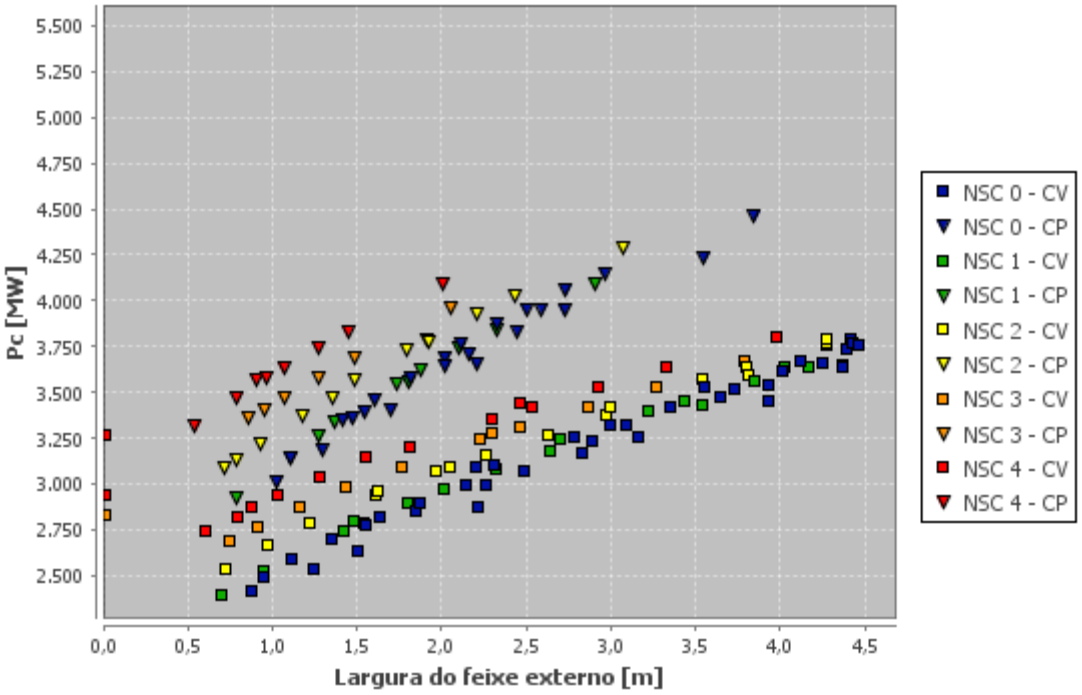

Figura 6.149: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

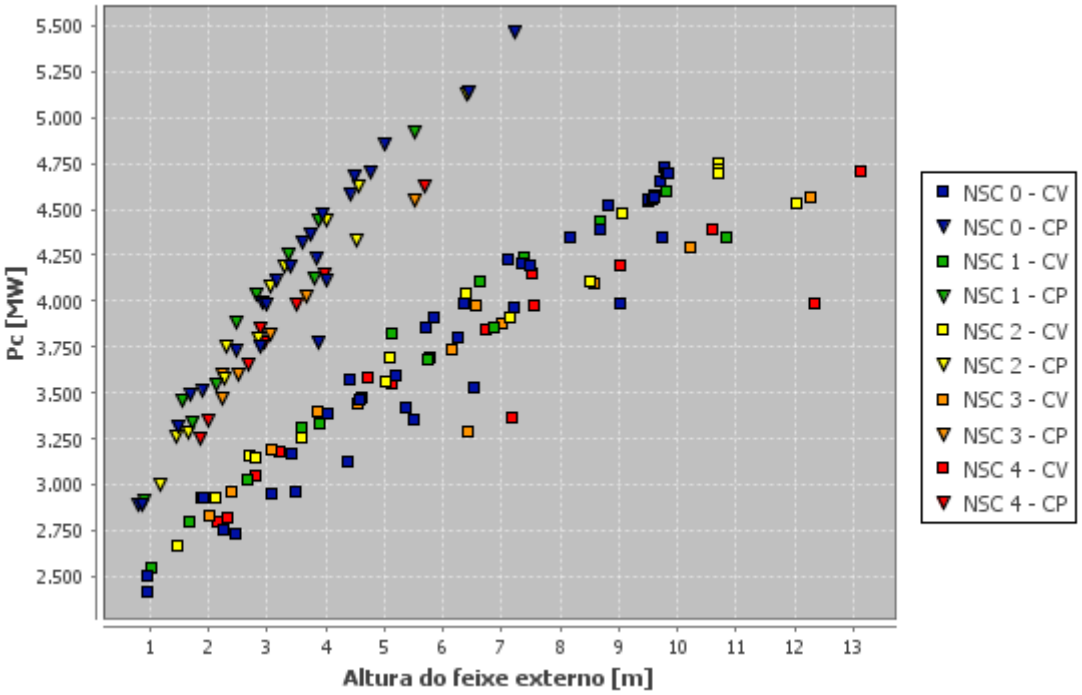

Figura 6.150: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

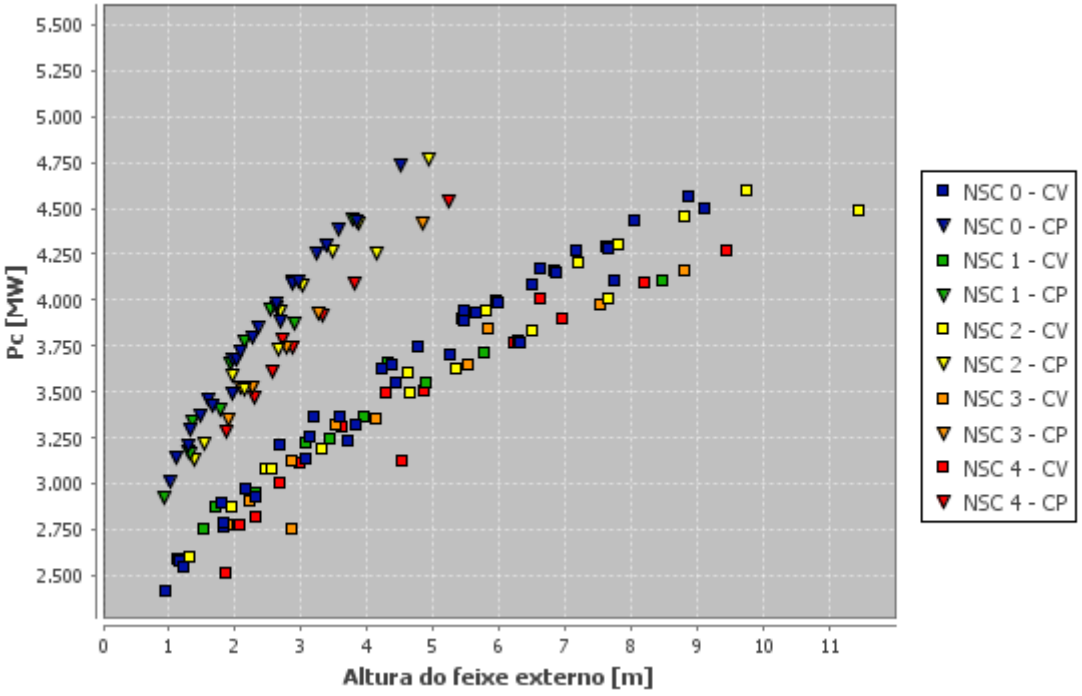

Figura 6.151: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

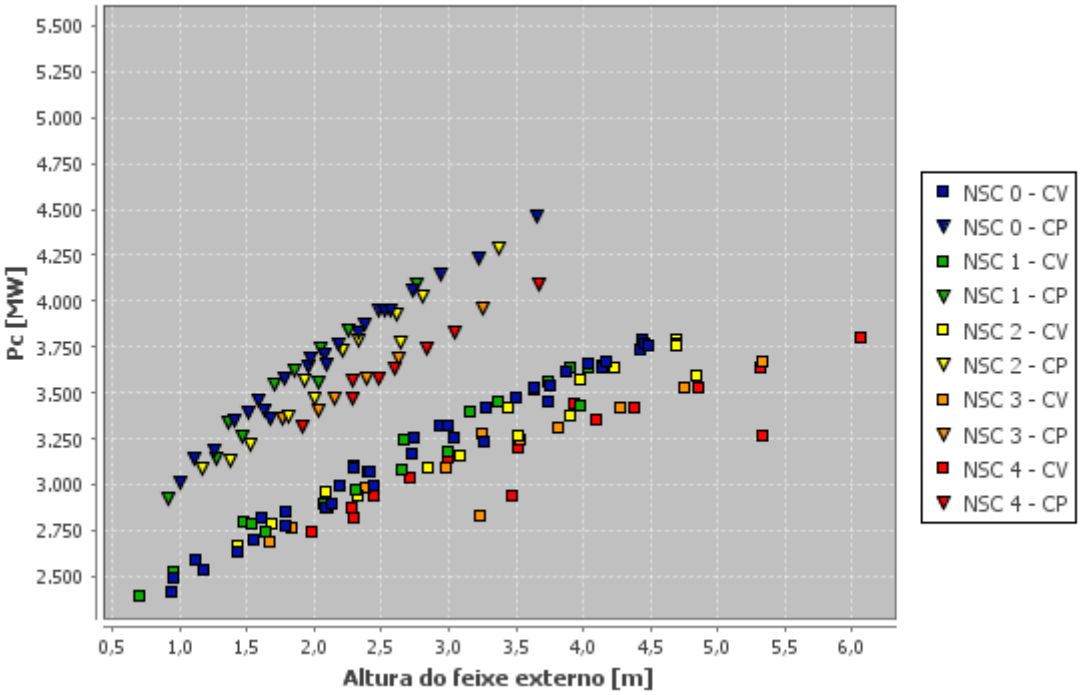

Figura 6.152: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

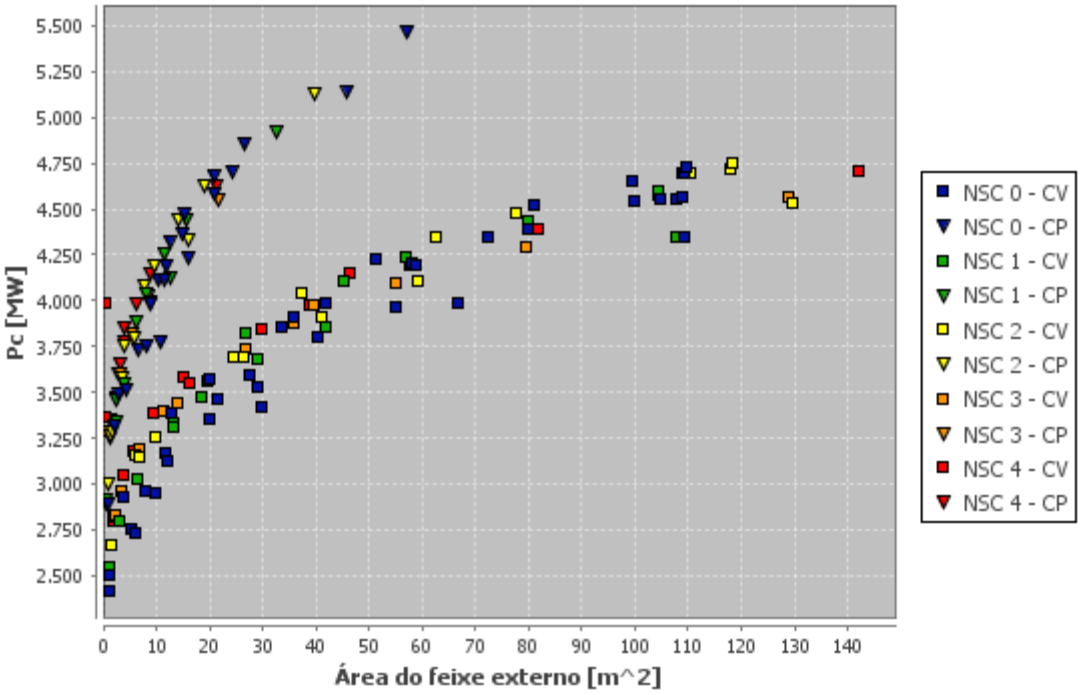

Figura 6.153: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

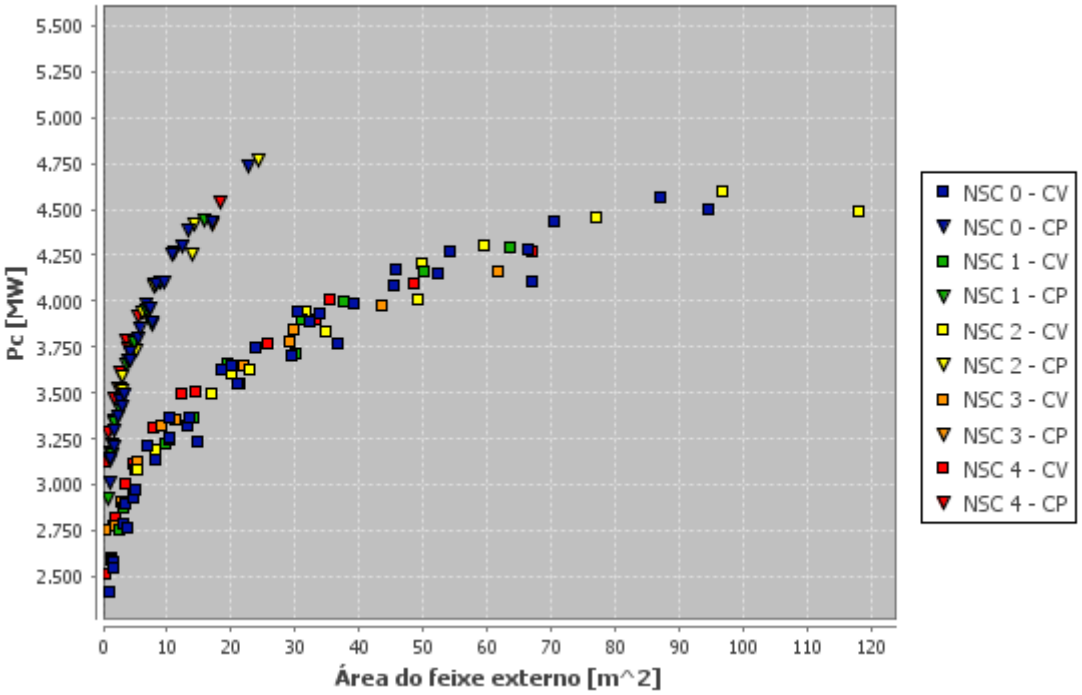

Figura 6.154: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

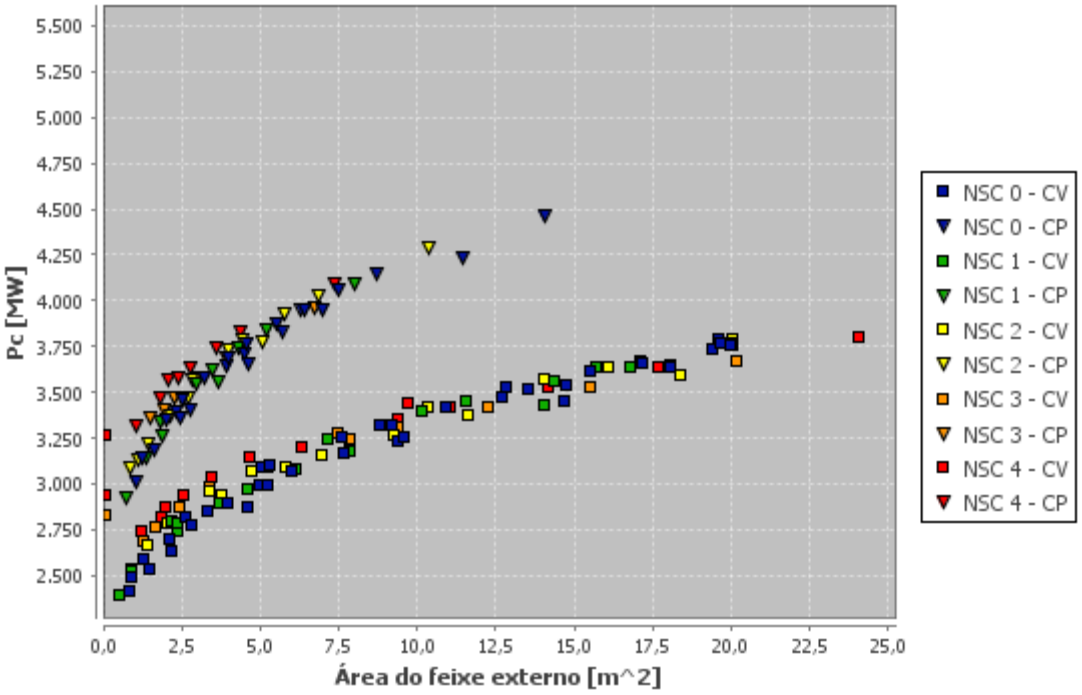

Figura 6.155: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

CAPÍTULO 7 - CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL E O EFEITO COROA

7.1 - INTRODUÇÃO

Submetidos a um campo elétrico intenso, os elétrons livres presentes no ar são acelerados. Adquirindo energia suficiente, os elétrons eventualmente se chocam com átomos de gases presentes no ar, como oxigênio e nitrogênio, transferindo parte de sua energia aos átomos, de forma a excitá-los. O estado orbital de um ou mais elétrons muda e o retorno ao estado inicial libera energia na forma de calor, luz, energia acústica e radiações eletromagnéticas. Com energia suficiente os elétrons podem retirar elétrons dos átomos transformando-os em íons. A recombinação de elétrons livres com os íons é um processo que libera energia. A esse processo de transferência de energia aos gases presentes no entorno dos condutores se dá o nome de efeito coroa.

As descargas coroa provocam pulsos de tensão e corrente de curta duração que se propagam ao longo das linhas, resultando em campos eletromagnéticos em suas imediações que interferem na radiorrecepção nas faixas de frequência das transmissões em amplitude modulada (AM), em particular nas faixas das ondas médias. A parte da energia que é transformada em energia acústica é responsável por outra manifestação indesejável do efeito coroa: o ruído audível, que é caracterizado como poluição acústica.

Toda a energia liberada ou irradiada deve provir do campo elétrico e, portanto, do sistema alimentador, causando perda de energia, que está relacionada à geometria e ao estado de conservação dos condutores, tensão de operação e, principalmente, com as condições meteorológicas locais. Constatou-se, por exemplo em [2], que as perdas podem variar de alguns quilowatts por quilômetro a centenas de quilowatts por quilômetro, sob condições de chuva ou garoa.

Tanto sob chuva como em tempo bom as perdas de energia dependem dos gradientes de potencial sobre a superfície dos condutores. Os gradientes de potencial são reduzidos mediante o emprego de condutores com diâmetros maiores, maior espaçamento entre fases ou pelo emprego de condutores múltiplos, sendo importante a forma como são distribuídos no feixe.

Sabemos que o gradiente de potencial crítico disruptivo do ar atmosférico E_0 é da ordem de 30,5 kV/cm, em atmosfera-padrão de 20 °C e pressão barométrica de 760 mm de Hg, sendo para corrente alternada, o valor eficaz igual a 21,6 kV/cm.

Peek verificou experimentalmente que o fenômeno das descargas de coroa somente se inicia com valores mais elevados de gradiente de potencial nas superfícies dos condutores, quando também se iniciam as manifestações luminosas. A esse valor de gradiente denominou gradiente crítico visual. Um condutor atinge o gradiente de potencial crítico visual quando o gradiente crítico disruptivo é atingido a uma determinada distância da superfície do condutor, o que é necessário para que o campo elétrico acumule energia suficiente para desencadear o processo. Esta distância, que Peek denominou distância de energia, é igual a $0{,}301/\sqrt{r}$ em atmosfera padrão, onde *r* é o raio do condutor em cm.

De acordo com Peek, o gradiente crítico visual pode ser calculado por:

$$E_{CRVmáx} = 30{,}5 \cdot \left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{r}}\right) \text{ kV/cm} \qquad \textbf{(7.1)}$$

Em sua pesquisa, Peek trabalhou com condutores de pequenos diâmetros, principalmente com superfícies lisas. Peek verificou que o valor de E_{CRV} depende também da densidade do ar, sendo necessário introduzir um elemento de correção em (7.1), que passará a ser escrita:

$$E_{CRV} = 30{,}5 \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{r \cdot \delta}}\right) \text{ kV/cm} \qquad \textbf{(7.2)}$$

Sendo δ a pressão atmosférica relativa, dada por:

$$\delta = \frac{0{,}386 \cdot b}{273 + t} \qquad \textbf{(7.3)}$$

Onde:

t: é a temperatura em °C, que em geral torna-se o valor da temperatura média anual; e

$b = 760 - 0{,}086\ h$, dada em mm Hg, sendo *h* [*m*], sobre o nível do mar, a altitude média local.

Outros pesquisadores, dentre os quais se destacou C. J. Miller Jr., ampliaram o seu campo de observação, verificando que o valor de E_{CRV} depende muito mais das dimensões dos

condutores do que (7.1) parece indicar. Para diâmetros variando de 0,63 a 3,15 cm, a expressão de Miller Jr. é:

$$E_{CRV} = 18{,}11 \cdot \left(1 + \frac{0{,}54187}{\sqrt{r}}\right) \text{ kV/cm} \qquad \textbf{(7.4)}$$

A expressão (7.4) fornece valores muito próximos daqueles encontrados por Peek (7.1). Tanto Miller como Peek introduziram outro fator corretivo para considerar as condições da superfície dos condutores, denominado fator de superfície *m*, que, aplicado sobre a expressão de Miller juntamente com a correção pela densidade do ar, fornece:

$$E_{CRV} = 18{,}11 \cdot m \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0{,}54187}{\sqrt{r \cdot \delta}}\right) \text{ kV/cm} \qquad \textbf{(7.5)}$$

Dos trabalhos de Miller, tem-se a seguinte tabela:

Tabela 7.1 - Fatores de superfície, segundo Miller.

Condições superficiais dos condutores		Fatores de superfície [m]
1	Condutores cilíndricos, polidos e secos	1,00
2	Cabos novos, secos, limpos e sem abrasão	0,92
3	Cabos de cobre expostos ao tempo em atmosfera limpa	0,82
4	Cabos de cobre expostos ao tempo em atmosfera agressiva	0,72
5	Cabos de alumínio novos, limpos e secos, com condições de superfícies decorrentes do grau de cuidado com que foram estendidos nas linhas (médias 0,60)	0,53 a 0,73
6	Cabos molhados, novos ou usados	0,16 a 0,25

Na análise proposta no presente trabalho será adotado o valor 0,8 para o fator *m*.

7.2 - CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL MÉDIO

Em um condutor cilíndrico simples carregado com uma densidade linear de carga q, o campo elétrico sobre sua superfície pode ser descrito por:

$$\dot{E} = \frac{\dot{q}}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r} \qquad \textbf{(7.6)}$$

Onde r é o raio do condutor. Neste caso, o condutor tem simetria radial, que confere uma distribuição uniforme do campo elétrico sobre a sua superfície. Este normalmente não é o caso das linhas de transmissão de EHV, que distribui os condutores em fases e os associa em feixes. Com condutores múltiplos o campo elétrico sobre a superfície dos condutores deixa de ser uniformemente distribuído. Neste caso, pela lei de Gauss, podemos escrever:

$$q = \oint_L \vec{E} \cdot \varepsilon_0 \cdot d\vec{l} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot E_0 \qquad \textbf{(7.7)}$$

Onde *L* é a curva que circunscreve o condutor em sua superfície e *dl* é o elemento diferencial sobre *L*. Sendo E_0 o campo elétrico superficial médio, analogamente à (7.2) pode-se escrever:

$$\dot{E}_0 = \frac{\dot{q}}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r} \qquad \textbf{(7.8)}$$

7.3 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL

O campo elétrico superficial médio foi apresentado e será relacionado ao valor máximo através do fator de irregularidade, mostrado em (7.9).

$$K_i = \frac{E_{\max}}{E_0} \qquad \textbf{(7.9)}$$

Em uma linha com apenas um condutor por fase, o condutor está distante o bastante de outros condutores e do solo de forma que a densidade linear de carga pode ser representada como estando concentrada no eixo longitudinal do condutor (ou no centro do corte transversal) e seu fator de irregularidade será unitário.

O fator de utilização da superfície dos condutores indica o aproveitamento do campo elétrico em relação ao campo elétrico crítico e é apresentado em (7.10).

$$K_{ut} = \frac{E_0}{E_{cr}} = \frac{E_{\max}}{E_{cr}} \cdot \frac{1}{K_i} \qquad \textbf{(7.10)}$$

Na condição limite, $E_{\max} = E_{cr}$ e o fator de utilização será:

$$K_{ut} = \frac{1}{K_i} \qquad \textbf{(7.11)}$$

Uma vez que, por definição, o fator de irregularidade assume valor maior ou igual à unidade, o fator de utilização será um número cujo valor está entre zero e um.

É importante ressaltar que o presente trabalho trata da análise bidimensional do campo elétrico, sendo necessário, no entanto, que se avalie o campo elétrico com cálculo tridimensional nas proximidades da torre. Em [1] foi realizada tal análise, concluindo que é necessária uma solução complementar para se reduzir o campo elétrico próximo às estruturas metálicas da torre e como solução foram apresentadas as propostas de redução dos feixes junto à torre, com diferente tracionamento dos subcondutores, e a colocação de um subcondutor adicional no trecho localizado próximo à torre. Este problema não será abordado no presente trabalho.

7.4 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM FEIXES COM DISPOSIÇÃO REGULAR DE CONDUTORES

Considere o feixe de condutores mostrado na Figura 7.1. Desprezados os efeitos do solo e das outras fases, por simetria, os condutores energizados irão apresentar igual densidade linear de carga *q/n*.

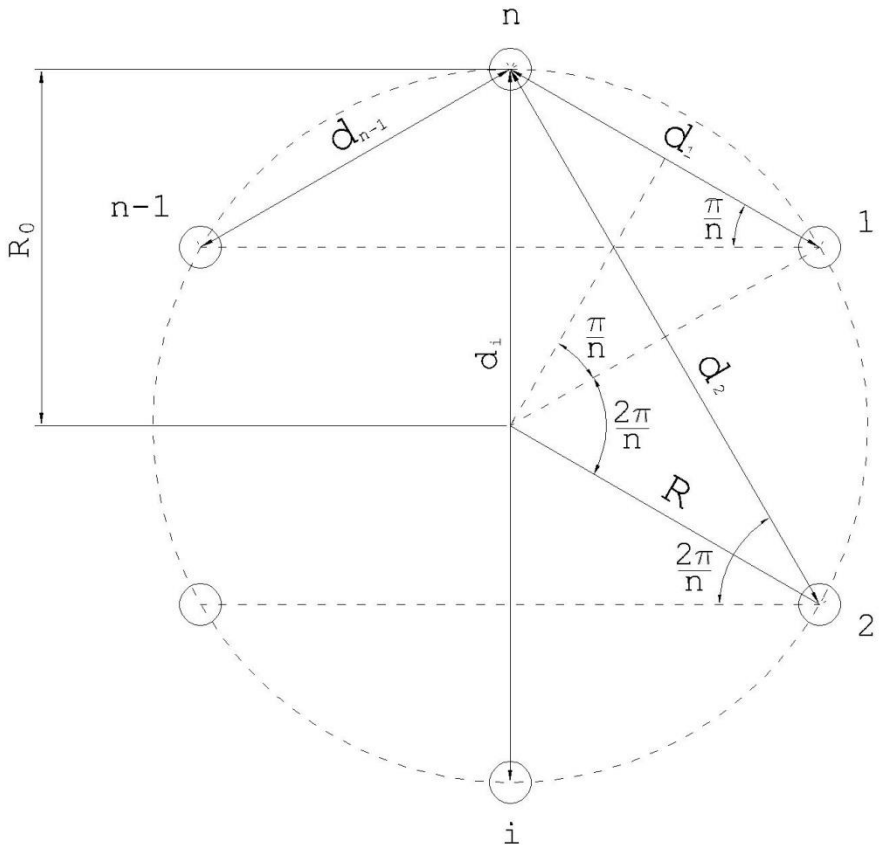

Figura 7.1 - Representação dos parâmetros associados à geometria do feixe.

Excluído o condutor *n*, a contribuição do subcondutor 1 para o campo elétrico sobre a posição do condutor *n* será:

$$E_1 = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n \cdot d_1} \qquad \textbf{(7.12)}$$

A contribuição de um condutor *i* qualquer será:

$$E_i = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n \cdot d_i} \tag{7.13}$$

Através do triângulo isósceles formado pelo centro dos condutores *n* e *i* com o centro do feixe tem-se a relação:

$$\frac{d_i/2}{sen\left(\frac{i \cdot \pi}{n}\right)} = R_0 \tag{7.14}$$

Estendendo (7.14) para os demais condutores tem-se:

$$\frac{d_1}{sen\left(\frac{\pi}{n}\right)} = \frac{d_2}{sen\left(\frac{2 \cdot \pi}{n}\right)} = \cdots = \frac{d_i}{sen\left(\frac{i \cdot \pi}{n}\right)} = \cdots = \frac{d_{n-1}}{sen\left(\frac{(n-1) \cdot \pi}{n}\right)} = 2 \cdot R_0 \tag{7.15}$$

O campo elétrico apresentado em (7.13) pode ser decomposto em duas componentes: um que tangencia a circunferência sobre a qual está disposto o feixe e outra radial. Por simetria, as componentes tangentes serão anuladas duas a duas e caso o número de subcondutores seja par haverá sempre um subcondutor oposto ao subcondutor *n* cuja participação no campo elétrico sobre *n* não possui componente tangente. Assim, restarão apenas as componentes radiais, cujo valor é dado por:

$$E_i^{rad} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n \cdot d_i} \cdot sen\left(\frac{i \cdot \pi}{n}\right) \tag{7.16}$$

Substituindo (7.15) em (7.16), a contribuição radial de cada subcondutor será:

$$E_i^{rad} = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n \cdot R_0} \tag{7.17}$$

Somando-se as contribuições de todos os *n-1* subcondutores tem-se:

$$E = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n} \cdot \frac{(n-1)}{2 \cdot R_0} \tag{7.18}$$

Com a inclusão do condutor *n* descarregado em sua posição original, pela teoria dos campos, o campo elétrico em sua superfície será modificado e dado por:

$$E_s = 2 \cdot E \cdot \cos\theta \tag{7.19}$$

Onde θ é mostrado na Figura 7.2:

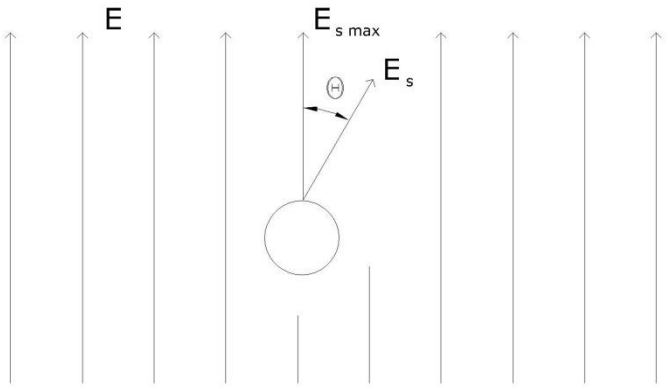

Figura 7.2 - Efeito de um condutor descarregado inserido em um campo elétrico uniforme.

O valor médio desta função será nulo e o valor máximo dado por *2E*, ou seja:

$$E_{s\,\max} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n} \cdot \frac{(n-1)}{R_0} \tag{7.20}$$

Considerando agora o condutor *n* carregado e incluindo sua contribuição, tem-se:

$$E_{s\,\max} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n} \cdot \left[\frac{1}{r} + \frac{(n-1)}{R_0} \right] \tag{7.21}$$

O campo elétrico médio na superfície do condutor *n*, de acordo com a expressão (7.8) será:

$$E_{s\,med} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n \cdot r} \qquad \textbf{(7.22)}$$

Voltando à expressão (7.9) e substituindo (7.21) e (7.22), tem-se:

$$K_i = 1 + \frac{r}{R_0}(n-1) \qquad \textbf{(7.23)}$$

Existe ainda outra consideração a ser feita no cálculo do fator de irregularidade: a influência do campo elétrico sobre os condutores faz com que a representação da densidade linear de carga centrada no eixo longitudinal do condutor deixe de ser verdadeira. De acordo com [1] a densidade de carga, antes assumida sobre a circunferência de raio R_0 mostrada na Figura 7.3, passa a ser representada sobre o raio R_0', ou seja, ocorre o deslocamento da densidade de cargas. Esta conclusão é tomada somando-se os potenciais produzidos por cada condutor na superfície de um condutor específico e então assumindo que o potencial é equivalente na superfície do condutor. Assim, têm-se as condições de contorno necessárias para que o fator de irregularidade seja dado por:

$$K_i = \frac{1}{1 + \frac{(R_0 - R'_0)}{r}} + \frac{r}{R'_0} \cdot (n_s - 1) \qquad \textbf{(7.24)}$$

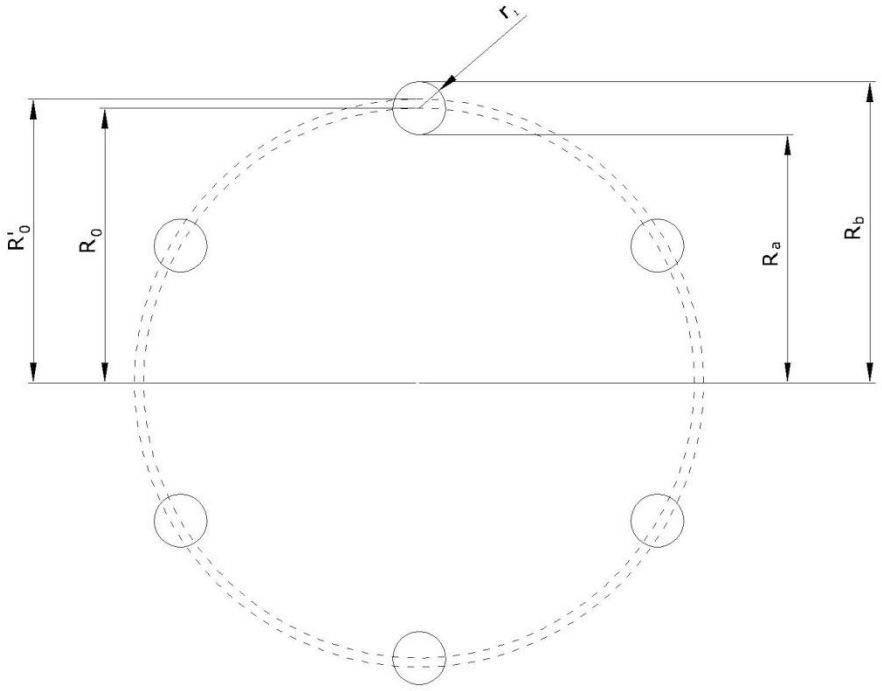

Figura 7.3 - Representação do raio do feixe R_0, do raio expandido R'_0 considerando o deslocamento das linhas de carga e das distâncias R_a e R_b.

Onde:

$$f(R'_0) = (R'_0 + R_a)^{n_s-1} \cdot (R'_0 - R_a) - (R'_0 + R_b)^{n_s-1} \cdot (R_b - R'_0) = 0 \qquad \textbf{(7.25)}$$

De onde, para dois termos da expansão em série de Taylor de $f(R'_0)$ tem-se:

$$R'_0 = R_0 + \frac{r \cdot \left[(1+\alpha)^{n_s-1} - (1-\alpha)^{n_s-1}\right]}{\alpha(n_s-1)\left[(1-\alpha)^{n_s-2} - (1+\alpha)^{n_s-2}\right] + (1-\alpha)^{n_s-1} + (1+\alpha)^{n_s-1}} \qquad \textbf{(7.26)}$$

Sendo:

$$\alpha = \frac{r}{2R_0} \qquad \textbf{(7.27)}$$

Para condutores suficientemente afastados, ou seja, com $\alpha \to 0$ tem-se $R'_0 \approx R_0$ e a expressão (7.24) assume o valor dado por (7.23).

É importante lembrar que estas expressões foram desenvolvidas para feixes circulares e simétricos, onde o campo elétrico resultante sobre cada condutor é radial e, portanto, o deslocamento da linha de carga será radial e finalmente o campo elétrico causado pelo próprio condutor será mais intenso na direção radial.

7.5 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM FEIXES COM DISPOSIÇÃO QUALQUER DE CONDUTORES

Nota-se em [17] o desenvolvimento de uma expressão que também tem o objetivo de modelar o campo elétrico na superfície dos condutores, neste trabalho traçam-se os cilindros correspondentes às equipotenciais formadas pelo conjunto linhas de densidade linear de carga elétrica e o campo elétrico é obtido em função de sua configuração (distâncias), cuja expressão convertida em uma função cossenoidal do ângulo que circunscreve o cilindro em série harmônica dependente da própria configuração. Com a aplicação do método das imagens sucessivas é obtido o valor do campo elétrico na superfície dos cilindros que representam os condutores. Constrastando com esta metodologia, o presente trabalho apresenta expressões do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com base nas mesmas premissas apresentadas na seção 7.4.

Seja um feixe com n subcondutores submetidos a um potencial V. O campo elétrico sobre um subcondutor p qualquer, devido à presença de carga nos outros condutores será:

$$\vec{E}_r^{\,p} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{1}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p} \right) \qquad \textbf{(7.28)}$$

Onde $d_{i,p}$ é a distância entre os condutores i e p. Considere o ponto b_p, mostrado na Figura 7.4, localizado na superfície do condutor p, tal que a linha que o une com o centro do condutor esteja na direção do campo elétrico resultante dado em (7.28). Considere também o ponto a_p localizado opostamente a b_p em relação ao centro do condutor.

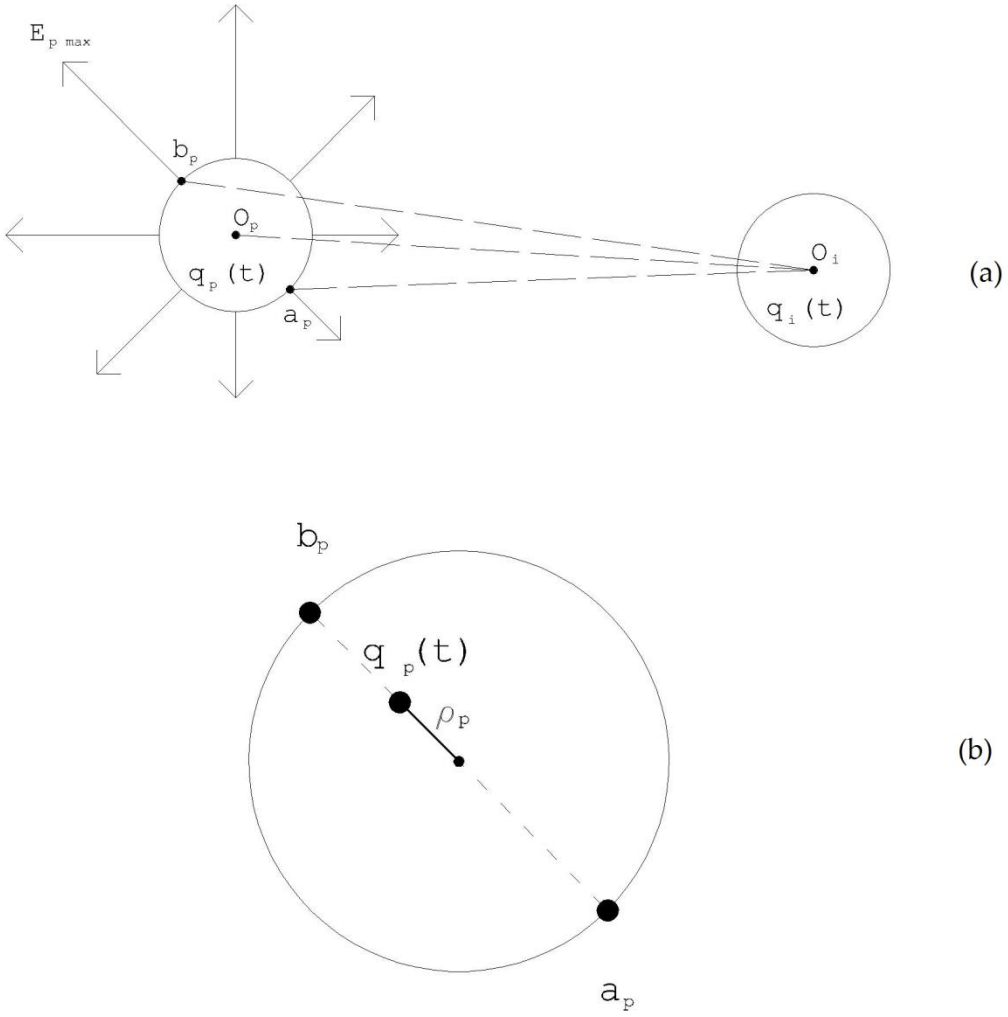

Figura 7.4 - Grandezas associadas ao cálculo do fator de irregularidade de feixes assimétricos: distâncias entre condutores (a) e deslocamento da linha de carga no interior do condutor (b).

Pode-se assumir que:

- O potencial em toda a superfície do condutor *p* é constante;
- A linha que representa a densidade de carga do condutor *p* está deslocada, em coordenadas polares, de ρ_p em relação ao centro do condutor *p*, na direção e sentido do campo elétrico resultante sobre o condutor *p*;

O potencial elétrico no ponto a_p, levando em conta as cargas dos demais condutores, é dado por:

$$u_{a_p} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{q_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{d_{p_i,a_p}}\right) + \frac{q_p}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{r + \rho_p}\right) \qquad \textbf{(7.29)}$$

E o potencial elétrico no ponto b_p vale:

$$u_{b_p} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{q_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{d_{p_i,b_p}}\right) + \frac{q_p}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{r - \rho_p}\right) \qquad \textbf{(7.30)}$$

As distâncias d_{p_i,a_p} e d_{p_i,b_p} se referem aos pontos p_i, a_p e b_p. O ponto p_i representa a posição da linha de carga do condutor *i* no corte transversal dos condutores.

Lembrando que o potencial elétrico sobre a superfície do condutor é constante, temos que $u_{a_p} = u_{b_p}$. Igualando a (7.29) com a (7.30) temos:

$$\begin{aligned} &\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{q_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{d_{p_i,a_p}}\right) + \frac{q_p}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{r + \rho_p}\right) = \cdots \\ &\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{q_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{d_{p_i,b_p}}\right) + \frac{q_p}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{r - \rho_p}\right) \end{aligned} \qquad \textbf{(7.31)}$$

Se as cargas estão distribuídas uniformemente entre os subcondutores então:

$$\begin{aligned} &\frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \ln\left(\frac{1}{d_{p_i,a_p}}\right) + \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{r + \rho_p}\right) = \cdots \\ &\frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \ln\left(\frac{1}{d_{p_i,b_p}}\right) + \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{1}{r - \rho_p}\right) \end{aligned} \qquad \textbf{(7.32)}$$

Simplificando a expressão tem-se:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \ln\left(\frac{1}{d_{p_i,a_p}}\right) + \ln\left(\frac{1}{r+\rho_p}\right) = \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \ln\left(\frac{1}{d_{p_i,b_p}}\right) + \ln\left(\frac{1}{r-\rho_p}\right) \tag{7.33}$$

Escrevendo de outra maneira:

$$\ln\left(\prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \frac{1}{d_{p_i,a_p}} \cdot \frac{1}{r+\rho_p}\right) = \ln\left(\prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \frac{1}{d_{p_i,b_p}} \cdot \frac{1}{r-\rho_p}\right) \tag{7.34}$$

Ou ainda:

$$\prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \frac{1}{d_{p_i,a_p}} \cdot \frac{1}{r+\rho_p} = \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \frac{1}{d_{p_i,b_p}} \cdot \frac{1}{r-\rho_p} \tag{7.35}$$

O deslocamento das linhas de carga normalmente será muito inferior às distâncias entre os condutores, de forma que para $i \neq p$ são válidas as aproximações:

$$d_{p_i,a_p} \approx d_{O_i,a_p} \tag{7.36}$$

$$d_{p_i,b_p} \approx d_{O_i,b_p} \tag{7.37}$$

Onde o ponto O_i se refere ao centro do condutor *i*. Podemos então definir:

$$A_p = \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \frac{1}{d_{p_i,a_p}} \approx \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \frac{1}{d_{O_i,a_p}} \tag{7.38}$$

$$B_p = \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \frac{1}{d_{p_i,b_p}} \approx \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n} \frac{1}{d_{O_i,b_p}} \tag{7.39}$$

Tal que:

$$A_p \cdot \frac{1}{r+\rho_p} = B_p \cdot \frac{1}{r-\rho_p} \tag{7.40}$$

Isolando ρ_p na equação temos:

$$\rho_p = r \cdot \frac{A_p - B_p}{A_p + B_p} \tag{7.41}$$

Considerando o efeito da presença do condutor *p* sob o campo elétrico gerado pelos outros condutores, considerado uniforme em sua vizinhança, o campo elétrico sobre sua superfície fica modificado de acordo com a expressão (7.19). Incluindo a parcela devida à carga do próprio condutor *p* e, retomando a expressão (7.28), o campo elétrico no ponto a_p pode ser escrito como:

$$\vec{E}_{a_p} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{1}{r+\rho_p} \cdot \hat{e}_p - 2 \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{1}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p} \right] \tag{7.42}$$

E o campo elétrico no ponto b_p:

$$\vec{E}_{b_p} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{1}{r-\rho_p} \cdot \hat{e}_p + 2 \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{1}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p} \right] \tag{7.43}$$

Onde $\hat{e}_p$ é o vetor unitário de mesma direção e sentido que o campo elétrico resultante sobre o condutor *p* devido às cargas dos outros condutores.

Como o deslocamento da linha de carga é na direção do campo elétrico resultante, o ponto onde o campo elétrico atinge o valor mais elevado é o ponto b_p. Assim, podemos definir o máximo campo elétrico sobre a superfície do condutor *p* como:

$$\vec{E}_{\max}^{\,p} = \vec{E}_{b_p} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{1}{r - \rho_p} \cdot \hat{e}_p + 2 \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{1}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p} \right] \tag{7.44}$$

$$\vec{E}_{\max}^{\,p} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{1}{r - r \cdot \dfrac{A_p - B_p}{A_p + B_p}} \cdot \hat{e}_p + 2 \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{1}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p} \right] \tag{7.45}$$

$$\vec{E}_{\max}^{\,p} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r} \cdot \left[\frac{1}{1 - \dfrac{A_p - B_p}{A_p + B_p}} \cdot \hat{e}_p + 2 \cdot r \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{1}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p} \right] \tag{7.46}$$

Retomando a expressão (7.9) podemos escrever o fator de irregularidade do campo elétrico sobre a superfície do condutor *p*:

$$K_i^{\,p} = \frac{E_{\max}^{\,p}}{E_0} = \left| \frac{1}{1 - \dfrac{A_p - B_p}{A_p + B_p}} \cdot \hat{e}_p + 2 \cdot r \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n} \frac{1}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p} \right| \tag{7.47}$$

7.6 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DAS OUTRAS FASES

Nos tópicos anteriores, foi realizado o cálculo da irregularidade do campo elétrico superficial sobre os condutores de um feixe energizado. Este tópico irá incluir nos cálculos o efeito da presença das outras duas fases energizadas, podendo ser aplicado a uma linha trifásica.

Cada condutor da linha energizada estará carregado com carga igual a:

$$\dot{q}_i = \sum_{k=1}^{n_{cond}} C_{i,k} \cdot \dot{V}_k \tag{7.48}$$

Onde $C_{i,k}$ representa a capacitância mútua entre o condutor i e o condutor k e para $i = k$ a capacitância própria do condutor. O fasor de tensão sobre o condutor k é representado por $\dot{V}_k$.

Separando os termos por fase temos:

$$\dot{q}_i = \sum_{k=1}^{n} C_{i,a_k} \cdot \dot{V}_{a_k} + \sum_{k=1}^{n} C_{i,b_k} \cdot \dot{V}_{b_k} + \sum_{k=1}^{n} C_{i,c_k} \cdot \dot{V}_{c_k} \tag{7.49}$$

Para operação em regime equilibrado de sequência positiva as tensões de cada fase estão defasadas de 120º, neste caso podemos escrever:

$$\dot{q}_i = V \cdot \left(\sum_{k=1}^{n} C_{i,a_k} + \sum_{k=1}^{n} a^2 \cdot C_{i,b_k} + \sum_{k=1}^{n} a \cdot C_{i,c_k} \right) \tag{7.50}$$

Onde *V* é a amplitude das tensões aplicadas. No domínio do tempo temos:

$$q_i(t) = V \cdot \begin{bmatrix} \left(\sum_{k=1}^{n} C_{i,a_k} \right) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \cdots \\ \left(\sum_{k=1}^{n} C_{i,b_k} \right) \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3} \right) + \cdots \\ \left(\sum_{k=1}^{n} C_{i,c_k} \right) \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3} \right) \end{bmatrix} \tag{7.51}$$

Definindo as capacitâncias acumuladas entre o condutor *i* e os condutores das fases *a*, *b* e *c* respectivamente como:

$$C_i^a = \sum_{k=1}^{n} C_{i,a_k} \tag{7.52}$$

$$C_i^b = \sum_{k=1}^{n} C_{i,b_k} \tag{7.53}$$

$$C_i^c = \sum_{k=1}^{n} C_{i,c_k} \tag{7.54}$$

Podemos reescrever (7.51) na forma:

$$q_i(t) = V \cdot \left[C_i^a \cdot \cos(\omega \cdot t) + C_i^b \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3} \right) + C_i^c \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3} \right) \right] \tag{7.55}$$

Temos então três termos variando no tempo com velocidade angular ω e defasados entre si. No segundo termo é válida a seguinte relação trigonométrica:

$$\cos\left(\omega \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3} \right) = \cos\left(\frac{4 \cdot \pi}{3} \right) \cdot \cos(\omega \cdot t) - sen\left(\frac{4 \cdot \pi}{3} \right) \cdot sen(\omega \cdot t) \tag{7.56}$$

$$\cos\left(\omega \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3} \right) = -\frac{1}{2} \cdot \cos(\omega \cdot t) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot sen(\omega \cdot t) \tag{7.57}$$

E no terceiro termo apresenta-se a seguinte relação trigonométrica:

$$\cos\left(\omega \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3} \right) = \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{3} \right) \cdot \cos(\omega \cdot t) - sen\left(\frac{2 \cdot \pi}{3} \right) \cdot sen(\omega \cdot t) \tag{7.58}$$

$$\cos\left(\omega \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3} \right) = -\frac{1}{2} \cdot \cos(\omega \cdot t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot sen(\omega \cdot t) \tag{7.59}$$

Após algumas manipulações algébricas estas relações permitem reescrever (7.55) na forma:

$$q_i(t) = V \cdot \left[\left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot sen(\omega \cdot t) \right] \quad \textbf{(7.60)}$$

Derivando q_i no tempo temos:

$$\frac{\partial q_i(t)}{\partial t} = V \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left[\left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot sen(\omega \cdot t) \right] \quad \textbf{(7.61)}$$

Resultando em:

$$\frac{\partial q_i(t)}{\partial t} = V \cdot \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) - \left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) \cdot \omega \cdot sen(\omega \cdot t) \right] \quad \textbf{(7.62)}$$

O campo elétrico sobre a superfície do condutor *i* é predominantemente determinado pelas cargas dos condutores mais próximos e principalmente pela carga presente no próprio condutor *i*, visto que o campo elétrico é proporcional ao inverso da distância às cargas. Podemos então afirmar que o instante em que ocorre o campo elétrico máximo será muito próximo do instante em que a carga do condutor *i* atinge seu valor máximo. Este instante ocorre quando a derivada da carga em relação ao tempo é nula, ou seja:

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot \omega \cdot \cos\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right) - \left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) \cdot \omega \cdot sen\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right) = 0 \quad \textbf{(7.63)}$$

Isolando na equação o termo dependente do tempo temos:

$$\tan\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right) = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right)}{2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right)} \quad \textbf{(7.64)}$$

Com o tempo de ocorrência de máxima carga definido, a carga máxima pode ser escrita como:

$$q_{i\ \max} = V \cdot \left[\left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) \cdot \cos\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot sen\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right) \right] \quad \textbf{(7.65)}$$

Dividindo a equação por $\cos\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right)$ temos:

$$\frac{q_{i\ \max}}{\cos\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right)} = V \cdot \left[\left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot \tan\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right) \right] \quad \textbf{(7.66)}$$

Substituindo a expressão (7.64) tem-se:

$$\frac{q_{i\ \max}}{\cos\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right)} = V \cdot \left[\left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right)}{2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right)} \right] \quad \textbf{(7.67)}$$

$$\frac{q_{i\ \max}}{\cos\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right)} = V \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) + \frac{3 \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right)^2}{2 \cdot \left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right) \right)} \right] \quad \textbf{(7.68)}$$

$$q_{i\ \max} = V \cdot \cos\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right) \cdot \left[\frac{\left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right) \right)^2 + 3 \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right)^2}{2 \cdot \left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right) \right)} \right] \quad \textbf{(7.69)}$$

Fazendo uso da propriedade:

$$\cos\left(\arctan\left(a \right) \right) = \frac{1}{\sqrt{1 + a^2}} \quad \textbf{(7.70)}$$

A expressão (7.64) permite escrever:

$$\cos\left(\omega \cdot t_{\max}^i \right) = \cos\left(\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right)}{2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right)} \right) \right) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right)}{2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right)} \right)^2}} \quad \textbf{(7.71)}$$

$$\cos\left(\omega \cdot t_{\max}^{i}\right) = \frac{2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c\right)}{\sqrt{\left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c\right)\right)^2 + \left(\sqrt{3} \cdot \left(C_i^b - C_i^c\right)\right)^2}} \tag{7.72}$$

Voltando à expressão (7.69) e substituindo (7.72) temos:

$$q_{i\ \max} = V \cdot \frac{\left[2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c\right)\right] \cdot \left[\frac{\left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c\right)\right)^2 + 3 \cdot \left(C_i^b - C_i^c\right)^2}{2 \cdot \left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c\right)\right)}\right]}{\sqrt{\left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c\right)\right)^2 + \left(\sqrt{3} \cdot \left(C_i^b - C_i^c\right)\right)^2}} \tag{7.73}$$

Simplificando a expressão:

$$q_{i\ \max} = \frac{V}{2} \cdot \sqrt{\left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c\right)\right)^2 + \left(\sqrt{3} \cdot \left(C_i^b - C_i^c\right)\right)^2} \tag{7.74}$$

Definindo agora o campo elétrico máximo sobre o condutor *p* como a soma das contribuições de todos os condutores da linha no instante em que sua carga atinge o valor máximo:

$$\vec{E}_{\max}^{p} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{q_{p\ \max}}{r - \rho_p} \cdot \hat{e}_p + 2 \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \frac{q_i\left(t_{\max}^{p}\right)}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p}\right] \tag{7.75}$$

E definindo o valor médio do campo elétrico sobre o condutor *p* no instante de ocorrência de máxima carga:

$$E_{0\ \max} = \frac{q_{p\ \max}}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r} \tag{7.76}$$

O fator de irregularidade pode ser definido como:

$$K_i^p = \frac{E_{\max}^p}{E_{0\ \max}} = \left| \frac{1}{1 - \dfrac{A_p - B_p}{A_p + B_p}} \cdot \widehat{e}_p + 2 \cdot r \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p} \frac{1}{d_{i,p}} \cdot \hat{d}_{i,p} \right| \tag{7.77}$$

Onde:

$$\alpha_{i,p} = \frac{q_i\left(t_{\max}^p\right)}{q_{p\ \max}} \tag{7.78}$$

É a relação entre a carga do condutor *i* e a carga do condutor *p* no instante em que a carga no condutor *p* atinge seu valor máximo. Substituindo (7.60) e (7.69) em (7.78) temos:

$$\alpha_{i,p} = \frac{V \cdot \left[\left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) \cdot \cos\left(\omega \cdot t_{\max}^p \right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot sen\left(\omega \cdot t_{\max}^p \right) \right]}{V \cdot \cos\left(\omega \cdot t_{\max}^p \right) \cdot \left[\frac{\left(2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c \right) \right)^2 + 3 \cdot \left(C_p^b - C_p^c \right)^2}{2 \cdot \left(2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c \right) \right)} \right]} \tag{7.79}$$

Simplificando a expressão e substituindo (7.64) resulta em:

$$\alpha_{i,p} = \frac{\left[\left(C_i^a - \frac{1}{2} \cdot \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \left(C_p^b - C_p^c \right)}{2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c \right)} \right]}{\left[\frac{\left(2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c \right) \right)^2 + 3 \cdot \left(C_p^b - C_p^c \right)^2}{2 \cdot \left(2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c \right) \right)} \right]} \tag{7.80}$$

$$\alpha_{i,p} = \frac{\left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c \right) \right) \cdot \left(2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c \right) \right) + 3 \cdot \left(C_i^b - C_i^c \right) \cdot \left(C_p^b - C_p^c \right)}{\left(2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c \right) \right)^2 + 3 \cdot \left(C_p^b - C_p^c \right)^2} \tag{7.81}$$

Os valores de A_p e B_p, definidos nos tópicos anteriores, podem agora ser redefinidos considerando-se a presença dos condutores das outras fases. Igualando-se os potenciais nos pontos a_p e b_p, tem-se:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}} \frac{q_i\left(t^p_{\max}\right)}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\ln\left(\frac{1}{d_{p_i,a_p}}\right)+\frac{q_{p\ \max}}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\ln\left(\frac{1}{r+\rho_p}\right)=\cdots$$
$$\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}} \frac{q_i\left(t^p_{\max}\right)}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\ln\left(\frac{1}{d_{p_i,b_p}}\right)+\frac{q_{p\ \max}}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\ln\left(\frac{1}{r-\rho_p}\right) \quad \textbf{(7.82)}$$

Ou simplesmente:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}} q_i\left(t^p_{\max}\right)\cdot\ln\left(\frac{1}{d_{p_i,a_p}}\right)+q_{p\ \max}\cdot\ln\left(\frac{1}{r+\rho_p}\right)=\cdots$$
$$\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}} q_i\left(t^p_{\max}\right)\cdot\ln\left(\frac{1}{d_{p_i,b_p}}\right)+q_{p\ \max}\cdot\ln\left(\frac{1}{r-\rho_p}\right) \quad \textbf{(7.83)}$$

Aplicando as propriedades do logaritmo:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}} \ln\left(\frac{1}{\left(d_{p_i,a_p}\right)^{q_i\left(t^p_{\max}\right)}}\right)+\ln\left(\frac{1}{\left(r+\rho_p\right)^{q_{p\ \max}}}\right)=\cdots$$
$$\sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}} \ln\left(\frac{1}{\left(d_{p_i,b_p}\right)^{q_i\left(t^p_{\max}\right)}}\right)+\ln\left(\frac{1}{\left(r-\rho_p\right)^{q_{p\ \max}}}\right) \quad \textbf{(7.84)}$$

Representando em outra forma:

$$\ln\left(\frac{1}{\left(r+\rho_p\right)^{q_{p\ \max}}}\cdot\prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{p_i,a_p}\right)^{q_i\left(t^p_{\max}\right)}}\right)=\cdots$$
$$\ln\left(\frac{1}{\left(r-\rho_p\right)^{q_{p\ \max}}}\cdot\prod_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{p_i,b_p}\right)^{q_i\left(t^p_{\max}\right)}}\right) \quad \textbf{(7.85)}$$

$$\frac{1}{\left(r+\rho_p\right)^{q_{p\ \max}}}\cdot\prod_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{p_i,a_p}\right)^{q_i\left(t^p_{\max}\right)}}=\frac{1}{\left(r-\rho_p\right)^{q_{p\ \max}}}\cdot\prod_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{p_i,b_p}\right)^{q_i\left(t^p_{\max}\right)}} \qquad \textbf{(7.86)}$$

Considerando que para $i \neq p$ sejam válidas as aproximações:

$$d_{p_i,a_p} \approx d_{O_i,a_p} \qquad \textbf{(7.87)}$$

$$d_{p_i,b_p} \approx d_{O_i,b_p} \qquad \textbf{(7.88)}$$

Então definimos:

$$A_p=\prod_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{p_i,a_p}\right)^{\alpha_{i,p}}}\approx\prod_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{O_i,a_p}\right)^{\alpha_{i,p}}} \qquad \textbf{(7.89)}$$

$$B_p=\prod_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{p_i,b_p}\right)^{\alpha_{i,p}}}\approx\prod_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{O_i,b_p}\right)^{\alpha_{i,p}}} \qquad \textbf{(7.90)}$$

Tal que:

$$A_p\cdot\frac{1}{r+\rho_p}=B_p\cdot\frac{1}{r-\rho_p} \qquad \textbf{(7.91)}$$

Que nos remete à expressão (7.40).

Se considerarmos apenas uma fase isoladamente veremos que $\alpha_{i,p}=1$ para qualquer par de condutores *i* e *p*, e o fator de irregularidade será igual ao obtido no tópico anterior, que é, portanto, um caso específico da formulação desenvolvida neste tópico.

7.7 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM CADA UMA DAS FASES

Considera-se agora que o fator de irregularidade é a razão entre o valor máximo do campo elétrico que se apresenta na superfície de qualquer um dos subcondutores da fase e o campo elétrico superficial médio da superfície de todos os subcondutores.

O campo elétrico superficial médio é agora calculado como:

$$E_{0\ \max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} E_{0\ \max}^{i} \tag{7.92}$$

Substituindo a expressão do campo elétrico superficial médio de cada condutor:

$$E_{0\ \max} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{q_{i\ \max}}{r_i} \right) \tag{7.93}$$

E o campo elétrico superficial máximo será:

$$E_{\max} = \max_{p \in F} \left(E_{\max}^{p} \right) = \max_{p \in F} \left(K_i^{p} \cdot E_{0\ \max}^{p} \right) \tag{7.94}$$

Ou então:

$$E_{\max} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \max_{p \in F} \left(K_i^{p} \cdot \frac{q_{p\ \max}}{r_p} \right) \tag{7.95}$$

Onde F é o conjunto dos subcondutores da fase que contém o subcondutor p. Substituindo (7.93) e (7.95) na expressão do fator de irregularidade tem-se:

(7.96)

$$K_i = \frac{E_{\max}}{E_{0\ \max}} = \frac{\max\limits_{p \in F}\left(\dfrac{K_i^p \cdot q_{p\ \max}}{r_p} \right)}{\dfrac{1}{n} \cdot \sum\limits_{i=1}^{n}\left(\dfrac{q_{i\ \max}}{r_i} \right)}$$

Se os subcondutores têm raios iguais, a expressão se reduz a:

$$K_i = \frac{\max\limits_{p \in F}\left(K_i^p \cdot q_{p\ \max} \right)}{\dfrac{1}{n} \cdot \sum\limits_{i=1}^{n}\left(q_{i\ \max} \right)} \qquad \textbf{(7.97)}$$

Se a relação $q_{p\ \max}/r_p$ é mantida constante, tem-se:

$$K_i = \max_{p \in F}\left(K_i^p \right) \qquad \textbf{(7.98)}$$

Na expressão (7.96) foi introduzida a razão $q_{p\ \max}/r_p$, carga por unidade de raio, que fica dividida pelo valor médio na fase da mesma relação. Pode-se então definir o fator de distribuição de cargas, que irá introduzir a correção da irregularidade do campo elétrico superficial quanto à distribuição de cargas:

$$K_c^p = \frac{\dfrac{q_{p\ \max}}{r_p}}{\dfrac{1}{n} \cdot \sum\limits_{i=1}^{n}\left(\dfrac{q_{i\ \max}}{r_i} \right)} \qquad \textbf{(7.99)}$$

Definindo C_p como a capacitância do subcondutor p no modo de sequência positiva, ou seja, a razão entre o módulo da carga do condutor p e a tensão de fase de operação do sistema, tem-se:

$$K_c^p = \frac{\dfrac{\sqrt{2} \cdot V \cdot C_p}{r_p}}{\dfrac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(\dfrac{\sqrt{2} \cdot V \cdot C_i}{r_i} \right)} \qquad \textbf{(7.100)}$$

Ou simplesmente:

$$K_c^p = \frac{\dfrac{C_p}{r_p}}{\dfrac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(\dfrac{C_i}{r_i} \right)} \qquad \textbf{(7.101)}$$

Se todos os subcondutores têm raios iguais a expressão (7.101) passa a ser:

$$K_c^p = \frac{C_p}{\dfrac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} (C_i)} \qquad \textbf{(7.102)}$$

Assim, para uma determinada fase o fator de irregularidade do campo elétrico passa a ser:

$$K_i = \max_{p \in F} \left(K_i^p \cdot K_c^p \right) \qquad \textbf{(7.103)}$$

7.8 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL PARA TODA A LINHA

Estendendo a expressão (7.96) para todos os condutores da linha, tem-se:

$$K_i = \frac{E_{\max}}{E_{0\ \max}} = \frac{\max\limits_{p \in T} \left(\dfrac{K_i^p \cdot q_{p\ \max}}{r_p} \right)}{\dfrac{1}{n_{cond}} \cdot \sum_{i=1}^{n_{cond}} \left(\dfrac{q_{i\ \max}}{r_i} \right)} \qquad \textbf{(7.104)}$$

Onde T é o conjunto de todos os condutores da linha, sendo a expressão (7.103) também válida.

Pode-se definir então o fator de utilização da superfície dos condutores da linha como inversamente proporcional à irregularidade do campo elétrico superficial:

$$K_{ut} = \frac{1}{K_i} = \frac{1}{\max\limits_{p \in T}\left(K_i^p \cdot K_c^p\right)} \tag{7.105}$$

7.9 - EXPRESSÃO APROXIMADA DA POTÊNCIA CARACTERÍSTICA

O valor máximo do campo elétrico atingido na superfície dos condutores é:

$$E_{\max} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \max_{p \in T}\left(K_i^p \cdot \frac{q_{p\ \max}}{r_p}\right) \tag{7.106}$$

Ou em função de C_p:

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{2} \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \max_{p \in T}\left(K_i^p \cdot \frac{C_p}{r_p}\right) \tag{7.107}$$

Isolando V na equação tem-se:

$$V = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot E_{\max} \cdot \frac{1}{\max\limits_{p \in T}\left(K_i^p \cdot \frac{C_p}{r_p}\right)} \tag{7.108}$$

A potência característica é dada por:

$$P_c = \frac{3 \cdot V^2}{Z_c} \tag{7.109}$$

Substituindo a expressão de V apresentado em (7.108), tem-se:

$$P_c = 6 \cdot \pi^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot E_{\max}^2 \cdot \frac{1}{\left[\max_{p \in T} \left(K_i^p \cdot \frac{C_p}{r_p} \right) \right]^2} \cdot \frac{1}{Z_c} \qquad \textbf{(7.110)}$$

CAPÍTULO 8 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES

8.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as derivadas do fator de irregularidade do campo elétrico superficial em relação às posições horizontais e verticais dos condutores, dadas na silhueta da torre. O valor das derivadas vai fornecer a sensibilidade dos fatores de irregularidade em relação às posições dos condutores e irá permitir a aplicação do método do gradiente.

8.2 - SENSIBILIDADE DA IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES

Seja K_i^p a irregularidade do campo elétrico superficial do condutor *p*. A derivada de K_i^p em relação à posição horizontal do condutor *k* vale:

$$\frac{\partial K_i^p}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\frac{1}{1-\dfrac{A_p - B_p}{A_p + B_p}} + 2\cdot r\cdot\frac{\partial}{\partial x_k}\left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\alpha_{i,p}\cdot\frac{1}{d_{i,p}}\cdot\hat{d}_{i,p}\right| \qquad \textbf{(8.1)}$$

$$\frac{\partial K_i^p}{\partial x_k} = \frac{B_p\cdot\dfrac{\partial A_p}{\partial x_k} - A_p\cdot\dfrac{\partial B_p}{\partial x_k}}{2\cdot {B_p}^2} + 2\cdot r\cdot\frac{\partial}{\partial x_k}\left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\alpha_{i,p}\cdot\frac{1}{d_{i,p}}\cdot\hat{d}_{i,p}\right| \qquad \textbf{(8.2)}$$

A derivada do termo A_p em relação a x_k vale:

$$\frac{\partial A_p}{\partial x_k} \approx \frac{\partial}{\partial x_k}\prod_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\frac{1}{\left(d_{O_i,a_p}\right)^{\alpha_{i,p}}} \qquad \textbf{(8.3)}$$

Pela regra da derivada do produto de funções:

$$\frac{\partial A_p}{\partial x_k} \approx \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \left[\frac{\partial \left(d_{O_i,a_p} \right)^{-\alpha_{i,p}}}{\partial x_k} \cdot \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq i \\ m \neq p}}^{n_{cond}} \left(d_{O_m,a_p} \right)^{-\alpha_{m,p}} \right] \tag{8.4}$$

$$\frac{\partial A_p}{\partial x_k} \approx \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \left[\frac{\partial \left(d_{O_i,a_p} \right)^{-\alpha_{i,p}}}{\partial x_k} \cdot \frac{A_p}{\left(d_{O_i,a_p} \right)^{-\alpha_{i,p}}} \right] \tag{8.5}$$

Onde:

$$\frac{\partial \left(d_{O_i,a_p} \right)^{-\alpha_{i,p}}}{\partial x_k} = -\left(d_{O_i,a_p} \right)^{-(\alpha_{i,p}+1)} \cdot \left[d_{O_i,a_p} \cdot \ln\left(d_{O_i,a_p} \right) \cdot \frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial x_k} + \alpha_{i,p} \cdot \frac{\partial d_{O_i,a_p}}{\partial x_k} \right] \tag{8.6}$$

Assim:

$$\frac{\partial A_p}{\partial x_k} \approx \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \left\{ -\frac{A_p}{d_{O_i,a_p}} \cdot \left[d_{O_i,a_p} \cdot \ln\left(d_{O_i,a_p} \right) \cdot \frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial x_k} + \alpha_{i,p} \cdot \frac{\partial d_{O_i,a_p}}{\partial x_k} \right] \right\} \tag{8.7}$$

$$\frac{\partial A_p}{\partial x_k} \approx -A_p \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \left[\ln\left(d_{O_i,a_p} \right) \cdot \frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial x_k} + \frac{\alpha_{i,p}}{d_{O_i,a_p}} \cdot \frac{\partial d_{O_i,a_p}}{\partial x_k} \right] \tag{8.8}$$

Onde:

$$\frac{\partial d_{O_i,a_p}}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \sqrt{\left(x_p - r \cdot e_{p_x} - x_i \right)^2 + \left(y_p - r \cdot e_{p_y} - y_i \right)^2} \tag{8.9}$$

Para $k = p$:

$$\frac{\partial d_{O_i,a_k}}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\sqrt{\left(x_k - r\cdot e_{p_x} - x_i\right)^2 + \left(y_k - r\cdot e_{p_y} - y_i\right)^2} \tag{8.10}$$

$$\frac{\partial d_{O_i,a_k}}{\partial x_k} = \frac{x_k - r\cdot e_{p_x} - x_i}{\sqrt{\left(x_k - r\cdot e_{p_x} - x_i\right)^2 + \left(y_k - r\cdot e_{p_y} - y_i\right)^2}} \tag{8.11}$$

$$\frac{\partial d_{O_i,a_k}}{\partial x_k} = \frac{x_k - r\cdot e_{p_x} - x_i}{d_{O_i,a_k}} \tag{8.12}$$

Para $k = i$:

$$\frac{\partial d_{O_k,a_p}}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\sqrt{\left(x_p - r\cdot e_{p_x} - x_k\right)^2 + \left(y_p - r\cdot e_{p_y} - y_k\right)^2} \tag{8.13}$$

$$\frac{\partial d_{O_k,a_p}}{\partial x_k} = -\frac{x_p - r\cdot e_{p_x} - x_k}{\sqrt{\left(x_p - r\cdot e_{p_x} - x_k\right)^2 + \left(y_p - r\cdot e_{p_y} - y_k\right)^2}} \tag{8.14}$$

$$\frac{\partial d_{O_k,a_p}}{\partial x_k} = -\frac{x_p - r\cdot e_{p_x} - x_k}{d_{O_k,a_p}} \tag{8.15}$$

Para $k \neq p$ e $k \neq i$:

$$\frac{\partial d_{O_i,a_p}}{\partial x_k} = 0 \tag{8.16}$$

E as derivadas em relação às posições verticais dos condutores serão:

$$\frac{\partial d_{O_i,a_p}}{\partial y_k} = \frac{\partial}{\partial y_k}\sqrt{\left(x_p - r\cdot e_{p_x} - x_i\right)^2 + \left(y_p - r\cdot e_{p_y} - y_i\right)^2} \tag{8.17}$$

Para $k = p$:

$$\frac{\partial d_{O_i,a_k}}{\partial y_k} = \frac{\partial}{\partial y_k}\sqrt{\left(x_k - r\cdot e_{p_x} - x_i\right)^2 + \left(y_k - r\cdot e_{p_y} - y_i\right)^2} \tag{8.18}$$

$$\frac{\partial d_{O_i,a_k}}{\partial y_k} = \frac{y_k - r\cdot e_{p_y} - y_i}{d_{O_i,a_k}} \tag{8.19}$$

Para $k = i$:

$$\frac{\partial d_{O_k,a_p}}{\partial y_k} = \frac{\partial}{\partial y_k}\sqrt{\left(x_p - r\cdot e_{p_x} - x_k\right)^2 + \left(y_p - r\cdot e_{p_y} - y_k\right)^2} \tag{8.20}$$

$$\frac{\partial d_{O_k,a_p}}{\partial y_k} = -\frac{y_p - r\cdot e_{p_y} - y_k}{d_{O_k,a_p}} \tag{8.21}$$

Para $k \neq p$ e $k \neq i$:

$$\frac{\partial d_{O_i,a_p}}{\partial y_k} = 0 \tag{8.22}$$

A derivada do termo B_p em relação a x_k é calculada de forma análoga.

Voltando ao termo mútuo do fator de irregularidade. Decompondo os vetores que compõem a parte mútua de K_i^p em coordenadas retangulares tem-se:

$$\left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{1}{d_{i,p}}\cdot\hat{d}_{i,p}\right| = \left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\vec{d}_{i,p}}{d_{i,p}^2}\right| = \left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(x_p - x_i\right)\cdot\hat{x} + \left(y_p - y_i\right)\cdot\hat{y}}{\left(x_p - x_i\right)^2 + \left(y_p - y_i\right)^2}\right| \tag{8.23}$$

$$\left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{1}{d_{i,p}}\cdot\hat{d}_{i,p}\right| = \left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(x_p-x_i\right)}{d_{i,p}^2}\cdot\hat{x} + \sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(y_p-y_i\right)}{d_{i,p}^2}\cdot\hat{y}\right| \tag{8.24}$$

$$\left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{1}{d_{i,p}}\cdot\hat{d}_{i,p}\right| = \sqrt{\left[\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(x_p-x_i\right)}{d_{i,p}^2}\right]^2 + \left[\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(y_p-y_i\right)}{d_{i,p}^2}\right]^2} \tag{8.25}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{1}{d_{i,p}}\cdot\hat{d}_{i,p}\right| = \frac{\partial}{\partial x_k}\sqrt{\left[\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(x_p-x_i\right)}{d_{i,p}^2}\right]^2 + \left[\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(y_p-y_i\right)}{d_{i,p}^2}\right]^2} \tag{8.26}$$

Seja:

$$\chi_p = \sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(x_p-x_i\right)}{d_{i,p}^2} \tag{8.27}$$

$$\Psi_p = \sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(y_p-y_i\right)}{d_{i,p}^2} \tag{8.28}$$

Então:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\left|\sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \alpha_{i,p}\cdot\frac{1}{d_{i,p}}\cdot\hat{d}_{i,p}\right| = \frac{\partial}{\partial x_k}\sqrt{\chi_p^2+\Psi_p^2} = \frac{\chi_p\cdot\frac{\partial\chi_p}{\partial x_k}+\Psi_p\cdot\frac{\partial\Psi_p}{\partial x_k}}{\sqrt{\chi_p^2+\Psi_p^2}} \tag{8.29}$$

Onde:

$$\frac{\partial\chi_p}{\partial x_k} = \sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}} \frac{\partial}{\partial x_k}\left[\alpha_{i,p}\cdot\frac{\left(x_p-x_i\right)}{d_{i,p}^2}\right] = \sum_{\substack{i=1\\ i\neq p}}^{n_{cond}}\left[\frac{\partial\alpha_{i,p}}{\partial x_k}\cdot\frac{\left(x_p-x_i\right)}{d_{i,p}^2} + \alpha_{i,p}\cdot\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(x_p-x_i\right)}{d_{i,p}^2}\right] \tag{8.30}$$

Para $k = p$:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(x_k - x_i\right)}{d_{i,k}^2} = \frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(x_k - x_i\right)}{\left(x_k - x_i\right)^2 + \left(y_k - y_i\right)^2} = -\frac{\left(x_k - x_i\right)^2 - \left(y_k - y_i\right)^2}{\left(\left(x_k - x_i\right)^2 + \left(y_k - y_i\right)^2\right)^2} \tag{8.31}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(x_k - x_i\right)}{d_{i,k}^2} = -\frac{\left(x_k - x_i\right)^2 - \left(y_k - y_i\right)^2}{d_{i,k}^4} \tag{8.32}$$

Para $k = i$:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(x_p - x_k\right)}{d_{k,p}^2} = \frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(x_p - x_k\right)}{\left(x_p - x_k\right)^2 + \left(y_p - y_k\right)^2} = \frac{\left(x_p - x_k\right)^2 - \left(y_p - y_k\right)^2}{\left(\left(x_p - x_k\right)^2 + \left(y_p - y_k\right)^2\right)^2} \tag{8.33}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(x_p - x_k\right)}{d_{k,p}^2} = \frac{\left(x_p - x_k\right)^2 - \left(y_p - y_k\right)^2}{d_{k,p}^4} \tag{8.34}$$

Para $k \neq p$ e $k \neq i$:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(x_p - x_i\right)}{d_{i,p}^2} = 0 \tag{8.35}$$

Analogamente as derivadas em relação às posições verticais dos condutores serão:

$$\frac{\partial \chi_p}{\partial y_k} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \frac{\partial}{\partial y_k}\left[\alpha_{i,p} \cdot \frac{\left(x_p - x_i\right)}{d_{i,p}^2}\right] = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \left[\frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial y_k} \cdot \frac{\left(x_p - x_i\right)}{d_{i,p}^2} + \alpha_{i,p} \cdot \frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(x_p - x_i\right)}{d_{i,p}^2}\right] \tag{8.36}$$

Para $k = p$:

$$\frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(x_k - x_i\right)}{d_{i,k}^2} = \frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(x_k - x_i\right)}{\left(x_k - x_i\right)^2 + \left(y_k - y_i\right)^2} = -\frac{2 \cdot \left(x_k - x_i\right) \cdot \left(y_k - y_i\right)}{d_{i,k}^4} \tag{8.37}$$

Para $k = i$:

$$\frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(x_p - x_k\right)}{d_{k,p}^2} = \frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(x_p - x_k\right)}{\left(x_p - x_k\right)^2 + \left(y_p - y_k\right)^2} = \frac{2\cdot\left(x_p - x_k\right)\cdot\left(y_p - y_k\right)}{d_{k,p}^4} \tag{8.38}$$

Para $k \neq p$ e $k \neq i$:

$$\frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(x_p - x_i\right)}{d_{i,p}^2} = 0 \tag{8.39}$$

Analogamente a (8.30):

$$\frac{\partial \Psi_p}{\partial x_k} = \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq p}}^{n_{cond}}\left[\frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial x_k}\cdot\frac{\left(y_p - y_i\right)}{d_{i,p}^2} + \alpha_{i,p}\cdot\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_p - y_i\right)}{d_{i,p}^2}\right] \tag{8.40}$$

Para $k = p$:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_k - y_i\right)}{d_{k,j}^2} = \frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_k - y_i\right)}{\left(x_k - x_i\right)^2 + \left(y_k - y_i\right)^2} = -\frac{2\cdot\left(x_k - x_i\right)\cdot\left(y_k - y_i\right)}{\left(\left(x_k - x_i\right)^2 + \left(y_k - y_i\right)^2\right)^2} \tag{8.41}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_k - y_i\right)}{d_{k,j}^2} = -\frac{2\cdot\left(x_k - x_i\right)\cdot\left(y_k - y_i\right)}{d_{k,j}^4} \tag{8.42}$$

Para $k = i$:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_p - y_k\right)}{d_{k,p}^2} = \frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_p - y_k\right)}{\left(x_p - x_k\right)^2 + \left(y_p - y_k\right)^2} = \frac{2\cdot\left(x_p - x_k\right)\cdot\left(y_p - y_k\right)}{\left[\left(x_p - x_k\right)^2 + \left(y_p - y_k\right)^2\right]^2} \tag{8.43}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_p - y_k\right)}{d_{k,p}^2} = \frac{2\cdot\left(x_p - x_k\right)\cdot\left(y_p - y_k\right)}{d_{k,p}^4} \tag{8.44}$$

Para $k \neq p$ e $k \neq i$:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_p - y_i\right)}{d_{i,p}^2} = 0 \tag{8.45}$$

A derivada em relação y_k será:

$$\frac{\partial \Psi_p}{\partial y_k} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{n_{cond}} \left[\frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial y_k} \cdot \frac{\left(y_p - y_i\right)}{d_{i,p}^2} + \alpha_{i,p} \cdot \frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(y_p - y_i\right)}{d_{i,p}^2} \right] \tag{8.46}$$

Para $k = p$:

$$\frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(y_k - y_i\right)}{d_{k,j}^2} = \frac{\partial}{\partial y_k}\frac{\left(y_k - y_i\right)}{\left(x_k - x_i\right)^2 + \left(y_k - y_i\right)^2} = -\frac{\left(y_k - y_i\right)^2 - \left(x_k - x_i\right)^2}{d_{k,j}^4} \tag{8.47}$$

Para $k = i$:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_p - y_k\right)}{d_{k,p}^2} = \frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_p - y_k\right)}{\left(x_p - x_k\right)^2 + \left(y_p - y_k\right)^2} = \frac{\left(y_p - y_k\right)^2 - \left(x_p - x_k\right)^2}{d_{k,p}^4} \tag{8.48}$$

Para $k \neq p$ e $k \neq i$:

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\left(y_p - y_i\right)}{d_{i,p}^2} = 0 \tag{8.49}$$

O cálculo de $\partial \alpha_{i,p} / \partial x_k$ é dado por:

$$\frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\frac{q_i\left(t_{\max}^p\right)}{q_{p\ \max}} \tag{8.50}$$

Substituindo a expressão (7.81) tem-se:

$$\frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\left[\frac{\left(2 \cdot C_i^a - \left(C_i^b + C_i^c\right)\right) \cdot \left(2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c\right)\right) + 3 \cdot \left(C_i^b - C_i^c\right) \cdot \left(C_p^b - C_p^c\right)}{\left(2 \cdot C_p^a - \left(C_p^b + C_p^c\right)\right)^2 + 3 \cdot \left(C_p^b - C_p^c\right)^2} \right] \tag{8.51}$$

Declarando as funções:

$$f_i(x_k) = 2 \cdot C_i^a - C_i^b - C_i^c \tag{8.52}$$

$$g_i(x_k) = \sqrt{3} \cdot \left(C_i^b - C_i^c\right) \tag{8.53}$$

Pode-se escrever (8.51) na forma:

$$\frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\left[\frac{f_i(x_k) \cdot f_p(x_k) + g_i(x_k) \cdot g_p(x_k)}{f_p(x_k)^2 + g_p(x_k)^2}\right] \tag{8.54}$$

Aplicando as regras de derivação tem-se:

$$\frac{\partial \alpha_{i,p}}{\partial x_k} = \frac{f_i(x_k) \cdot \frac{\partial f_p(x_k)}{\partial x_k} + f_p(x_k) \cdot \frac{\partial f_i(x_k)}{\partial x_k} + g_i(x_k) \cdot \frac{\partial g_p(x_k)}{\partial x_k} + g_p(x_k) \cdot \frac{\partial g_i(x_k)}{\partial x_k}}{f_p(x_k)^2 + g_p(x_k)^2} + \\ - \frac{2 \cdot \left(f_p(x_k) \cdot \frac{\partial f_p(x_k)}{\partial x_k} + g_p(x_k) \cdot \frac{\partial g_p(x_k)}{\partial x_k}\right) \cdot \left(f_i(x_k) \cdot f_p(x_k) + g_i(x_k) \cdot g_p(x_k)\right)}{\left(f_p(x_k)^2 + g_p(x_k)^2\right)^2} \tag{8.55}$$

Onde:

$$\frac{\partial f_i(x_k)}{\partial x_k} = 2 \cdot \frac{\partial C_i^a}{\partial x_k} - \frac{\partial C_i^b}{\partial x_k} - \frac{\partial C_i^c}{\partial x_k} \tag{8.56}$$

$$\frac{\partial g_i(x_k)}{\partial x_k} = \frac{\partial C_i^b}{\partial x_k} - \frac{\partial C_i^c}{\partial x_k} \tag{8.57}$$

E ainda:

$$\frac{\partial C_i^a}{\partial x_k} = \sum_{k=1}^{n_s} \frac{\partial C_{i,a_k}}{\partial x_k} \tag{8.58}$$

$$\frac{\partial C_i^b}{\partial x_k} = \sum_{k=1}^{n_s} \frac{\partial C_{i,b_k}}{\partial x_k} \tag{8.59}$$

$$\frac{\partial C_i^c}{\partial x_k} = \sum_{k=1}^{n_s} \frac{\partial C_{i,c_k}}{\partial x_k} \tag{8.60}$$

8.3 - DERIVADA DA MATRIZ DE CAPACITÂNCIAS EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES

Seja a matriz de capacitâncias dada por:

$$[C] = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot [P]^{-1} \tag{8.61}$$

Onde:

$$[P]^{-1} = \begin{bmatrix} \ln\left(\frac{2 \cdot y_1}{r_1}\right) & \ln\left(\frac{D_{1,2}}{d_{1,2}}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{D_{1,n_{cond}}}{d_{1,n_{cond}}}\right) \\ \ln\left(\frac{D_{1,2}}{d_{1,2}}\right) & \ln\left(\frac{2 \cdot y_2}{r_2}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{D_{2,n_{cond}}}{d_{2,n_{cond}}}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \ln\left(\frac{D_{1,n_{cond}}}{d_{1,n_{cond}}}\right) & \ln\left(\frac{D_{2,n_{cond}}}{d_{2,n_{cond}}}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{2 \cdot y_{n_{cond}}}{r_{n_{cond}}}\right) \end{bmatrix}^{-1} \tag{8.62}$$

Então:

$$\frac{\partial [C]}{\partial x_k} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial [P]^{-1}}{\partial x_k} \tag{8.63}$$

Onde:

$$\frac{\partial[P]^{-1}}{\partial x_k} = -[P]^{-1} \cdot \frac{\partial[P]}{\partial x_k} \cdot [P]^{-1} \tag{8.64}$$

Portanto:

$$\frac{\partial[C]}{\partial x_k} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \left(-[P]^{-1} \cdot \frac{\partial[P]}{\partial x_k} \cdot [P]^{-1} \right) \tag{8.65}$$

$$\frac{\partial[C]}{\partial x_k} = -2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \left(\frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0)^2} \cdot [C] \cdot \frac{\partial[P]}{\partial x_k} \cdot [C] \right) \tag{8.66}$$

$$\frac{\partial[C]}{\partial x_k} = -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot [C] \cdot \frac{\partial[P]}{\partial x_k} \cdot [C] \tag{8.67}$$

Sendo:

$$\frac{\partial P_{i,i}}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\ln\left(\frac{y_i}{r_i} \right) \right] = 0 \tag{8.68}$$

$$\frac{\partial P_{i,p}}{x_k} = \frac{\partial}{x_k} \left[\ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}} \right) \right] \tag{8.69}$$

Para $k = p$:

$$\frac{\partial}{x_k} \left[\ln\left(\frac{D_{i,k}}{d_{i,k}} \right) \right] = -x_{i,k} \cdot \left(\frac{1}{d_{i,k}^2} - \frac{1}{D_{i,k}^2} \right) \tag{8.70}$$

Para $k = i$:

$$\frac{\partial}{x_k} \left[\ln\left(\frac{D_{k,p}}{d_{k,p}} \right) \right] = x_{k,p} \cdot \left(\frac{1}{d_{k,p}^2} - \frac{1}{D_{k,p}^2} \right) \tag{8.71}$$

O desenvolvimento da derivada em relação às posições verticais dos condutores é semelhante, sendo:

$$\frac{\partial P_{i,i}}{\partial y_k} = \frac{\partial}{\partial y_k}\left[\ln\left(\frac{y_i}{r_i}\right)\right] = \begin{cases} 0 \; se \; k \neq i \\ \dfrac{1}{y_i} \; se \; k = i \end{cases} \tag{8.72}$$

$$\frac{\partial P_{i,p}}{y_k} = \frac{\partial}{y_k}\left[\ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}}\right)\right] \tag{8.73}$$

Para $k = p$:

$$\frac{\partial}{y_k}\left[\ln\left(\frac{D_{i,k}}{d_{i,k}}\right)\right] = -\frac{y_{i,k}}{d_{i,k}^2} + \frac{y_i + y_k}{D_{i,k}^2} \tag{8.74}$$

Para $k = i$:

$$\frac{\partial}{y_k}\left[\ln\left(\frac{D_{k,p}}{d_{k,p}}\right)\right] = \frac{y_{k,p}}{d_{k,p}^2} + \frac{y_p + y_k}{D_{k,p}^2} \tag{8.75}$$

8.4 - DERIVADA DO FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS

A partir da expressão de máxima carga no condutor, dada em (7.74), substituindo as funções definidas em (8.52) e (8.53), tem-se:

$$q_{p\,\max} = \frac{V}{2} \cdot \sqrt{f_p^2 + g_p^2} \tag{8.76}$$

A derivada de $q_{p\,max}$ em relação à posição horizontal de um condutor k qualquer, x_k, será:

$$\frac{\partial q_{p\,\max}}{\partial x_k} = \frac{V}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial x_k}\sqrt{f_p^2 + g_p^2} \tag{8.77}$$

Resolvendo a derivada tem-se:

$$\frac{\partial q_{p\ \max}}{\partial x_k} = \frac{V}{2} \cdot \frac{\frac{\partial f_p}{\partial x_k} f_p + \frac{\partial g_p}{\partial x_k} g_p}{\sqrt{f_p^2 + g_p^2}} \tag{8.78}$$

As derivadas de f_p e g_p são dadas por (8.56) e (8.57) respectivamente. A expressão do fator de distribuição de cargas, dada em (7.99), pode ser derivada em relação a x_k, sendo:

$$\frac{\partial K_c^p}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\left[\frac{\frac{q_{p\ \max}}{r_p}}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{q_{i\ \max}}{r_i}\right)}\right] \tag{8.79}$$

Definindo o valor médio da máxima carga por unidade de raio dos condutores do feixe:

$$\overline{q} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{q_{i\ \max}}{r_i}\right) \tag{8.80}$$

Então (8.79) pode ser reescrita como:

$$\frac{\partial K_c^p}{\partial x_k} = \frac{1}{r_p}\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\frac{q_{p\ \max}}{\overline{q}}\right] \tag{8.81}$$

Então, pela regra da derivada da divisão de duas funções tem-se:

$$\frac{\partial K_c^p}{\partial x_k} = \frac{1}{r_p}\frac{\frac{\partial q_{p\ \max}}{\partial x_k}\overline{q} - \frac{\partial \overline{q}}{\partial x_k} q_{p\ \max}}{\overline{q}^2} \tag{8.82}$$

Onde $\partial q_{p\ \max}/\partial x_k$ é obtido em (8.78) e:

$$\frac{\partial \overline{q}}{\partial x_k} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{r_i} \frac{\partial q_{i\ \max}}{\partial x_k} \right) \qquad \textbf{(8.83)}$$

CAPÍTULO 9 - MINIMIZAÇÃO DO FATOR DE IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL

9.1 - PRINCÍPIOS BÁSICOS E METODOLOGIA

Foi apresentada a formulação do fator de irregularidade de cada condutor e a ele acrescentado o fator de distribuição de cargas. Minimizar o fator de irregularidade então significa buscar a uniformidade do campo elétrico superficial dos condutores. É importante priorizar os condutores que apresentem maior irregularidade no campo elétrico superficial, pois estes terão o valor máximo de campo elétrico mais elevado, acentuando as manifestações do efeito coroa.

Para a priorização dos maiores fatores de irregularidade foi estabelecida empiricamente a seguinte função objetivo:

$$f(x, y) = \sum_{p=1}^{n_{cond}} K_i^p \cdot K_c^p \cdot e^{\left(c \cdot K_i^p \cdot K_c^p - d\right)} \qquad \textbf{(9.1)}$$

Assim, a derivada da função objetivo em relação à posição horizontal de um condutor qualquer *k* será:

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x_k} = \sum_{p=1}^{n_{cond}} \left(c \cdot K_i^p \cdot K_c^p + 1\right) \cdot \left(\frac{\partial K_i^p}{\partial x_k} \cdot K_c^p + \frac{\partial K_c^p}{\partial x_k} \cdot K_i^p \right) \cdot e^{\left(c \cdot K_i^p \cdot K_c^p - d\right)} \qquad \textbf{(9.2)}$$

E em relação à posição vertical será:

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y_k} = \sum_{p=1}^{n_{cond}} \left(c \cdot K_i^p \cdot K_c^p + 1\right) \cdot \left(\frac{\partial K_i^p}{\partial y_k} \cdot K_c^p + \frac{\partial K_c^p}{\partial y_k} \cdot K_i^p \right) \cdot e^{\left(c \cdot K_i^p \cdot K_c^p - d\right)} \qquad \textbf{(9.3)}$$

O gradiente da função objetivo será a composição das expressões (9.2) e (9.3). O procedimento iterativo é análogo ao descrito na minimização da reatância externa (Secção 6.2).

9.2 - RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção são apresentados os resultados dos casos de linhas com tensão de operação a 765 kV e 1000 kV, os demais resultados são no Apêndice I.

9.2.1 - Caracterização das configurações otimizadas

As linhas otimizadas são apresentadas em duas seções: a primeira mostra os resultados da otimização sem a restrição da simetria vertical dos feixes e a segunda mostra os resultados da otimização de linhas compostas por feixes com simetria vertical. Os resultados estão agrupados por:

- *Tensão*: tensão de operação para a qual a linha foi dimensionada;
- *Compacta*: se a linha é dimensionada com distância de isolamento compacta ou convencional;
- *Nsub*: número de subcondutores por fase;
- *Condutores verticais*: número de subcondutores alocados sobre o eixo de simetria vertical dos feixes externos (aplicável apenas quando os feixes são mantidos simétricos);
- *Condutor*: nome comercial do condutor empregado na linha de acordo com [48];

Os parâmetros apresentados na Tabela 9.1, na Tabela 9.3, na Tabela 9.5 e na Tabela 9.7 são:

- *Kut*: fator de utilização da superfície dos condutores (veja expressão (7.105));
- *Emax*: campo elétrico superficial máximo sobre a superfície dos condutores;
- *Emax/Ecr*: relação percentual entre o campo elétrico superficial máximo e o campo elétrico crítico visual para o condutor em questão;
- *Zc*: impedância característica;
- *Pc*: potência característica;
- *ΔPc*: diferença percentual entre a potência característica das configurações inicial e final do processo;

- *Jc média*: média da densidade de corrente característica dos subcondutores (obtida a partir da corrente elétrica por subcondutor, conforme Apêndice G);
- *Jc máxima*: máxima densidade de corrente característica dos subcondutores;
- *Rpos*: resistência de sequência positiva da linha.

Os parâmetros apresentados na Tabela 9.2, na Tabela 9.4, na Tabela 9.6 e na Tabela 9.8 são:

- *EsoloMax*: valor do máximo campo elétrico ao nível do solo quando a linha esteja energizada à tensão nominal (calculado conforme Apêndice D);
- *BsoloMax*: valor do máximo campo magnético ao nível do solo quando a linha esteja transmitindo potência característica (calculado conforme Apêndice E);
- *Distância ao Solo*: menor distância entre os subcondutores e o solo;
- *Espaçamento Máximo*: maior distância entre subcondutores adjacentes de um mesmo feixe;
- *Largura do Feixe Externo*: maior distância horizontal entre os subcondutores de um feixe externo;
- *Altura do Feixe Externo*: maior distância vertical entre os subcondutores de um feixe externo.

9.2.1.1- Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Para facilitar a visualização os dados desta secção são apresentados em tabelas divididas por tensão de operação: na Tabela 9.1 e na Tabela 9.2 são mostrados os resultados para linhas de 765 kV, na Tabela 9.3 e na Tabela 9.4 para linhas de 1000 kV.

Tabela 9.1: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	4	CHUKAR	0,92	17,9	89,8	206,39 - j3,34	2834,83	28,27	0,593	0,598	0,0086
		5	BITTERN	0,93	18,4	89,8	190,17 - j3,61	3076,31	32,63	0,721	0,732	0,0093
			BLUEJAY	0,89	18,6	89,9	210,19 - j4,10	2783,21	20,38	0,745	0,752	0,0105
			CHUKAR	0,96	17,8	89,2	161,98 - j2,68	3611,86	54,36	0,606	0,618	0,0069
		6	BITTERN	0,95	18,4	89,5	156,75 - j3,01	3732,15	52,66	0,731	0,747	0,0078
			BLUEJAY	0,95	18,6	89,9	166,13 - j3,42	3521,16	44,45	0,787	0,803	0,0088
			CHUKAR	0,94	16,7	83,6	146,90 - j2,24	3982,87	61,68	0,558	0,572	0,0058
			DRAKE	0,92	19,0	90,0	188,16 - j4,63	3108,38	28,04	0,972	0,992	0,0119
			GROSBEAK	0,80	19,3	89,8	236,22 - j5,75	2475,95	2,48	0,967	0,986	0,0147
			RAIL	0,93	18,8	89,9	178,89 - j3,94	3269,91	34,57	0,852	0,873	0,0101
		7	BITTERN	0,93	16,9	82,6	149,22 - j2,59	3920,67	53,80	0,659	0,675	0,0067
			BLUEJAY	0,94	17,9	86,4	150,51 - j2,94	3886,83	52,84	0,746	0,765	0,0076
			CHUKAR	0,93	14,7	73,5	145,81 - j1,92	4012,80	56,33	0,482	0,494	0,0050
			GROSBEAK	0,93	19,2	89,6	176,24 - j4,93	3318,02	31,49	1,112	1,136	0,0127
			RAIL	0,95	18,7	89,2	153,88 - j3,39	3801,27	49,92	0,851	0,872	0,0087
		8	BITTERN	0,90	14,8	72,2	154,95 - j2,27	3776,16	42,33	0,555	0,567	0,0058
			BLUEJAY	0,90	15,6	75,2	156,42 - j2,58	3740,46	41,31	0,628	0,642	0,0066
			CHUKAR	0,89	12,9	64,7	150,93 - j1,68	3877,07	45,23	0,407	0,415	0,0043

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	8	DRAKE	0,91	17,2	81,6	158,90 - j3,49	3681,14	39,51	0,865	0,888	0,0090
			GROSBEAK	0,92	18,8	87,6	161,15 - j4,33	3628,92	38,07	1,065	1,097	0,0111
			LINNET	0,79	20,4	90,0	233,11 - j8,12	2507,43	-3,46	1,390	1,433	0,0208
			RAIL	0,91	16,5	79,0	158,05 - j2,97	3701,48	40,20	0,725	0,742	0,0076
		9	BITTERN	0,87	13,4	65,5	156,89 - j2,02	3729,53	36,03	0,487	0,499	0,0052
			BLUEJAY	0,87	14,1	68,1	158,71 - j2,29	3686,55	34,75	0,550	0,564	0,0059
			CHUKAR	0,86	11,8	59,2	151,71 - j1,50	3857,10	39,88	0,360	0,368	0,0039
			DRAKE	0,88	15,5	73,6	161,73 - j3,10	3617,15	32,58	0,755	0,776	0,0080
			GROSBEAK	0,89	16,9	78,7	164,24 - j3,85	3561,33	31,00	0,929	0,958	0,0099
			LINNET	0,87	20,4	89,8	189,57 - j7,22	3082,68	14,64	1,521	1,572	0,0185
			RAIL	0,88	14,9	71,3	160,69 - j2,64	3640,91	33,39	0,634	0,650	0,0068
		10	BITTERN	0,83	12,3	60,0	160,04 - j1,82	3656,34	29,12	0,430	0,441	0,0047
			BLUEJAY	0,84	12,9	62,5	161,42 - j2,07	3624,87	28,26	0,487	0,500	0,0053
			CHUKAR	0,82	10,8	54,2	156,31 - j1,35	3743,72	31,51	0,315	0,322	0,0035
			DRAKE	0,85	14,3	67,5	163,95 - j2,79	3568,42	26,59	0,671	0,691	0,0072
			GROSBEAK	0,86	15,5	72,2	166,28 - j3,47	3517,94	25,22	0,826	0,855	0,0089
			LINNET	0,89	19,9	87,9	172,15 - j6,51	3394,65	22,04	1,508	1,576	0,0167
			RAIL	0,85	13,7	65,5	163,06 - j2,38	3588,20	27,26	0,562	0,578	0,0061
	Sim	6	CHUKAR	0,88	17,8	89,3	146,48 - j2,26	3994,38	36,91	0,559	0,575	0,0058

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	7	BITTERN	0,80	18,4	89,8	159,18 - j2,61	3675,47	21,35	0,618	0,649	0,0067
			BLUEJAY	0,76	18,6	89,7	176,72 - j2,97	3310,62	9,64	0,635	0,651	0,0076
			CHUKAR	0,86	17,6	87,9	131,12 - j1,94	4462,41	46,13	0,537	0,551	0,0050
			RAIL	0,70	18,8	89,7	202,39 - j3,41	2890,68	-3,93	0,646	0,683	0,0087
		8	BITTERN	0,83	18,2	88,6	136,89 - j2,29	4273,97	34,62	0,630	0,654	0,0058
			BLUEJAY	0,86	18,5	89,3	137,31 - j2,60	4260,67	34,58	0,716	0,736	0,0066
			CHUKAR	0,82	16,3	81,3	130,34 - j1,71	4489,19	40,34	0,473	0,491	0,0044
			DRAKE	0,80	19,0	89,9	162,08 - j3,52	3608,99	14,50	0,848	0,897	0,0090
			GROSBEAK	0,70	19,3	90,0	202,72 - j4,36	2885,52	-8,02	0,846	0,891	0,0111
			RAIL	0,85	18,8	89,8	147,10 - j3,00	3976,88	26,02	0,780	0,813	0,0076
		9	BITTERN	0,80	16,8	81,9	135,47 - j2,04	4319,01	31,15	0,566	0,585	0,0052
			BLUEJAY	0,81	17,6	84,9	137,19 - j2,32	4264,53	29,83	0,638	0,661	0,0059
			CHUKAR	0,79	15,0	74,8	130,81 - j1,52	4473,29	34,89	0,419	0,434	0,0039
			DRAKE	0,81	18,8	89,2	145,20 - j3,14	4028,72	23,15	0,843	0,880	0,0080
			GROSBEAK	0,79	19,3	89,9	161,28 - j3,90	3626,40	11,34	0,947	1,015	0,0099
			RAIL	0,82	18,6	88,6	138,96 - j2,67	4209,77	28,54	0,735	0,763	0,0068
		10	BITTERN	0,77	15,7	76,8	136,77 - j1,85	4278,09	25,03	0,505	0,532	0,0047
			BLUEJAY	0,78	16,5	79,8	137,75 - j2,10	4247,45	24,44	0,573	0,603	0,0053
			CHUKAR	0,75	13,9	69,6	133,18 - j1,37	4393,69	27,58	0,371	0,390	0,0035

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	10	DRAKE	0,79	18,0	85,4	140,29 - j2,83	4169,80	22,62	0,786	0,829	0,0072
			GROSBEAK	0,84	19,2	89,4	138,11 - j3,51	4234,65	25,04	0,998	1,038	0,0089
			RAIL	0,79	17,4	83,0	139,33 - j2,41	4198,91	23,36	0,660	0,694	0,0061

Tabela 9.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	4	CHUKAR	8,31	18,99	34,52	2,82	3,58	2,81	1,78
		5	BITTERN	8,27	19,06	36,12	2,31	4,69	3,12	1,31
			BLUEJAY	8,31	19,49	34,62	1,20	2,78	1,87	1,08
			CHUKAR	8,31	19,05	37,28	6,74	8,12	7,07	1,93
		6	BITTERN	8,25	19,11	37,64	4,84	7,01	8,21	1,56
			BLUEJAY	8,25	19,13	37,00	3,57	5,56	6,86	1,44
			CHUKAR	8,31	19,42	37,75	6,16	8,41	9,47	1,72
			DRAKE	8,32	19,00	33,61	2,35	4,48	3,89	1,80
			GROSBEAK	8,33	20,35	30,10	0,71	1,12	1,09	1,36
			RAIL	8,26	19,22	35,94	2,54	4,30	5,23	1,53
		7	BITTERN	8,33	19,51	38,10	4,66	7,69	8,69	1,70
			BLUEJAY	8,31	19,48	38,03	4,56	7,55	8,51	1,69
			CHUKAR	8,31	19,46	38,04	4,96	8,06	9,18	1,74
			GROSBEAK	8,33	19,26	34,12	2,36	4,90	4,57	1,59
			RAIL	8,32	19,37	37,70	4,29	7,25	8,03	1,67
		8	BITTERN	8,33	19,87	37,78	3,03	5,80	6,47	1,61
			BLUEJAY	8,32	19,84	37,71	2,94	5,68	6,30	1,59
			CHUKAR	8,32	19,88	37,71	3,26	6,17	6,93	1,65

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	8	DRAKE	8,32	19,86	34,88	2,80	5,45	6,02	1,57
			GROSBEAK	8,31	19,83	34,72	2,69	5,27	5,79	1,55
			LINNET	8,01	20,08	30,21	0,39	0,95	0,95	1,00
			RAIL	8,33	19,86	37,37	2,85	5,54	6,13	1,58
		9	BITTERN	8,32	20,05	37,82	2,33	5,23	5,40	1,55
			BLUEJAY	8,31	20,02	37,72	2,25	5,07	5,22	1,53
			CHUKAR	8,32	20,08	37,83	2,60	5,71	5,99	1,61
			DRAKE	8,31	20,03	34,86	2,11	4,82	4,91	1,50
			GROSBEAK	8,32	20,01	34,67	2,02	4,64	4,71	1,48
			LINNET	8,31	20,14	32,71	1,06	2,94	2,43	1,49
			RAIL	8,32	20,02	37,37	2,16	4,91	5,03	1,52
		10	BITTERN	8,31	20,49	37,34	1,71	4,31	4,51	1,50
			BLUEJAY	8,33	20,46	37,26	1,68	4,25	4,44	1,49
			CHUKAR	8,31	20,64	37,19	1,80	4,48	4,69	1,53
			DRAKE	8,32	20,38	34,47	1,62	4,12	4,30	1,46
			GROSBEAK	8,32	20,30	34,34	1,56	4,00	4,18	1,45
			LINNET	8,32	20,12	33,71	1,44	3,75	3,91	1,40
			RAIL	8,32	20,39	36,98	1,64	4,17	4,36	1,47
	Sim	6	CHUKAR	8,32	21,09	35,01	3,90	6,76	4,33	5,92

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	7	BITTERN	8,33	24,45	32,45	1,40	2,50	2,55	1,95
			BLUEJAY	8,31	25,51	31,03	0,75	1,43	1,58	1,31
			CHUKAR	8,33	22,06	34,56	3,39	5,12	6,41	1,86
			RAIL	8,01	24,50	30,08	0,39	0,86	0,88	1,00
		8	BITTERN	8,30	22,94	34,21	2,25	3,97	4,85	1,84
			BLUEJAY	8,33	21,13	35,18	2,98	5,32	5,71	2,74
			CHUKAR	8,32	22,84	34,29	2,62	4,48	5,67	1,91
			DRAKE	8,32	23,19	30,41	1,36	3,11	2,31	4,63
			GROSBEAK	7,68	23,54	28,09	0,34	0,81	0,81	1,00
			RAIL	8,33	21,52	34,96	2,51	5,77	3,66	6,23
		9	BITTERN	8,31	23,36	34,36	1,92	3,89	4,50	1,84
			BLUEJAY	8,31	23,31	34,27	1,87	3,80	4,37	1,82
			CHUKAR	8,32	23,60	34,21	2,09	4,12	4,88	1,91
			DRAKE	8,30	23,95	30,90	1,44	3,09	3,38	1,68
			GROSBEAK	8,30	24,42	29,98	1,00	2,61	2,02	2,95
			RAIL	8,31	23,19	34,01	1,83	3,74	4,25	1,81
		10	BITTERN	8,31	24,34	33,98	1,46	3,30	3,61	1,81
			BLUEJAY	8,31	24,17	33,99	1,46	3,31	3,61	1,80
			CHUKAR	8,31	24,68	33,74	1,53	3,39	3,78	1,87

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	10	DRAKE	8,32	24,05	31,21	1,41	3,23	3,49	1,77
			GROSBEAK	8,32	22,28	32,08	1,99	4,10	4,60	2,30
			RAIL	8,32	24,05	33,72	1,43	3,27	3,54	1,78

Tabela 9.3: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	6	CHUKAR	0,93	18,0	89,9	179,09 - j2,24	5582,99	41,51	0,596	0,608	0,0057
		7	BITTERN	0,93	18,4	89,9	178,77 - j2,58	5592,69	37,13	0,717	0,729	0,0066
			BLUEJAY	0,88	18,6	89,9	197,78 - j2,94	5055,09	24,24	0,740	0,749	0,0075
			CHUKAR	0,93	17,8	89,3	154,65 - j1,92	6465,27	57,52	0,593	0,606	0,0049
			RAIL	0,78	18,8	89,9	235,61 - j3,38	4243,35	4,57	0,724	0,736	0,0087
		8	BITTERN	0,91	18,0	87,6	163,55 - j2,27	6113,17	44,39	0,686	0,700	0,0058
			BLUEJAY	0,93	18,5	89,4	165,91 - j2,57	6025,75	42,63	0,773	0,790	0,0066
			CHUKAR	0,90	15,7	78,4	159,46 - j1,68	6270,55	47,24	0,503	0,513	0,0043
			DRAKE	0,91	19,0	89,9	187,41 - j3,48	5334,14	26,63	0,957	0,975	0,0089
			GROSBEAK	0,74	19,3	90,0	248,96 - j4,32	4015,44	-4,33	0,899	0,921	0,0111
			RAIL	0,92	18,7	89,4	178,15 - j2,96	5611,56	33,15	0,839	0,858	0,0076
		9	BITTERN	0,88	16,1	78,6	167,97 - j2,02	5952,68	36,21	0,594	0,606	0,0052
			BLUEJAY	0,88	17,0	81,9	169,52 - j2,29	5897,78	35,23	0,672	0,686	0,0059
			CHUKAR	0,87	14,1	70,6	163,59 - j1,50	6112,37	39,13	0,436	0,444	0,0038
			DRAKE	0,89	18,7	88,8	172,18 - j3,10	5805,92	33,47	0,926	0,948	0,0080
			GROSBEAK	0,88	19,3	89,8	188,13 - j3,84	5313,27	22,55	1,059	1,078	0,0099
			RAIL	0,89	18,0	86,0	171,26 - j2,64	5837,75	34,14	0,777	0,793	0,0068
		10	BITTERN	0,85	14,8	72,0	170,57 - j1,82	5862,12	30,13	0,527	0,537	0,0047

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	10	BLUEJAY	0,86	15,5	75,0	172,03 - j2,06	5812,08	29,26	0,596	0,609	0,0053
			CHUKAR	0,83	12,9	64,8	166,59 - j1,35	6002,20	32,59	0,385	0,393	0,0035
			DRAKE	0,87	17,1	81,1	174,57 - j2,79	5726,83	27,65	0,822	0,843	0,0072
			GROSBEAK	0,87	18,7	86,9	176,89 - j3,46	5651,10	26,36	1,014	1,043	0,0089
			RAIL	0,86	16,5	78,6	173,68 - j2,38	5756,56	28,28	0,689	0,705	0,0061
	Sim	8	CHUKAR	0,83	17,9	89,4	150,40 - j1,70	6647,87	31,73	0,534	0,557	0,0043
		9	BITTERN	0,76	18,4	89,8	170,07 - j2,04	5879,01	13,22	0,587	0,627	0,0052
			BLUEJAY	0,73	18,6	90,0	185,25 - j2,31	5397,37	4,19	0,615	0,652	0,0059
			CHUKAR	0,81	17,7	88,5	139,88 - j1,51	7148,23	36,79	0,512	0,527	0,0039
		10	BITTERN	0,80	18,4	89,9	144,42 - j1,84	6923,07	28,65	0,624	0,640	0,0047
			BLUEJAY	0,82	18,6	89,6	150,38 - j2,09	6648,33	23,82	0,684	0,715	0,0053
			CHUKAR	0,77	16,4	81,9	143,51 - j1,37	6967,50	28,70	0,449	0,468	0,0035
			DRAKE	0,70	19,0	90,0	192,40 - j2,81	5196,36	-2,90	0,746	0,796	0,0072
			RAIL	0,73	18,7	89,4	180,09 - j2,40	5551,68	3,65	0,665	0,686	0,0061

Tabela 9.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	6	CHUKAR	8,27	18,61	42,64	3,47	5,90	6,79	1,50
		7	BITTERN	8,32	18,78	43,31	3,01	6,17	5,57	1,66
			BLUEJAY	8,33	19,18	41,44	1,81	3,83	3,25	1,62
			CHUKAR	8,32	19,11	44,39	5,34	9,04	10,12	1,64
			RAIL	8,31	19,33	38,31	0,73	1,60	1,34	1,45
		8	BITTERN	8,32	19,39	44,03	3,30	6,55	7,16	1,51
			BLUEJAY	8,31	18,91	44,21	3,44	6,79	7,42	1,53
			CHUKAR	8,32	19,41	44,05	3,57	6,99	7,70	1,55
			DRAKE	8,33	18,56	40,58	2,18	5,59	3,93	2,13
			GROSBEAK	7,92	19,15	35,30	0,37	0,90	0,90	1,00
			RAIL	8,33	18,63	43,30	2,66	5,65	5,76	1,52
		9	BITTERN	8,33	19,61	43,78	2,37	5,55	5,57	1,44
			BLUEJAY	8,33	19,59	43,66	2,31	5,43	5,43	1,43
			CHUKAR	8,33	19,68	43,78	2,56	5,93	6,00	1,47
			DRAKE	8,32	19,55	40,80	2,20	5,21	5,19	1,41
			GROSBEAK	8,31	19,32	39,89	1,47	4,44	3,17	1,68
			RAIL	8,32	19,55	43,33	2,24	5,30	5,28	1,41
		10	BITTERN	8,32	19,93	43,23	1,80	4,69	4,91	1,40

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	10	BLUEJAY	8,31	19,86	43,16	1,76	4,61	4,82	1,39
			CHUKAR	8,33	20,08	43,13	1,90	4,92	5,14	1,43
			DRAKE	8,33	19,83	40,29	1,69	4,46	4,66	1,37
			GROSBEAK	8,32	19,76	40,12	1,64	4,34	4,53	1,36
			RAIL	8,32	19,82	42,84	1,72	4,52	4,73	1,38
	Sim	8	CHUKAR	8,31	21,34	40,11	2,74	6,18	4,43	5,61
		9	BITTERN	8,30	24,31	36,76	0,96	2,31	2,13	1,87
			BLUEJAY	8,31	23,85	35,93	0,70	1,83	1,52	1,94
			CHUKAR	8,32	22,72	39,54	2,29	4,73	5,34	1,78
		10	BITTERN	8,32	22,68	39,55	1,87	4,03	4,62	1,76
			BLUEJAY	8,33	21,90	40,27	1,74	5,36	3,92	4,65
			CHUKAR	8,31	23,82	38,74	1,60	3,75	3,96	1,72
			DRAKE	8,09	23,95	32,71	0,41	1,27	1,33	1,00
			RAIL	8,32	24,65	35,48	0,56	1,61	1,71	1,22

9.2.1.2- Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

Para facilitar a visualização os dados desta seção são apresentados em tabelas divididas por de tensão de operação: na Tabela 9.5 e na Tabela 9.6 são mostrados os resultados para linhas de 765 kV, na Tabela 9.7 e na Tabela 9.8 para linhas de 1000 kV.

Tabela 9.5: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	4	0	CHUKAR	0,90	18,0	90,0	210,74 - j3,35	2776,26	25,62	0,581	0,607	0,0086
		5	0	BITTERN	0,90	18,4	90,0	197,18 - j3,61	2967,01	27,92	0,696	0,734	0,0093
				BLUEJAY	0,88	18,6	90,0	212,43 - j4,11	2753,93	19,12	0,737	0,767	0,0105
				CHUKAR	0,91	18,0	90,0	168,58 - j2,68	3470,58	48,28	0,582	0,623	0,0069
			1	BITTERN	0,85	18,4	89,9	208,27 - j3,65	2809,02	25,12	0,659	0,729	0,0094
				BLUEJAY	0,79	18,6	89,9	236,01 - j4,17	2478,92	10,78	0,664	0,734	0,0107
				CHUKAR	0,90	18,0	89,9	170,77 - j2,69	3426,10	51,23	0,574	0,626	0,0069
			3	CHUKAR	0,87	18,0	89,9	175,59 - j2,69	3332,07	40,20	0,559	0,605	0,0069
		6	0	BITTERN	0,90	18,4	89,9	164,33 - j3,02	3560,16	45,63	0,697	0,754	0,0078
				BLUEJAY	0,90	18,6	89,9	173,88 - j3,43	3364,34	38,01	0,752	0,807	0,0088
				CHUKAR	0,91	17,3	86,6	146,61 - j2,25	3990,67	61,99	0,559	0,605	0,0058
				DRAKE	0,89	19,0	90,0	195,42 - j4,64	2992,97	23,29	0,935	0,987	0,0119
				GROSBEAK	0,79	19,3	90,0	240,41 - j5,76	2432,89	0,70	0,950	0,991	0,0147
				RAIL	0,89	18,8	89,8	186,89 - j3,95	3129,94	28,81	0,816	0,865	0,0101
			2	BITTERN	0,90	18,4	90,0	165,42 - j3,02	3536,73	46,30	0,692	0,725	0,0077
				BLUEJAY	0,88	18,6	89,9	177,61 - j3,43	3293,82	36,65	0,736	0,775	0,0088
				CHUKAR	0,91	17,2	86,2	146,72 - j2,24	3987,85	63,66	0,558	0,588	0,0058
				RAIL	0,85	18,8	90,0	195,99 - j3,96	2984,73	24,23	0,778	0,832	0,0101

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	6	4	BITTERN	0,86	18,4	90,0	172,95 - j3,03	3382,68	34,39	0,662	0,711	0,0078
				CHUKAR	0,89	17,7	88,4	146,19 - j2,25	4002,31	57,72	0,560	0,600	0,0058
		7	0	BITTERN	0,90	17,5	85,3	149,31 - j2,60	3918,22	53,72	0,658	0,717	0,0067
				BLUEJAY	0,91	18,4	89,0	151,03 - j2,95	3873,49	52,36	0,743	0,809	0,0076
				CHUKAR	0,90	15,3	76,6	144,60 - j1,93	4046,39	57,62	0,486	0,531	0,0050
				DRAKE	0,90	19,0	90,0	166,73 - j3,99	3507,97	38,41	0,941	1,023	0,0103
				GROSBEAK	0,89	19,3	89,6	183,63 - j4,94	3184,63	26,20	1,067	1,143	0,0127
				RAIL	0,90	18,8	89,8	160,32 - j3,40	3648,67	43,87	0,816	0,890	0,0087
			1	BITTERN	0,91	17,6	86,0	146,96 - j2,60	3980,97	60,20	0,668	0,715	0,0067
				BLUEJAY	0,91	18,6	89,7	149,42 - j2,95	3915,08	57,95	0,751	0,801	0,0076
				CHUKAR	0,90	15,2	76,1	144,85 - j1,93	4039,51	61,39	0,485	0,521	0,0050
				DRAKE	0,86	19,0	90,0	174,21 - j4,02	3357,58	35,92	0,901	1,016	0,0103
				GROSBEAK	0,85	19,3	90,0	192,38 - j5,00	3039,94	23,61	1,019	1,135	0,0128
				RAIL	0,86	18,8	89,8	167,28 - j3,43	3496,92	41,43	0,783	0,886	0,0088
			3	BITTERN	0,91	18,1	88,2	143,26 - j2,59	4083,64	59,31	0,686	0,719	0,0067
				BLUEJAY	0,90	18,6	89,8	150,35 - j2,95	3890,97	52,19	0,746	0,778	0,0076
				CHUKAR	0,90	15,6	78,1	141,37 - j1,93	4138,98	60,27	0,497	0,522	0,0049
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	170,75 - j3,98	3425,48	34,43	0,919	0,958	0,0102
				RAIL	0,89	18,8	89,9	162,06 - j3,39	3609,67	41,56	0,807	0,841	0,0087

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	8	0	BITTERN	0,89	15,3	74,5	152,44 - j2,28	3838,14	44,66	0,564	0,618	0,0059
				BLUEJAY	0,89	16,1	77,6	154,19 - j2,59	3794,34	43,35	0,637	0,697	0,0067
				CHUKAR	0,88	13,4	66,9	147,74 - j1,70	3960,69	48,37	0,416	0,457	0,0044
				DRAKE	0,89	17,7	84,0	157,26 - j3,50	3719,62	40,97	0,874	0,955	0,0090
				GROSBEAK	0,89	19,3	89,9	161,43 - j4,34	3622,72	37,84	1,064	1,161	0,0112
				LINNET	0,79	20,4	90,0	233,11 - j8,12	2507,44	-3,46	1,390	1,433	0,0208
				RAIL	0,89	17,0	81,4	156,17 - j2,98	3745,98	41,89	0,734	0,802	0,0077
			2	BITTERN	0,89	15,8	77,3	145,14 - j2,27	4031,23	53,22	0,592	0,631	0,0058
				BLUEJAY	0,90	16,7	80,6	146,84 - j2,58	3984,29	51,80	0,669	0,711	0,0066
				CHUKAR	0,86	14,4	72,1	140,21 - j1,70	4173,21	57,60	0,439	0,496	0,0044
				DRAKE	0,90	18,4	87,0	150,27 - j3,49	3892,43	48,79	0,914	0,971	0,0090
				GROSBEAK	0,89	19,3	89,6	161,06 - j4,33	3630,86	39,34	1,066	1,128	0,0111
				RAIL	0,90	17,7	84,4	149,00 - j2,98	3926,08	49,98	0,769	0,817	0,0076
			4	BITTERN	0,89	16,5	80,6	139,94 - j2,28	4180,82	54,77	0,615	0,642	0,0058
				BLUEJAY	0,89	17,4	84,0	141,44 - j2,59	4136,17	53,49	0,694	0,724	0,0066
				CHUKAR	0,88	14,4	72,1	136,59 - j1,69	4283,87	57,53	0,450	0,472	0,0043
				DRAKE	0,89	19,0	89,9	147,50 - j3,49	3965,37	47,64	0,932	0,966	0,0090
				GROSBEAK	0,87	19,3	89,8	165,39 - j4,33	3535,97	32,21	1,038	1,073	0,0111
				RAIL	0,90	18,4	88,0	143,30 - j2,98	4082,24	51,90	0,800	0,833	0,0076

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	9	0	BITTERN	0,86	13,7	66,6	154,98 - j2,03	3775,43	37,69	0,493	0,540	0,0052
				BLUEJAY	0,87	14,4	69,3	156,75 - j2,31	3732,59	36,42	0,557	0,609	0,0059
				CHUKAR	0,85	12,0	60,1	150,13 - j1,51	3897,73	41,39	0,364	0,400	0,0039
				DRAKE	0,88	15,8	74,8	159,79 - j3,12	3661,17	34,21	0,765	0,834	0,0080
				GROSBEAK	0,88	17,2	80,1	162,46 - j3,86	3600,16	32,45	0,940	1,024	0,0099
				LINNET	0,88	20,4	89,9	187,67 - j7,23	3113,71	15,77	1,536	1,648	0,0185
				RAIL	0,87	15,2	72,6	158,73 - j2,65	3685,97	35,07	0,642	0,701	0,0068
			1	BITTERN	0,86	15,0	73,2	143,45 - j2,05	4078,78	51,85	0,534	0,608	0,0053
				BLUEJAY	0,86	15,8	76,2	145,13 - j2,33	4031,25	50,41	0,603	0,685	0,0060
				CHUKAR	0,85	13,2	65,9	139,03 - j1,53	4208,77	55,84	0,394	0,450	0,0039
				DRAKE	0,87	17,4	82,3	148,14 - j3,14	3948,62	47,76	0,826	0,936	0,0081
				GROSBEAK	0,87	18,9	88,0	150,95 - j3,89	3874,45	45,52	1,013	1,143	0,0100
				LINNET	0,84	20,4	89,9	196,33 - j7,30	2976,64	13,07	1,470	1,619	0,0187
				RAIL	0,86	16,7	79,8	147,06 - j2,68	3978,11	48,81	0,694	0,787	0,0069
			3	BITTERN	0,86	14,2	69,2	150,02 - j2,02	3900,39	41,46	0,510	0,541	0,0052
				BLUEJAY	0,86	14,9	71,8	152,24 - j2,30	3843,31	39,70	0,573	0,608	0,0059
				CHUKAR	0,85	12,6	62,9	144,03 - j1,50	4062,79	46,51	0,379	0,405	0,0039
				DRAKE	0,87	16,3	77,4	155,98 - j3,11	3750,45	36,76	0,783	0,828	0,0080
				GROSBEAK	0,88	17,7	82,2	159,41 - j3,86	3669,13	34,31	0,957	1,009	0,0099

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	9	3	RAIL	0,87	15,7	75,0	154,65 - j2,65	3783,02	37,89	0,659	0,697	0,0068
		10	0	BITTERN	0,84	12,5	60,8	158,05 - j1,83	3702,33	30,74	0,435	0,474	0,0047
				BLUEJAY	0,84	13,1	63,2	159,54 - j2,08	3667,64	29,78	0,493	0,536	0,0053
				CHUKAR	0,82	11,0	54,8	153,99 - j1,36	3800,14	33,49	0,319	0,349	0,0035
				DRAKE	0,85	14,4	68,3	162,10 - j2,81	3609,22	28,03	0,678	0,737	0,0072
				GROSBEAK	0,86	15,7	73,0	164,48 - j3,48	3556,41	26,58	0,835	0,907	0,0089
				LINNET	0,89	20,2	88,9	170,88 - j6,53	3419,76	22,94	1,520	1,647	0,0167
				RAIL	0,85	13,9	66,2	161,20 - j2,39	3629,59	28,72	0,569	0,618	0,0061
			2	BITTERN	0,86	13,1	64,1	145,79 - j1,83	4013,55	42,58	0,473	0,522	0,0047
				BLUEJAY	0,87	13,8	66,6	147,62 - j2,08	3963,59	41,10	0,533	0,588	0,0053
				CHUKAR	0,85	11,6	58,0	141,42 - j1,37	4137,87	46,18	0,348	0,386	0,0035
				DRAKE	0,87	15,2	72,0	150,35 - j2,81	3890,98	38,88	0,732	0,807	0,0072
				GROSBEAK	0,88	16,5	77,0	152,58 - j3,49	3833,55	37,30	0,901	0,993	0,0090
				LINNET	0,83	20,4	90,0	180,92 - j6,60	3230,47	16,92	1,437	1,634	0,0169
				RAIL	0,87	14,6	69,8	149,55 - j2,40	3912,13	39,58	0,614	0,676	0,0062
			4	BITTERN	0,82	12,9	63,0	155,89 - j1,82	3753,54	30,43	0,442	0,473	0,0047
				BLUEJAY	0,83	13,6	65,5	157,35 - j2,07	3718,59	29,49	0,500	0,532	0,0053
				CHUKAR	0,80	11,4	57,0	152,24 - j1,36	3843,89	32,80	0,323	0,351	0,0035
				DRAKE	0,84	14,8	70,3	160,44 - j2,80	3646,55	27,32	0,686	0,725	0,0072

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Não	10	4	GROSBEAK	0,85	16,1	74,9	162,64 - j3,48	3596,71	26,03	0,845	0,888	0,0089
				LINNET	0,72	20,4	89,7	207,07 - j6,66	2823,29	0,00	1,256	1,484	0,0171
				RAIL	0,83	14,3	68,4	159,19 - j2,39	3675,37	28,28	0,576	0,611	0,0061
	Sim	6	0	CHUKAR	0,83	18,0	90,0	153,49 - j2,27	3811,86	30,65	0,534	0,579	0,0058
			2	CHUKAR	0,77	17,9	89,8	167,82 - j2,30	3486,59	21,02	0,488	0,564	0,0058
		7	0	BITTERN	0,81	18,4	90,0	157,20 - j2,62	3721,85	22,84	0,625	0,677	0,0067
				BLUEJAY	0,77	18,6	90,0	173,43 - j2,97	3373,38	11,68	0,647	0,685	0,0076
				CHUKAR	0,85	18,0	90,0	129,77 - j1,97	4508,56	47,60	0,543	0,606	0,0050
				RAIL	0,70	18,8	89,8	202,32 - j3,41	2891,74	-3,93	0,646	0,682	0,0087
			1	BITTERN	0,79	18,4	90,0	161,62 - j2,66	3620,11	22,99	0,608	0,688	0,0068
				BLUEJAY	0,77	18,6	90,0	173,75 - j3,02	3367,23	14,75	0,646	0,726	0,0077
				CHUKAR	0,82	18,0	89,9	134,33 - j1,98	4355,67	46,75	0,524	0,603	0,0051
				RAIL	0,70	18,8	89,9	202,67 - j3,49	2886,75	-1,30	0,646	0,725	0,0089
			3	CHUKAR	0,80	18,0	90,0	137,74 - j1,95	4247,90	37,83	0,511	0,560	0,0050
		8	0	BITTERN	0,83	18,4	90,0	134,00 - j2,32	4365,99	37,52	0,644	0,722	0,0059
				BLUEJAY	0,82	18,6	90,0	143,33 - j2,63	4081,62	28,92	0,687	0,761	0,0067
				CHUKAR	0,82	16,5	82,6	128,91 - j1,73	4538,99	41,90	0,479	0,541	0,0044
				DRAKE	0,78	19,0	90,0	167,51 - j3,53	3492,04	10,79	0,820	0,879	0,0090
				GROSBEAK	0,70	19,3	90,0	202,72 - j4,36	2885,52	-8,02	0,846	0,891	0,0111

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	8	0	RAIL	0,80	18,8	90,0	156,25 - j3,01	3744,09	18,64	0,734	0,798	0,0077
			2	BITTERN	0,79	18,4	90,0	142,25 - j2,33	4112,88	30,57	0,607	0,694	0,0059
				BLUEJAY	0,77	18,6	89,7	153,79 - j2,67	3804,16	21,13	0,640	0,751	0,0068
				CHUKAR	0,83	17,8	88,9	116,65 - j1,71	5015,96	58,02	0,529	0,567	0,0044
				DRAKE	0,67	18,9	89,7	195,21 - j3,63	2996,83	-4,14	0,704	0,837	0,0092
				RAIL	0,74	18,7	89,1	172,00 - j3,08	3401,44	8,66	0,667	0,785	0,0078
			4	BITTERN	0,76	18,4	89,9	147,78 - j2,31	3959,19	21,38	0,584	0,654	0,0059
				CHUKAR	0,85	17,9	89,3	113,59 - j1,71	5151,11	56,66	0,543	0,571	0,0044
		9	0	BITTERN	0,81	17,1	83,4	133,28 - j2,07	4389,86	33,27	0,576	0,647	0,0053
				BLUEJAY	0,81	17,9	86,5	135,04 - j2,35	4332,27	31,86	0,649	0,727	0,0060
				CHUKAR	0,79	15,2	76,0	128,56 - j1,54	4551,67	37,21	0,427	0,484	0,0039
				DRAKE	0,81	19,0	90,0	144,41 - j3,17	4050,63	23,80	0,848	0,935	0,0081
				GROSBEAK	0,77	19,3	90,0	164,98 - j3,90	3545,16	8,83	0,926	0,992	0,0099
				RAIL	0,83	18,8	89,9	135,76 - j2,70	4309,15	31,56	0,753	0,842	0,0069
			1	BITTERN	0,81	18,0	87,8	127,09 - j2,10	4603,68	43,09	0,605	0,706	0,0053
				BLUEJAY	0,81	18,6	89,7	131,17 - j2,38	4459,97	38,99	0,669	0,779	0,0061
				CHUKAR	0,80	16,0	80,1	122,40 - j1,56	4780,54	47,59	0,449	0,530	0,0040
				DRAKE	0,80	19,0	89,9	146,94 - j3,20	3980,97	24,57	0,834	0,960	0,0082
				GROSBEAK	0,76	19,2	89,1	170,48 - j3,96	3430,90	7,84	0,897	1,003	0,0101

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	9	1	RAIL	0,81	18,8	89,9	139,70 - j2,73	4187,63	30,90	0,732	0,847	0,0070
			3	BITTERN	0,82	18,4	89,8	122,20 - j2,05	4787,70	43,80	0,628	0,678	0,0052
				BLUEJAY	0,80	18,6	90,0	132,45 - j2,34	4417,17	33,04	0,662	0,727	0,0059
				CHUKAR	0,80	16,6	83,2	116,31 - j1,53	5030,53	49,97	0,472	0,512	0,0039
				DRAKE	0,77	19,0	90,0	152,09 - j3,16	3846,22	16,33	0,806	0,899	0,0080
				RAIL	0,78	18,8	90,0	144,68 - j2,69	4043,69	22,16	0,707	0,787	0,0069
		10	0	BITTERN	0,77	15,9	77,6	134,82 - j1,87	4339,86	26,84	0,513	0,572	0,0048
				BLUEJAY	0,78	16,7	80,5	136,05 - j2,12	4300,54	26,00	0,580	0,647	0,0054
				CHUKAR	0,76	14,1	70,4	131,09 - j1,39	4463,89	29,62	0,377	0,421	0,0035
				DRAKE	0,79	18,2	86,1	138,70 - j2,86	4217,8	24,02	0,796	0,886	0,0073
				GROSBEAK	0,81	19,3	90,0	141,59 - j3,55	4130,62	21,97	0,974	1,081	0,0090
				RAIL	0,79	17,5	83,7	137,72 - j2,44	4248,07	24,80	0,669	0,744	0,0062
			2	BITTERN	0,79	17,4	84,9	121,64 - j1,88	4810,04	41,31	0,570	0,655	0,0048
				BLUEJAY	0,80	17,9	86,7	124,26 - j2,12	4708,48	38,67	0,636	0,720	0,0054
				CHUKAR	0,78	15,3	76,7	117,83 - j1,40	4966,08	44,92	0,421	0,484	0,0036
				DRAKE	0,79	18,9	89,8	135,05 - j2,90	4331,27	28,07	0,819	0,965	0,0074
				GROSBEAK	0,77	19,2	89,3	151,43 - j3,61	3862,37	14,69	0,912	1,071	0,0092
				RAIL	0,79	18,8	90,0	128,73 - j2,46	4544,43	34,23	0,717	0,822	0,0063
			4	BITTERN	0,78	17,4	85,1	121,73 - j1,86	4806,46	37,08	0,568	0,618	0,0047

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
765	Sim	10	4	BLUEJAY	0,79	18,1	87,3	123,86 - j2,11	4723,67	35,07	0,638	0,690	0,0054
				CHUKAR	0,77	15,6	78,2	116,47 - j1,38	5023,93	42,29	0,425	0,467	0,0035
				DRAKE	0,78	19,0	90,0	135,40 - j2,85	4320,17	24,04	0,816	0,900	0,0073
				GROSBEAK	0,64	19,2	89,6	179,75 - j3,62	3254,41	-6,15	0,765	0,959	0,0092
				RAIL	0,80	18,8	90,0	127,03 - j2,42	4605,40	32,08	0,725	0,795	0,0062

Tabela 9.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	4	0	CHUKAR	8,32	19,37	33,94	2,13	2,13	2,51	1,06
		5	0	BITTERN	8,32	19,76	34,71	1,97	3,09	3,21	1,00
				BLUEJAY	8,33	19,56	34,05	1,42	2,23	2,38	1,01
				CHUKAR	8,31	19,79	35,47	3,57	5,18	6,78	1,09
			1	BITTERN	8,31	20,76	33,76	1,20	1,66	1,76	1,00
				BLUEJAY	8,33	20,91	32,22	0,61	0,87	0,85	1,02
				CHUKAR	8,31	20,59	34,78	3,30	2,18	6,32	1,71
			3	CHUKAR	8,31	21,06	33,41	2,59	0,00	7,18	2,97
		6	0	BITTERN	8,33	20,07	36,26	2,96	4,55	6,86	1,08
				BLUEJAY	8,32	20,10	35,86	2,41	3,85	5,26	1,06
				CHUKAR	8,33	20,07	36,10	3,73	4,78	11,81	1,10
				DRAKE	8,31	19,84	32,24	1,48	2,44	3,32	1,04
				GROSBEAK	8,31	20,63	29,63	0,49	0,84	0,99	1,08
				RAIL	8,32	20,08	35,02	1,79	2,94	3,85	1,03
			2	BITTERN	8,32	20,74	34,80	2,46	0,92	7,85	2,85
				BLUEJAY	8,32	20,79	34,43	1,81	0,77	5,79	2,49
				CHUKAR	8,32	20,58	35,00	3,95	1,33	12,21	3,33
				RAIL	8,31	21,02	33,53	1,12	0,63	3,45	1,86

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	6	4	BITTERN	8,32	21,01	34,08	1,89	0,00	7,39	4,87
				CHUKAR	8,32	20,81	34,34	3,85	0,00	13,49	4,31
		7	0	BITTERN	8,32	20,04	37,07	3,99	5,17	9,30	1,81
				BLUEJAY	8,31	20,02	36,99	3,87	5,06	9,02	1,81
				CHUKAR	8,32	20,07	36,94	4,29	5,48	10,15	1,81
				DRAKE	8,31	20,06	33,91	2,36	4,52	5,44	1,14
				GROSBEAK	8,31	20,05	32,97	1,56	3,32	3,58	1,04
				RAIL	8,31	20,01	36,64	2,86	4,95	6,61	1,28
			1	BITTERN	8,31	20,39	35,96	4,59	2,45	11,59	2,84
				BLUEJAY	8,32	20,37	35,91	4,43	2,36	11,09	2,84
				CHUKAR	8,31	20,48	35,82	4,57	2,63	11,58	2,65
				DRAKE	8,33	20,70	33,05	2,03	3,35	4,51	1,08
				GROSBEAK	8,31	20,78	32,04	1,37	2,31	2,80	1,05
				RAIL	8,32	20,62	35,80	2,30	3,68	5,60	1,12
			3	BITTERN	8,33	20,58	35,58	3,69	0,95	12,83	4,37
				BLUEJAY	8,31	20,66	35,39	3,16	0,80	10,82	4,05
				CHUKAR	8,32	20,67	35,37	3,70	0,97	12,81	4,25
				DRAKE	8,33	21,08	31,94	1,94	0,54	6,44	3,69
				RAIL	8,33	20,88	34,74	2,42	0,63	8,10	3,88

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	8	0	BITTERN	8,31	20,22	37,66	2,48	4,96	6,68	1,20
				BLUEJAY	8,32	20,23	37,53	2,42	4,83	6,48	1,21
				CHUKAR	8,32	20,28	37,60	2,66	5,31	7,28	1,19
				DRAKE	8,32	20,24	34,67	2,31	4,60	6,11	1,22
				GROSBEAK	8,32	20,22	34,42	2,16	4,34	5,54	1,23
				LINNET	8,01	20,08	30,21	0,39	0,95	0,95	1,00
				RAIL	8,33	20,23	37,19	2,35	4,69	6,25	1,22
			2	BITTERN	8,31	20,62	36,01	3,30	1,81	11,12	2,96
				BLUEJAY	8,32	20,62	35,92	3,22	1,75	10,81	2,97
				CHUKAR	8,32	20,62	36,57	2,96	4,98	11,40	3,41
				DRAKE	8,32	20,64	33,11	3,04	1,66	10,17	3,00
				GROSBEAK	8,31	20,72	32,70	2,34	1,36	7,88	2,86
				RAIL	8,32	20,60	35,63	3,11	1,69	10,43	2,99
			4	BITTERN	8,31	20,72	35,83	2,94	0,71	12,79	4,68
				BLUEJAY	8,31	20,70	35,76	2,87	0,69	12,52	4,71
				CHUKAR	8,31	20,80	35,64	3,09	0,76	13,28	4,58
				DRAKE	8,31	20,78	32,89	2,55	0,59	10,97	4,50
				GROSBEAK	8,32	21,17	32,11	1,72	0,40	7,04	4,28
				RAIL	8,32	20,71	35,45	2,78	0,66	12,17	4,75

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	9	0	BITTERN	8,31	20,32	37,47	1,86	4,81	5,87	1,03
				BLUEJAY	8,31	20,30	37,37	1,81	4,69	5,69	1,03
				CHUKAR	8,33	20,40	37,40	2,03	5,18	6,42	1,02
				DRAKE	8,33	20,33	34,49	1,73	4,46	5,38	1,04
				GROSBEAK	8,31	20,26	34,34	1,67	4,29	5,14	1,05
				LINNET	8,32	20,05	32,60	1,03	2,80	2,99	1,05
				RAIL	8,31	20,29	37,04	1,76	4,55	5,50	1,04
			1	BITTERN	8,32	20,74	37,66	2,55	4,49	8,45	1,70
				BLUEJAY	8,32	20,74	37,54	2,48	4,35	8,21	1,72
				CHUKAR	8,32	20,80	37,59	2,72	4,85	9,10	1,64
				DRAKE	8,31	20,71	34,70	2,38	4,09	7,79	1,76
				GROSBEAK	8,32	20,70	34,48	2,29	3,86	7,46	1,81
				LINNET	8,32	20,87	31,69	1,09	2,03	2,08	1,34
				RAIL	8,31	20,69	37,24	2,42	4,19	7,96	1,75
			3	BITTERN	8,31	21,06	35,77	2,15	1,22	8,99	3,04
				BLUEJAY	8,31	21,05	35,66	2,08	1,17	8,66	3,07
				CHUKAR	8,32	21,16	35,66	2,37	1,37	9,97	2,95
				DRAKE	8,31	21,03	32,84	1,95	1,08	8,12	3,13
				GROSBEAK	8,32	20,98	32,66	1,85	1,02	7,68	3,17

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	9	3	RAIL	8,31	21,02	35,35	2,00	1,11	8,32	3,10
		10	0	BITTERN	8,31	20,60	37,24	1,51	4,16	5,06	1,08
				BLUEJAY	8,33	20,59	37,13	1,47	4,08	4,95	1,07
				CHUKAR	8,33	20,77	37,06	1,60	4,38	5,37	1,09
				DRAKE	8,31	20,51	34,37	1,41	3,94	4,76	1,06
				GROSBEAK	8,31	20,46	34,22	1,36	3,82	4,60	1,05
				LINNET	8,32	20,33	33,53	1,23	3,51	4,21	1,05
				RAIL	8,31	20,52	36,87	1,44	4,00	4,83	1,07
			2	BITTERN	8,32	20,48	37,86	2,10	4,79	7,58	1,23
				BLUEJAY	8,32	20,46	37,75	2,00	4,63	7,32	1,21
				CHUKAR	8,31	20,58	37,73	2,21	5,08	8,20	1,24
				DRAKE	8,31	20,44	34,93	1,85	4,37	6,95	1,17
				GROSBEAK	8,32	20,45	34,74	1,72	4,11	6,69	1,16
				LINNET	8,32	21,26	32,22	1,01	1,98	3,10	1,48
				RAIL	8,31	20,43	37,44	1,90	4,46	7,06	1,19
			4	BITTERN	8,33	21,73	35,33	1,41	0,85	7,00	2,93
				BLUEJAY	8,32	21,65	35,28	1,40	0,82	6,93	3,03
				CHUKAR	8,33	21,94	35,11	1,42	0,94	7,19	2,68
				DRAKE	8,32	21,51	32,53	1,36	0,76	6,68	3,18

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Não	10	4	GROSBEAK	8,31	21,36	32,45	1,35	0,72	6,59	3,32
				LINNET	8,28	20,98	30,61	0,46	0,79	2,29	1,00
				RAIL	8,33	21,56	35,03	1,38	0,79	6,79	3,19
	Sim	6	0	CHUKAR	8,32	23,31	32,30	1,83	2,70	4,12	1,09
			2	CHUKAR	8,30	26,20	30,40	0,78	0,72	2,27	1,09
		7	0	BITTERN	8,31	24,22	32,37	1,23	2,40	2,91	1,05
				BLUEJAY	8,31	24,93	31,32	0,78	1,62	1,80	1,04
				CHUKAR	8,33	23,20	33,53	2,59	3,69	6,88	1,37
				RAIL	7,88	24,25	30,17	0,39	0,88	0,86	1,00
			1	BITTERN	8,31	25,24	31,73	1,21	1,89	2,65	1,09
				BLUEJAY	8,30	25,15	31,15	0,90	1,46	1,97	1,06
				CHUKAR	8,30	24,24	32,88	2,10	2,90	6,02	1,05
				RAIL	8,18	25,69	29,50	0,43	0,75	0,87	1,00
			3	CHUKAR	8,29	25,31	31,46	1,45	0,59	5,36	2,53
		8	0	BITTERN	8,33	23,46	34,17	1,72	3,40	5,10	1,09
				BLUEJAY	8,33	23,68	33,60	1,41	2,97	3,84	1,05
				CHUKAR	8,31	23,55	34,12	1,84	3,60	5,53	1,07
				DRAKE	8,33	24,67	29,21	0,77	1,77	1,90	1,09
				GROSBEAK	7,68	23,54	28,09	0,34	0,81	0,81	1,00

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	8	0	RAIL	8,33	24,11	32,49	1,05	2,30	2,65	1,10
			2	BITTERN	8,31	25,51	32,17	1,23	1,48	4,50	1,31
				BLUEJAY	8,30	25,87	31,71	0,91	1,44	3,17	1,04
				CHUKAR	8,32	23,12	32,86	2,59	1,57	9,87	2,04
				DRAKE	8,00	24,87	27,66	0,39	0,68	1,18	1,00
				RAIL	8,32	26,07	30,61	0,66	1,07	2,00	1,08
			4	BITTERN	8,31	26,43	31,22	0,86	0,38	3,90	2,44
				CHUKAR	8,33	22,54	32,96	2,32	0,71	11,16	3,29
		9	0	BITTERN	8,31	23,76	34,07	1,52	3,50	4,92	1,09
				BLUEJAY	8,32	23,76	33,96	1,47	3,42	4,77	1,08
				CHUKAR	8,32	23,93	33,94	1,67	3,72	5,37	1,12
				DRAKE	8,31	24,15	30,67	1,18	2,87	3,62	1,10
				GROSBEAK	8,31	25,08	29,16	0,69	1,80	2,00	1,09
				RAIL	8,32	23,64	33,74	1,46	3,41	4,82	1,06
			1	BITTERN	8,33	24,33	34,04	1,98	3,05	5,90	1,65
				BLUEJAY	8,31	24,43	33,92	1,83	3,09	5,14	1,49
				CHUKAR	8,33	24,43	33,97	2,12	3,23	6,41	1,60
				DRAKE	8,30	24,86	30,36	1,35	2,48	3,12	1,25
				GROSBEAK	8,30	25,76	28,65	0,79	1,47	1,58	1,31

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	9	1	RAIL	8,31	24,62	33,29	1,56	2,85	3,91	1,33
			3	BITTERN	8,32	24,02	32,87	1,72	1,11	7,96	2,16
				BLUEJAY	8,31	25,02	32,35	1,27	0,98	5,91	1,98
				CHUKAR	8,31	23,91	32,79	1,85	1,25	8,83	1,99
				DRAKE	8,33	26,26	28,66	0,76	0,71	3,52	1,76
				RAIL	8,31	25,85	31,52	0,90	0,82	4,22	1,79
		10	0	BITTERN	8,30	24,46	33,81	1,23	3,09	4,31	1,17
				BLUEJAY	8,32	24,38	33,76	1,22	3,06	4,26	1,16
				CHUKAR	8,32	24,79	33,57	1,30	3,20	4,53	1,18
				DRAKE	8,32	24,24	31,00	1,17	2,98	4,09	1,14
				GROSBEAK	8,31	23,88	30,94	1,13	2,93	3,99	1,13
				RAIL	8,31	24,26	33,50	1,19	3,01	4,16	1,15
			2	BITTERN	8,32	24,75	33,72	1,88	2,09	7,03	2,89
				BLUEJAY	8,32	24,72	33,44	1,63	1,74	6,55	2,19
				CHUKAR	8,31	24,69	33,71	1,70	2,80	7,76	2,70
				DRAKE	8,33	25,35	30,43	1,20	2,00	4,53	1,42
				GROSBEAK	8,32	25,79	29,53	0,86	1,65	2,79	1,16
				RAIL	8,33	25,19	33,02	1,45	1,82	5,58	1,83
			4	BITTERN	8,31	24,72	32,72	1,33	0,89	7,31	2,23

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
765	Sim	10	4	BLUEJAY	8,31	24,74	32,60	1,30	0,85	7,08	2,32
				CHUKAR	8,32	24,94	32,59	1,40	1,01	7,92	2,01
				DRAKE	8,32	25,47	29,45	0,98	0,75	5,28	2,06
				GROSBEAK	7,82	24,26	28,44	0,37	0,64	1,86	1,00
				RAIL	8,32	24,63	32,37	1,24	0,88	6,73	2,16

Tabela 9.7: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	6	0	CHUKAR	0,89	18,0	89,9	186,55 - j2,24	5359,63	35,85	0,572	0,607	0,0058
			2	CHUKAR	0,78	18,0	89,9	211,44 - j2,27	4728,93	21,17	0,505	0,585	0,0058
		7	0	BITTERN	0,89	18,4	89,9	186,37 - j2,59	5364,51	31,54	0,688	0,735	0,0066
				BLUEJAY	0,85	18,6	90,0	204,37 - j2,94	4892,03	20,25	0,716	0,750	0,0075
				CHUKAR	0,90	18,0	89,8	160,03 - j1,93	6247,95	52,27	0,573	0,625	0,0050
				RAIL	0,78	18,8	90,0	236,12 - j3,38	4234,33	4,38	0,723	0,745	0,0087
			1	BITTERN	0,84	18,4	89,7	196,11 - j2,62	5098,37	28,09	0,654	0,727	0,0067
				BLUEJAY	0,82	18,6	89,9	212,34 - j2,98	4708,50	18,58	0,689	0,763	0,0076
				CHUKAR	0,86	18,0	89,9	166,79 - j1,94	5994,81	49,69	0,550	0,623	0,0050
			3	CHUKAR	0,88	18,0	89,9	161,97 - j1,92	6173,26	49,72	0,566	0,590	0,0049
		8	0	BITTERN	0,89	18,4	90,0	163,19 - j2,27	6126,46	44,70	0,688	0,749	0,0058
				BLUEJAY	0,89	18,6	89,8	172,58 - j2,58	5793,16	37,13	0,743	0,803	0,0066
				CHUKAR	0,89	16,1	80,6	157,25 - j1,69	6358,73	49,31	0,510	0,556	0,0044
				DRAKE	0,87	18,9	89,7	194,26 - j3,48	5146,18	22,16	0,923	0,983	0,0089
				GROSBEAK	0,74	19,3	90,0	248,96 - j4,32	4015,45	-4,33	0,899	0,921	0,0111
				RAIL	0,88	18,8	89,9	184,91 - j2,97	5406,71	28,29	0,809	0,868	0,0076
			2	BITTERN	0,84	18,4	89,9	172,91 - j2,29	5782,46	37,74	0,650	0,741	0,0059
				BLUEJAY	0,81	18,6	89,9	189,10 - j2,62	5287,12	26,21	0,678	0,785	0,0067

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	8	2	CHUKAR	0,87	17,4	87,1	148,89 - j1,70	6715,64	59,01	0,540	0,606	0,0044
				RAIL	0,78	18,8	89,6	210,62 - j3,03	4746,94	13,61	0,710	0,821	0,0078
			4	BITTERN	0,86	18,4	89,9	169,45 - j2,27	5900,51	37,25	0,662	0,688	0,0058
				CHUKAR	0,88	17,0	85,1	149,85 - j1,69	6672,71	54,25	0,536	0,558	0,0043
		9	0	BITTERN	0,88	16,3	79,7	166,16 - j2,02	6017,38	37,72	0,601	0,650	0,0052
				BLUEJAY	0,88	17,2	83,0	167,83 - j2,30	5957,47	36,62	0,679	0,734	0,0059
				CHUKAR	0,87	14,3	71,6	161,59 - j1,50	6187,86	40,83	0,441	0,479	0,0039
				DRAKE	0,89	19,0	90,0	171,22 - j3,11	5838,42	34,27	0,932	1,008	0,0080
				GROSBEAK	0,88	19,3	89,8	189,32 - j3,85	5279,95	21,76	1,052	1,122	0,0099
				RAIL	0,89	18,2	87,1	169,68 - j2,65	5891,90	35,37	0,784	0,846	0,0068
			1	BITTERN	0,87	18,2	88,7	152,05 - j2,04	6575,78	53,51	0,658	0,744	0,0053
				BLUEJAY	0,86	18,6	89,8	160,42 - j2,32	6232,47	45,78	0,712	0,809	0,0060
				CHUKAR	0,86	15,9	79,6	147,72 - j1,52	6768,86	57,21	0,484	0,550	0,0039
				DRAKE	0,85	19,0	90,0	178,25 - j3,14	5608,28	31,55	0,895	1,005	0,0081
				GROSBEAK	0,84	19,3	89,8	198,13 - j3,89	5045,23	18,75	1,006	1,112	0,0100
				RAIL	0,86	18,8	89,6	171,10 - j2,67	5843,23	37,01	0,778	0,875	0,0069
			3	BITTERN	0,87	16,8	82,0	163,22 - j2,02	6125,83	39,65	0,612	0,646	0,0052
				BLUEJAY	0,87	17,6	85,2	165,54 - j2,29	6039,70	37,98	0,689	0,726	0,0059
				CHUKAR	0,86	14,9	74,4	156,83 - j1,50	6375,76	44,50	0,455	0,483	0,0039

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	9	3	DRAKE	0,87	19,0	89,8	175,21 - j3,10	5705,60	30,66	0,910	0,955	0,0079
				RAIL	0,87	18,7	89,2	167,98 - j2,64	5951,79	36,24	0,792	0,833	0,0068
		10	0	BITTERN	0,85	14,9	72,7	168,93 - j1,82	5919,00	31,39	0,532	0,572	0,0047
				BLUEJAY	0,86	15,7	75,7	170,48 - j2,07	5864,76	30,43	0,602	0,647	0,0053
				CHUKAR	0,84	13,1	65,4	164,72 - j1,36	6070,61	34,10	0,390	0,421	0,0035
				DRAKE	0,87	17,3	81,9	173,16 - j2,80	5773,40	28,69	0,829	0,892	0,0072
				GROSBEAK	0,87	18,8	87,7	175,57 - j3,47	5693,36	27,30	1,022	1,098	0,0089
				RAIL	0,86	16,6	79,3	172,22 - j2,38	5805,27	29,36	0,695	0,747	0,0061
			2	BITTERN	0,87	15,6	75,9	157,72 - j1,83	6339,57	41,60	0,570	0,622	0,0047
				BLUEJAY	0,88	16,4	79,1	159,25 - j2,08	6278,49	40,50	0,645	0,703	0,0053
				CHUKAR	0,86	13,7	68,3	153,17 - j1,36	6528,13	45,07	0,420	0,460	0,0035
				DRAKE	0,89	18,1	85,6	161,93 - j2,80	6173,72	38,51	0,887	0,967	0,0072
				GROSBEAK	0,89	19,2	89,6	169,71 - j3,47	5889,94	32,56	1,058	1,143	0,0089
				RAIL	0,88	17,4	83,0	161,05 - j2,39	6207,89	39,22	0,744	0,810	0,0061
			4	BITTERN	0,83	15,2	74,1	171,15 - j1,82	5842,04	27,94	0,525	0,559	0,0047
				BLUEJAY	0,83	16,0	77,1	172,84 - j2,07	5785,04	26,94	0,594	0,629	0,0053
				CHUKAR	0,81	13,4	66,8	167,18 - j1,35	5981,09	30,30	0,384	0,414	0,0035
				DRAKE	0,84	17,6	83,2	175,47 - j2,79	5697,59	25,34	0,818	0,861	0,0072
				GROSBEAK	0,68	19,2	89,1	220,66 - j3,57	4530,61	0,00	0,813	0,984	0,0091

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1000	Não	10	4	RAIL	0,84	16,9	80,7	174,34 - j2,38	5734,99	26,11	0,687	0,724	0,0061
	Sim	8	0	CHUKAR	0,79	18,0	90,0	156,49 - j1,71	6389,42	26,60	0,513	0,558	0,0043
			2	CHUKAR	0,72	17,9	89,7	173,15 - j1,75	5774,91	15,67	0,464	0,552	0,0045
		9	0	BITTERN	0,75	18,4	89,6	172,13 - j2,04	5808,62	11,83	0,581	0,614	0,0052
				BLUEJAY	0,72	18,6	89,9	187,55 - j2,31	5331,17	2,88	0,608	0,636	0,0059
				CHUKAR	0,81	17,9	89,7	137,85 - j1,53	7253,21	38,78	0,519	0,579	0,0039
			1	BITTERN	0,75	18,4	89,9	171,59 - j2,07	5827,05	14,79	0,583	0,653	0,0053
				BLUEJAY	0,72	18,6	89,9	187,85 - j2,35	5322,52	5,10	0,607	0,675	0,0060
				CHUKAR	0,80	18,0	90,0	139,57 - j1,55	7164,22	40,21	0,513	0,594	0,0040
			3	CHUKAR	0,78	18,0	90,0	144,26 - j1,53	6931,38	31,56	0,496	0,552	0,0039
		10	0	BITTERN	0,80	18,4	90,0	144,99 - j1,85	6895,94	28,14	0,622	0,683	0,0047
				BLUEJAY	0,77	18,6	90,0	158,90 - j2,10	6292,13	17,18	0,647	0,698	0,0053
				CHUKAR	0,78	16,5	82,7	141,55 - j1,38	7063,82	30,48	0,456	0,502	0,0035
				DRAKE	0,70	19,0	90,0	192,40 - j2,81	5196,37	-2,90	0,746	0,796	0,0072
				RAIL	0,75	18,8	90,0	174,74 - j2,40	5721,56	6,82	0,686	0,738	0,0061
			2	BITTERN	0,76	18,4	89,7	154,35 - j1,89	6477,91	21,09	0,584	0,693	0,0048
				BLUEJAY	0,74	18,6	89,6	167,23 - j2,15	5978,63	12,01	0,615	0,724	0,0055
				CHUKAR	0,80	17,8	88,9	128,38 - j1,39	7788,50	44,69	0,503	0,575	0,0035
			4	CHUKAR	0,79	17,9	89,7	128,32 - j1,38	7791,85	41,04	0,503	0,553	0,0035

Tabela 9.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	6	0	CHUKAR	8,33	19,56	41,08	2,34	3,86	5,09	1,02
			2	CHUKAR	8,32	20,51	38,48	0,93	1,17	2,54	1,05
		7	0	BITTERN	8,32	19,44	41,82	1,97	4,22	4,48	1,04
				BLUEJAY	8,32	19,53	40,41	1,30	2,82	2,89	1,03
				CHUKAR	8,33	19,55	43,19	3,72	6,63	8,73	1,23
				RAIL	8,33	20,05	37,62	0,57	1,25	1,27	1,04
			1	BITTERN	8,32	20,24	40,43	1,65	2,80	3,36	1,04
				BLUEJAY	8,32	20,22	39,29	1,14	1,97	2,27	1,03
				CHUKAR	8,32	20,09	42,17	3,09	4,95	7,40	1,13
			3	CHUKAR	8,32	20,36	40,74	3,16	0,84	10,58	3,82
		8	0	BITTERN	8,31	19,70	43,80	2,71	5,64	6,92	1,18
				BLUEJAY	8,31	19,68	43,08	2,14	4,81	5,41	1,09
				CHUKAR	8,32	19,74	43,92	2,96	6,14	7,86	1,16
				DRAKE	8,33	19,37	38,89	1,40	3,31	3,41	1,04
				GROSBEAK	7,92	19,15	35,30	0,37	0,90	0,90	1,00
				RAIL	8,32	19,54	41,96	1,67	3,87	4,12	1,07
			2	BITTERN	8,33	20,50	41,75	2,27	3,66	6,17	3,07
				BLUEJAY	8,33	20,65	40,44	1,21	2,36	4,03	1,16

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	8	2	CHUKAR	8,32	20,05	42,90	2,98	6,28	12,63	3,12
				RAIL	8,32	20,46	38,88	0,81	1,49	2,51	1,05
			4	BITTERN	8,32	20,71	40,62	2,00	0,51	8,25	4,00
				CHUKAR	8,32	20,40	41,34	3,24	0,75	13,40	4,84
		9	0	BITTERN	8,32	19,80	43,46	2,01	5,30	6,10	1,04
				BLUEJAY	8,32	19,76	43,35	1,96	5,17	5,94	1,03
				CHUKAR	8,32	19,86	43,48	2,18	5,66	6,59	1,04
				DRAKE	8,33	19,76	40,41	1,86	4,95	5,57	1,05
				GROSBEAK	8,31	19,48	39,13	1,31	3,58	3,81	1,04
				RAIL	8,33	19,76	42,98	1,90	5,03	5,76	1,04
			1	BITTERN	8,32	20,19	44,04	2,97	5,45	9,26	1,66
				BLUEJAY	8,33	20,17	43,65	2,85	5,32	7,01	1,43
				CHUKAR	8,32	20,23	44,08	3,19	5,89	9,94	1,61
				DRAKE	8,32	20,21	39,60	2,09	3,89	4,24	1,36
				GROSBEAK	8,32	20,26	37,89	1,38	2,56	2,63	1,33
				RAIL	8,33	20,19	42,62	2,40	4,48	5,16	1,35
			3	BITTERN	8,32	20,52	41,35	2,23	1,26	9,15	3,10
				BLUEJAY	8,33	20,50	41,21	2,15	1,21	8,80	3,12
				CHUKAR	8,32	20,59	41,38	2,47	1,43	10,21	3,02

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	9	3	DRAKE	8,32	20,45	38,09	1,77	1,00	7,17	3,13
				RAIL	8,33	20,46	40,88	2,07	1,15	8,46	3,14
		10	0	BITTERN	8,33	20,04	43,14	1,61	4,57	5,35	1,06
				BLUEJAY	8,33	20,00	43,04	1,58	4,48	5,23	1,06
				CHUKAR	8,32	20,14	43,11	1,72	4,83	5,69	1,07
				DRAKE	8,32	19,94	40,20	1,51	4,31	5,01	1,05
				GROSBEAK	8,32	19,89	40,01	1,46	4,18	4,84	1,05
				RAIL	8,32	19,94	42,74	1,53	4,38	5,10	1,05
			2	BITTERN	8,31	19,88	44,11	2,12	5,49	7,55	1,12
				BLUEJAY	8,32	19,87	43,96	2,07	5,35	7,37	1,12
				CHUKAR	8,32	19,94	44,14	2,29	5,93	8,16	1,11
				DRAKE	8,33	19,86	41,06	1,97	5,09	7,04	1,13
				GROSBEAK	8,33	19,90	40,36	1,58	4,30	5,84	1,06
				RAIL	8,31	19,84	43,62	2,00	5,19	7,15	1,13
			4	BITTERN	8,31	21,04	40,71	1,39	0,84	6,82	2,96
				BLUEJAY	8,33	21,00	40,61	1,37	0,81	6,70	3,03
				CHUKAR	8,32	21,23	40,54	1,42	0,93	7,08	2,73
				DRAKE	8,32	20,87	37,86	1,35	0,75	6,54	3,26
				GROSBEAK	8,26	20,17	35,86	0,46	0,79	2,29	1,00

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1000	Não	10	4	RAIL	8,33	20,91	40,34	1,36	0,78	6,64	3,14
	Sim	8	0	CHUKAR	8,31	23,21	37,77	1,39	3,03	3,47	1,10
			2	CHUKAR	8,33	24,91	35,32	0,86	1,47	2,53	1,07
		9	0	BITTERN	8,33	24,80	36,18	0,72	1,94	2,08	1,08
				BLUEJAY	8,31	24,78	35,11	0,51	1,39	1,46	1,04
				CHUKAR	8,31	23,10	39,19	1,82	4,31	5,80	1,09
			1	BITTERN	8,31	24,70	36,27	1,03	1,90	2,08	1,29
				BLUEJAY	8,31	24,85	35,02	0,72	1,34	1,40	1,29
				CHUKAR	8,31	23,78	38,84	2,07	3,78	5,15	1,33
			3	CHUKAR	8,32	24,90	36,50	1,21	1,08	5,66	1,82
		10	0	BITTERN	8,32	23,29	38,93	1,35	3,54	4,78	1,09
				BLUEJAY	8,32	24,11	37,45	0,91	2,52	3,13	1,06
				CHUKAR	8,33	23,93	38,56	1,38	3,59	4,74	1,14
				DRAKE	8,09	23,95	32,71	0,41	1,27	1,33	1,00
				RAIL	8,31	24,12	36,15	0,76	1,95	2,10	1,53
			2	BITTERN	8,33	24,87	37,30	1,12	2,23	3,38	1,21
				BLUEJAY	8,32	24,93	36,33	0,84	1,68	2,46	1,14
				CHUKAR	8,31	23,78	38,90	1,65	3,53	8,30	2,42
			4	CHUKAR	8,32	24,05	37,48	1,55	1,13	8,42	2,11

9.2.2- Análise da evolução de casos representativos

O objetivo desta análise é visualizar e identificar características do processo de otimização de casos representativos e, assim, prover um conjunto de informações que possibilitará uma leitura detalhada do processo de otimização e da formação das geometrias otimizadas.

Dentre os resultados apresentados na seção anterior foram selecionados alguns casos representativos, ou seja, que representam um conjunto de casos por terem semelhança na forma dos feixes. Esta seção mostra a variação de alguns parâmetros ao longo do processo de otimização para tais casos.

É mostrada a variação da posição dos condutores e os principais parâmetros associados à geometria dada em cada iteração do processo. É apresentada também a geometria obtida ao final do processo, ou seja, quando a restrição do campo elétrico superficial máximo é atingida ou o processo chega ao limite de iterações programado. Em duas tabelas, uma para o feixe interno e outra para o feixe externo, são mostrados os parâmetros associados a cada subcondutor da linha.

Na apresentação da variação das posições dos condutores os deslocamentos aplicados para atender às restrições de campo magnético e campo elétrico ao nível do solo e da distância de isolamento mínima foram totalmente compensados para facilitar a visualização da expansão dos feixes. Assim, os gráficos observados mostram a variação dos feixes em relação à sua forma original sem considerar tais deslocamentos. Os parâmetros mostrados nos gráficos são calculados considerando a aplicação dos deslocamentos acima mencionados, ou seja, com a real posição dos condutores.

A escala de cores relaciona a posição dos condutores às iterações do processo de otimização. Nos gráficos que mostram a variação dos parâmetros, as linhas azuis e contínuas mostram os parâmetros do feixe interno enquanto as linhas pretas e tracejadas mostram os parâmetros dos feixes externos.

9.2.2.1- Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Concordando com o objetivo deste processo de otimização, em todos os casos observa-se inicialmente a expansão quase regular dos feixes no sentido de minimizar o fator *Ki*, que é

sempre predominante no início, quando os feixes são todos formados por geometrias regulares e com afastamento convencional. O fato de que os feixes são alterados sempre no sentido da expansão permitiu que o objetivo da redução da irregularidade do campo elétrico superficial fosse aplicado para a elevação da potência característica.

Também nas primeiras iterações o produto *Ki* . *Kc* se torna muito próximo entre os subcondutores dos feixes externos, onde a dispersão nos valores de carga elétrica é inicialmente maior. Com isso, os valores de campo elétrico superficial máximo nestes subcondutores se tornam muito próximos.

A assimetria na disposição (horizontal) de feixes faz com que o feixe interno seja mais carregado do que os demais. Esta assimetria vai ser compensada com a maior expansão dos feixes externos. Se o processo avança suficientemente os valores de *Kc* tendem a se tornar muito próximos em todos os subcondutores, indicando a tendência à uniformização na distribuição de carga elétrica. Como o feixe interno é reduzido em relação aos demais, ele acaba tendo valores superiores para o fator *Ki* e os seus subcondutores ficarão sujeitos a um maior campo elétrico superficial. Como o objetivo desta otimização é a redução do produto de ambos os fatores, *Kc* e *Ki*, os feixes externos ficarão com densidade de carga elétrica superior, se o processo avançar suficientemente.

A tendência à equalização de carga elétrica nos feixes se dá mais lentamente nos casos com maior número de subcondutores. Isto se explica pela equação (7.24), a qual mostra que a parcela predominante do fator *Ki* é proporcional à razão entre o número de subcondutores menos um e o raio do feixe, ou seja, em um feixe regular com maior número de subcondutores com igual espaçamento o fator *Ki* será mais importante e será necessário uma expansão maior do feixe para sua redução.

Em todos os casos, quando ocorre a ativação das restrições sobre o feixe interno a expansão deste fica bloqueada e, então, o fator *Ki* associado aos subcondutores deste feixe ou fica estagnado ou é aumentado se o feixe passa a tomar uma forma com melhor distribuição de carga elétrica, caracterizada pela aproximação entre os subcondutores laterais e achatamento do feixe.

Se a expansão do feixe interno é bloqueada a redução na densidade relativa de carga elétrica do feixe se dá pelo aumento dos feixes externos e pela elevação do feixe interno, sendo esta última mais evidente nos casos em que o bloqueio ocorre após um número menor de iterações.

Como o aproveitamento da superfície dos subcondutores é limitado pelo produto *Ki* . *Kc* a utilização de maior número de subcondutores irá levar a maior irregularidade na distribuição do campo elétrico superficial ou a feixes muito expandidos se o diâmetro do condutor for suficientemente grande para permitir tal expansão.

Se observa de forma qualitativa uma semelhança nos resultados obtidos com aqueles obtidos no trabalho de Salari, J. C. [1], especificamente linhas compostas por feixe interno reduzido e maior espaçamento entre os subcondutores do feixe externo voltados para o exterior da linha. No entanto, como em [1] são analisadas linhas com feixes dispostos inicialmente sobre círculos ou sobre elipses, os resultados finais têm formas bastante diferentes.

Comparando os resultados com o trabalho de Gomes, S. [17], as semelhanças são maiores na forma dos feixes quando se compara resultados de otimização com forma livre, ou seja, sem qualquer restrição à forma dos feixes, com as ressalvas de que no presente trabalho é exposta uma maior quantidade de resultados e com maior diversidade de formas de feixes e de que naquele são estudadas diferentes disposições de fases, não somente a disposição horizontal.

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	6

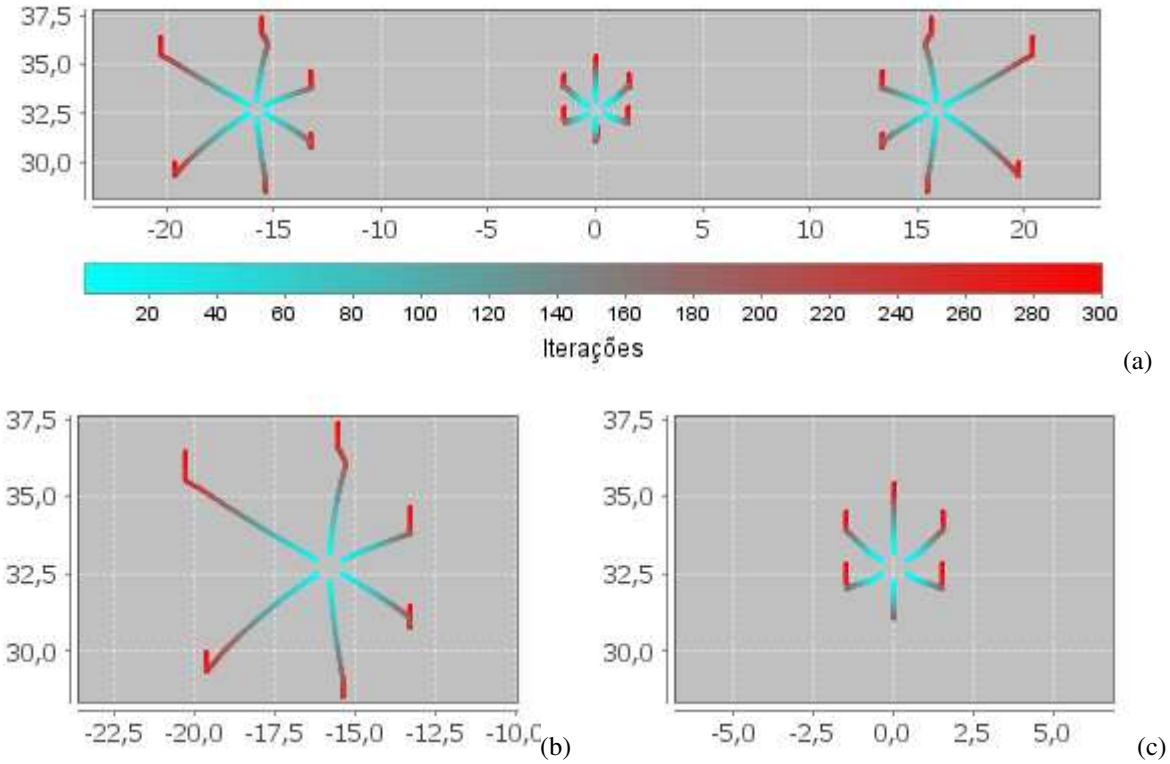

Figura 9.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 2-I (198), 5-I (198), 1-I (199), 3-I (199), 4-I (199), 6-I (199), 5-E (247), 6-E (248), 2-E (249), 4-E (250), 1-E (254), 3-E (256)

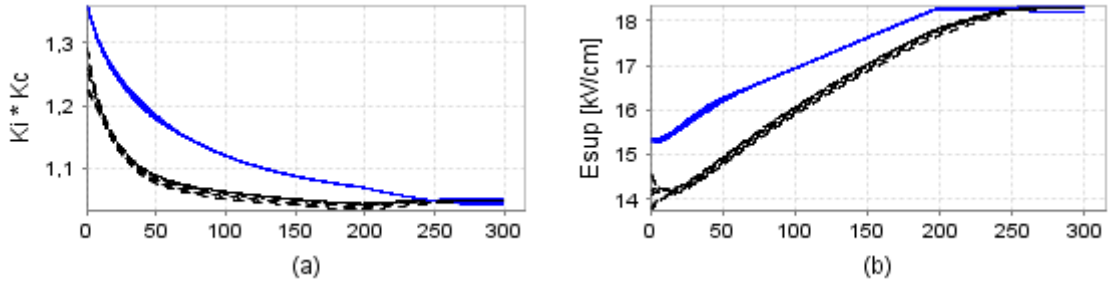

Figura 9.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

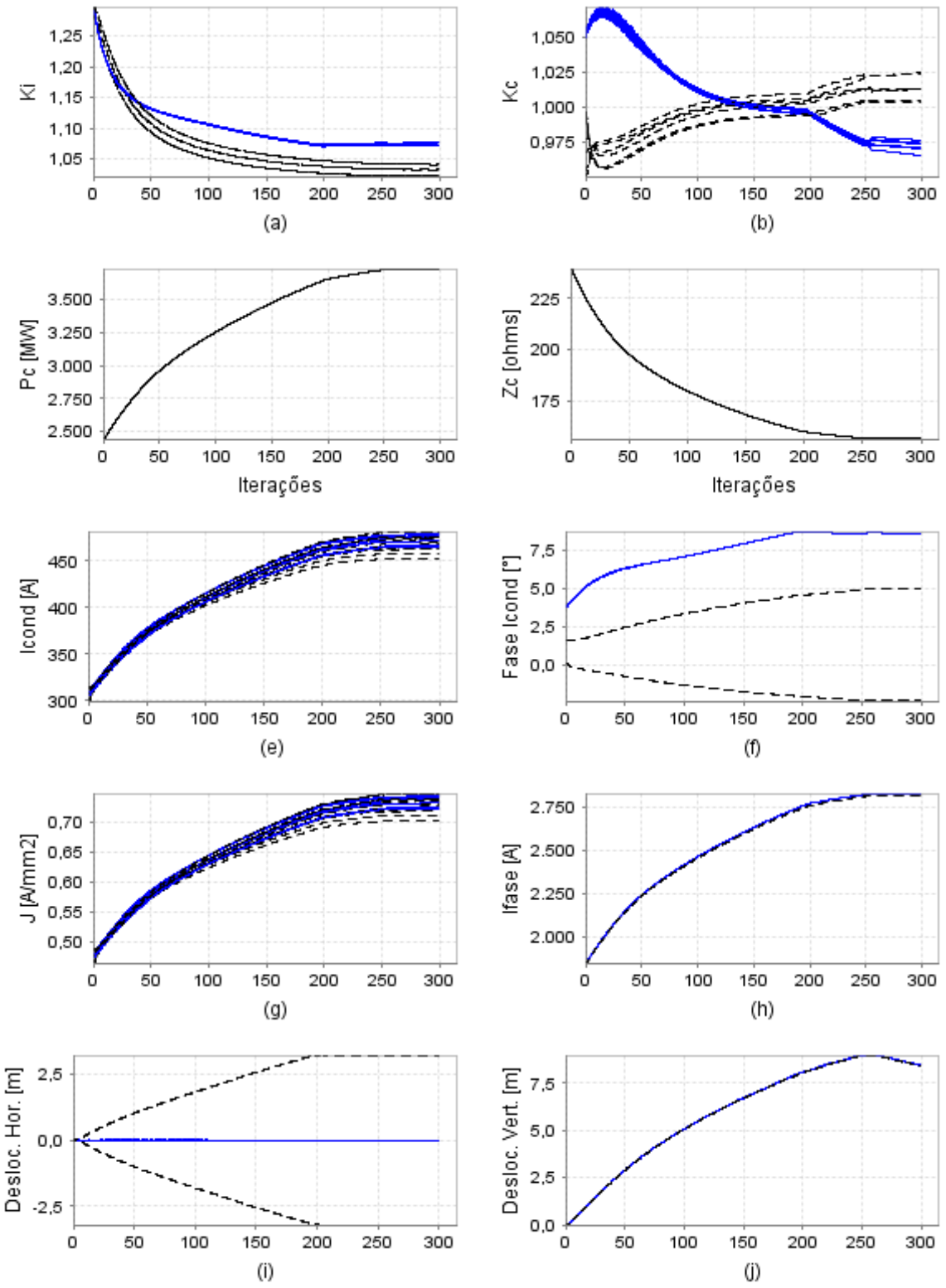

Figura 9.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

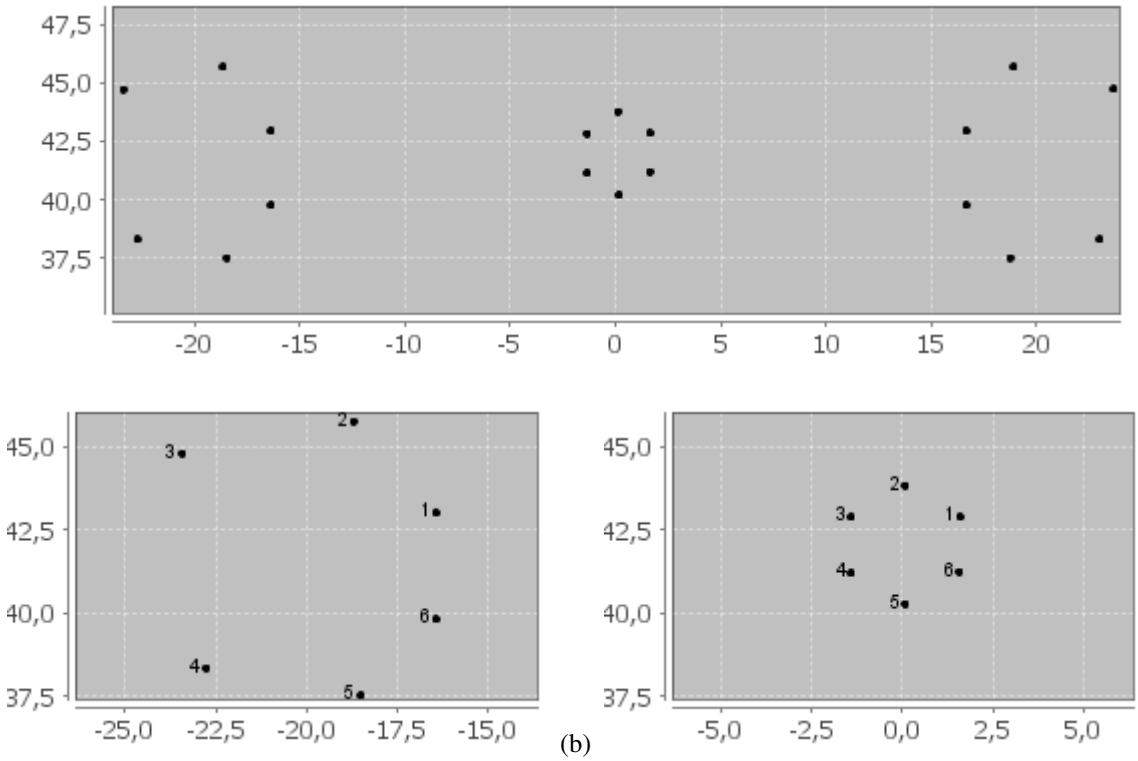

Figura 9.4: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.9: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,049	1,044	1,045	1,046	1,048	1,040					1,045	0,007
Ki	1,076	1,072	1,076	1,077	1,073	1,077					1,075	0,005
Kc	0,975	0,974	0,971	0,971	0,977	0,966					0,972	0,008
Icond [A]	466	471	477	479	476	464					472	13
Esup [kV/cm]	18,4	18,3	18,3	18,3	18,3	18,2					18,3	0,1

Tabela 9.10: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,046	1,046	1,046	1,048	1,047	1,047					1,047	0,001
Ki	1,041	1,033	1,022	1,023	1,034	1,042					1,032	0,019
Kc	1,005	1,013	1,023	1,024	1,013	1,005					1,014	0,019
Icond [A]	476	481	473	458	463	470					470	19
Esup [kV/cm]	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3					18,3	0,0

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	7

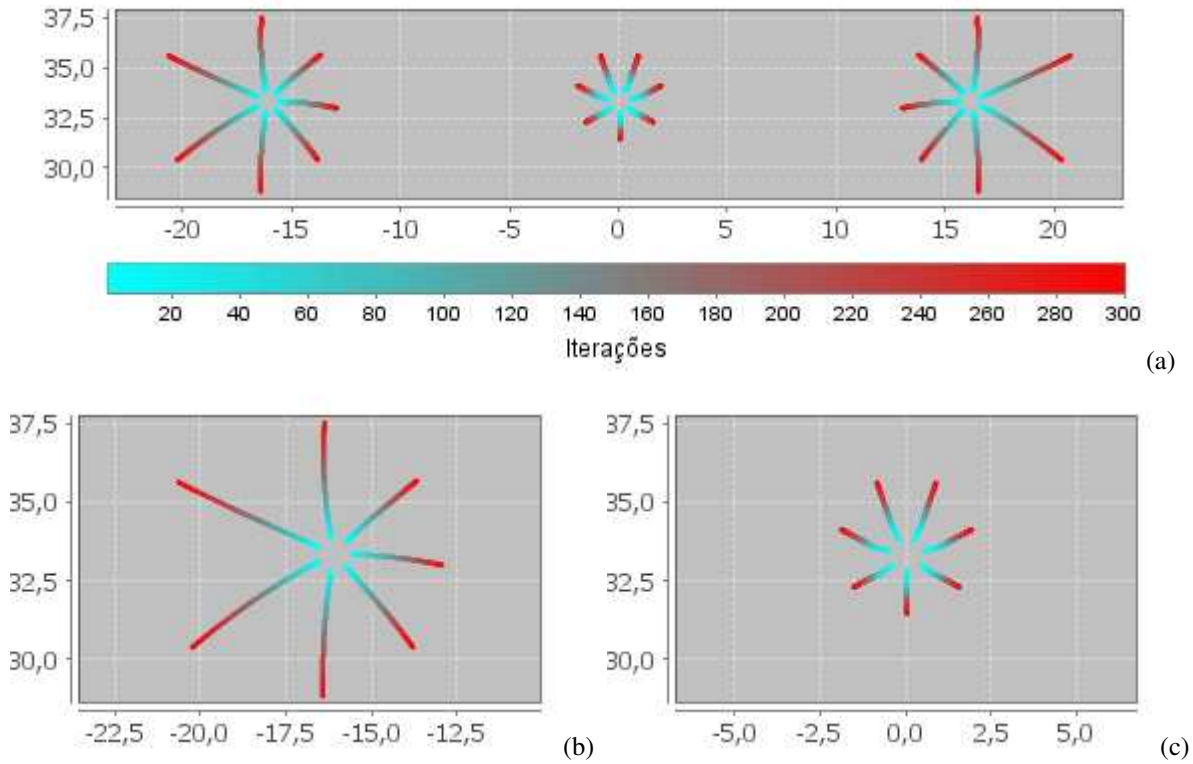

Figura 9.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

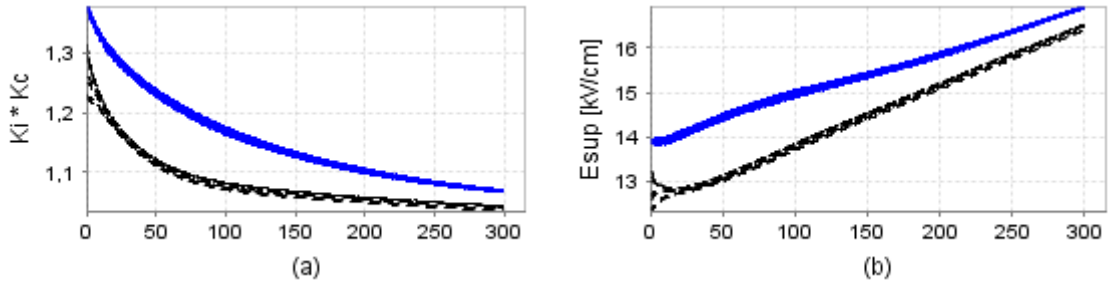

Figura 9.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

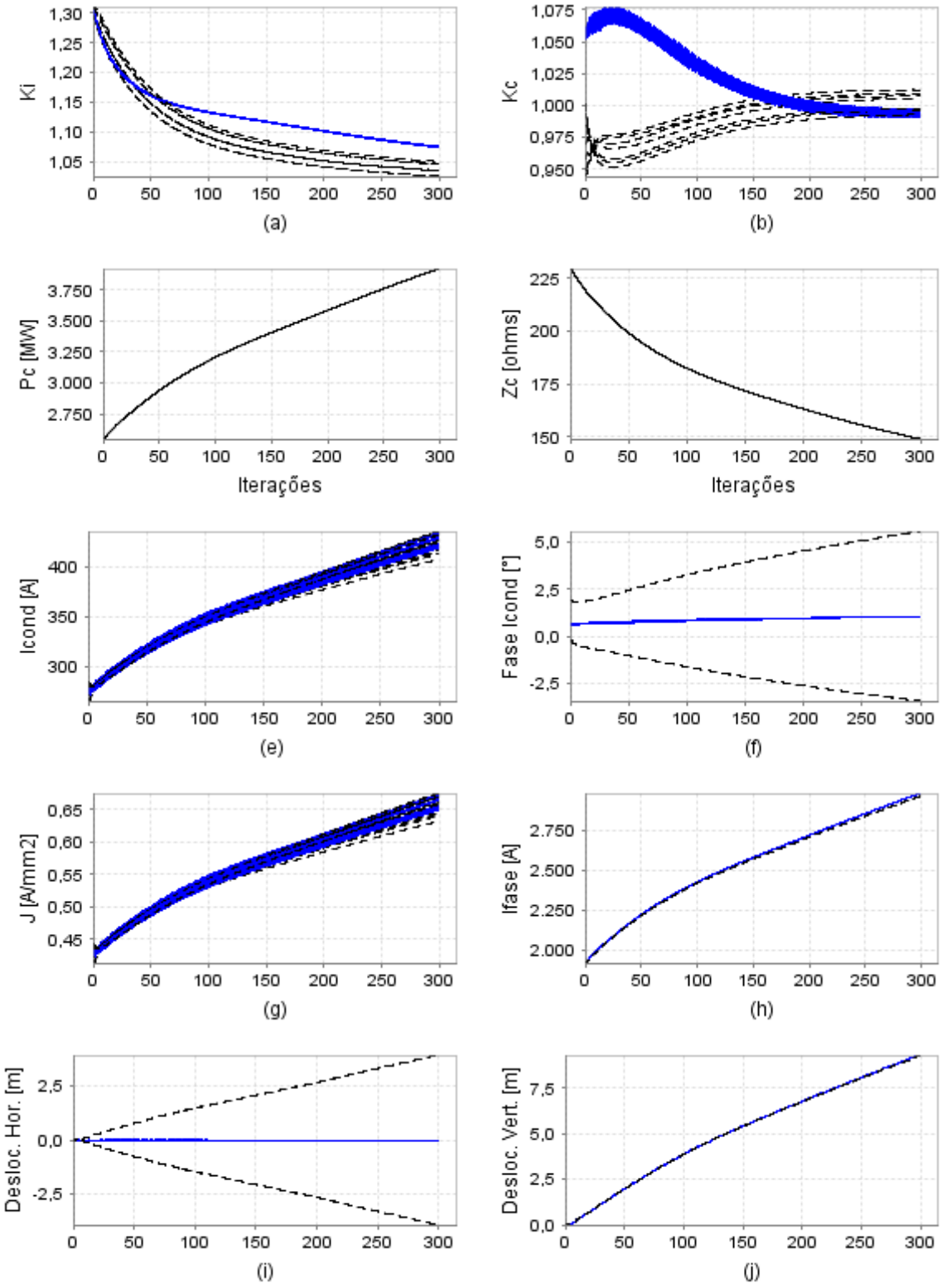

Figura 9.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

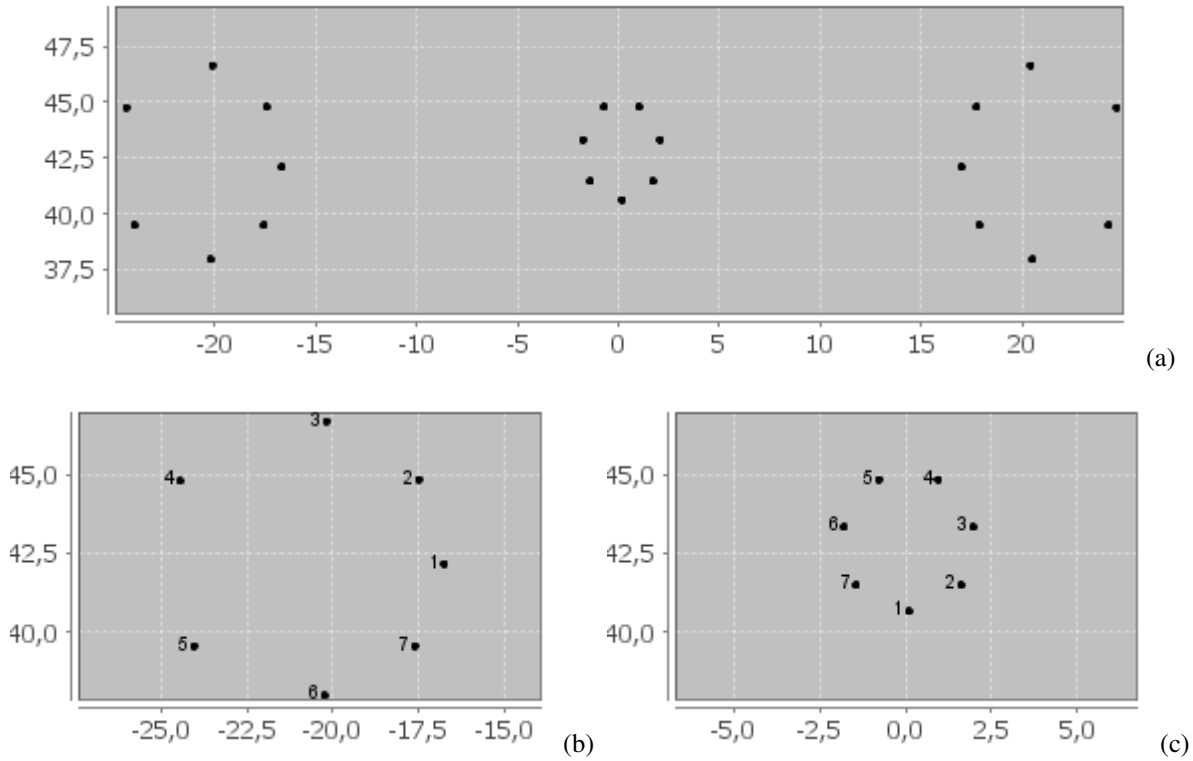

Figura 9.8: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.11: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,070	1,071	1,066	1,071	1,071	1,066	1,071				1,069	0,005
Ki	1,075	1,077	1,077	1,075	1,075	1,077	1,077				1,076	0,002
Kc	0,995	0,994	0,990	0,997	0,997	0,990	0,994				0,994	0,006
Icond [A]	428	422	418	423	429	432	433				426	14
Esup [kV/cm]	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9				16,9	0,1

Tabela 9.12: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,044	1,043	1,042	1,036	1,039	1,044	1,044				1,042	0,008
Ki	1,051	1,047	1,037	1,026	1,027	1,036	1,047				1,039	0,024
Kc	0,993	0,996	1,005	1,009	1,012	1,008	0,998				1,003	0,018
Icond [A]	426	431	434	424	412	416	422				424	19
Esup [kV/cm]	16,5	16,5	16,5	16,4	16,4	16,5	16,5				16,5	0,1

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	7

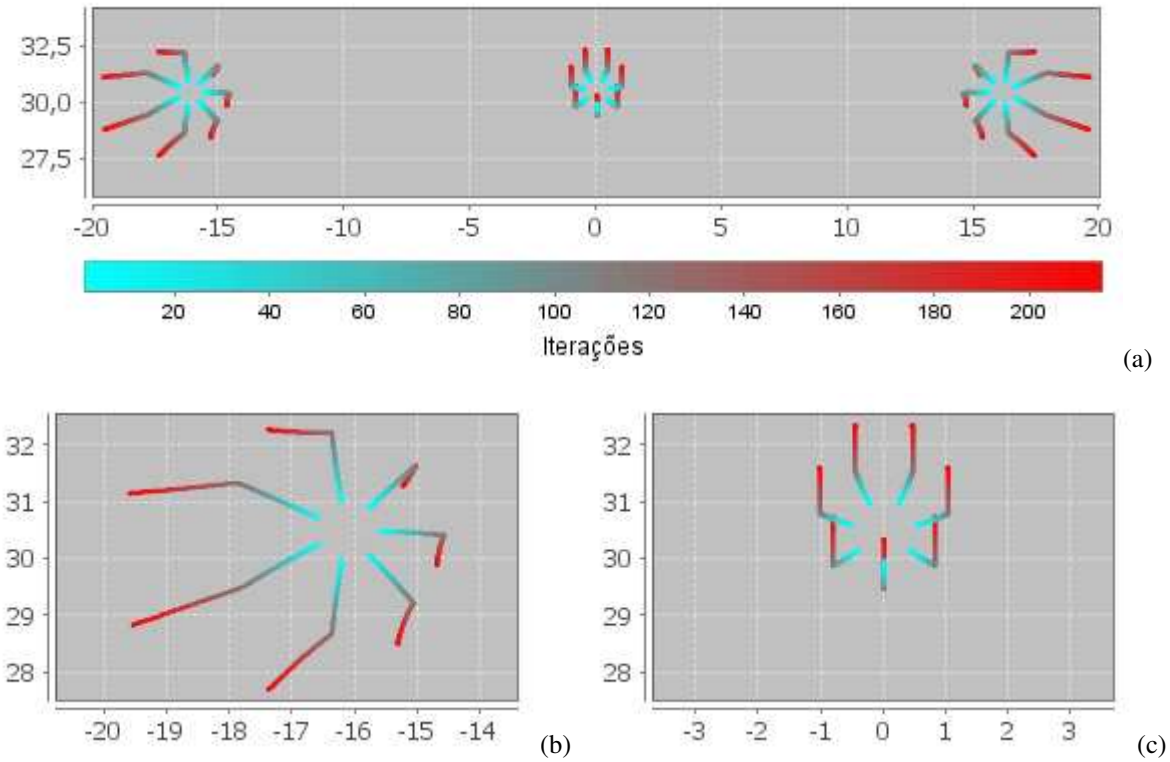

Figura 9.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 2-I (111), 7-I (111), 4-I (113), 5-I (113), 1-I (115), 3-I (119), 6-I (119), 4-E (210), 5-E (211), 1-E (213), 2-E (214), 3-E (214), 6-E (214), 7-E (214)

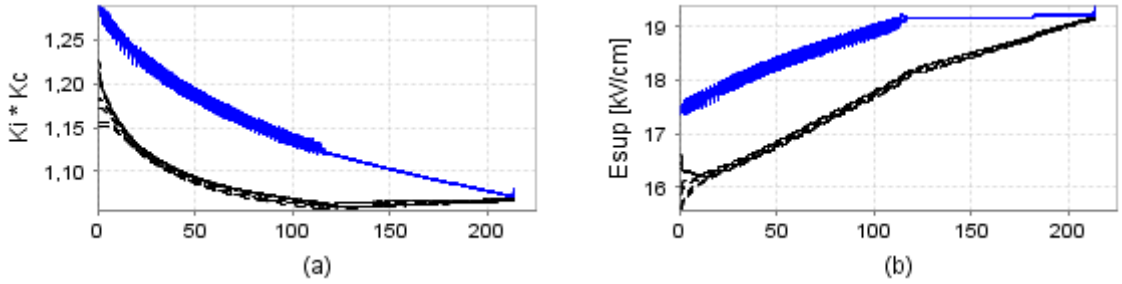

Figura 9.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

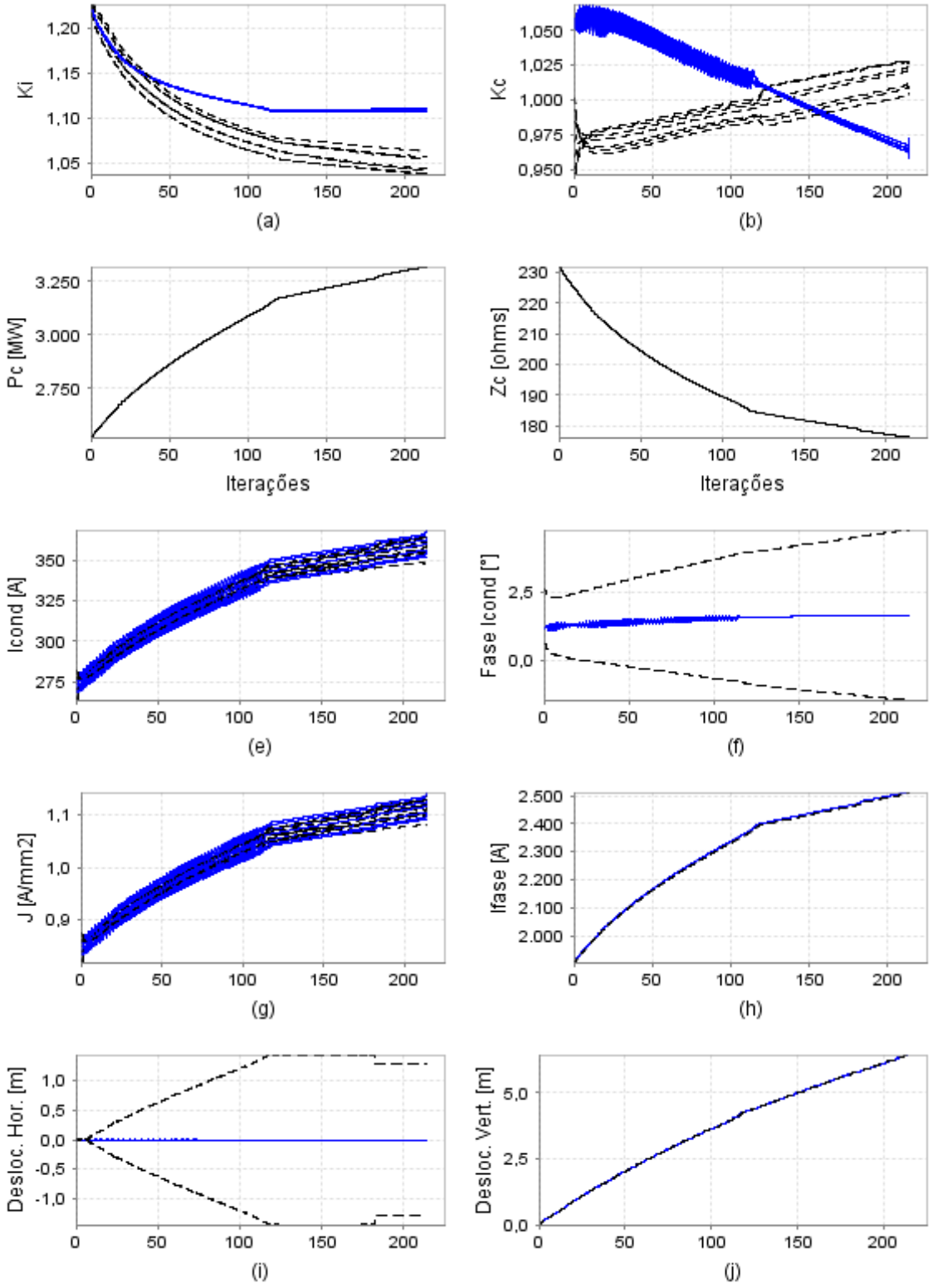

Figura 9.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

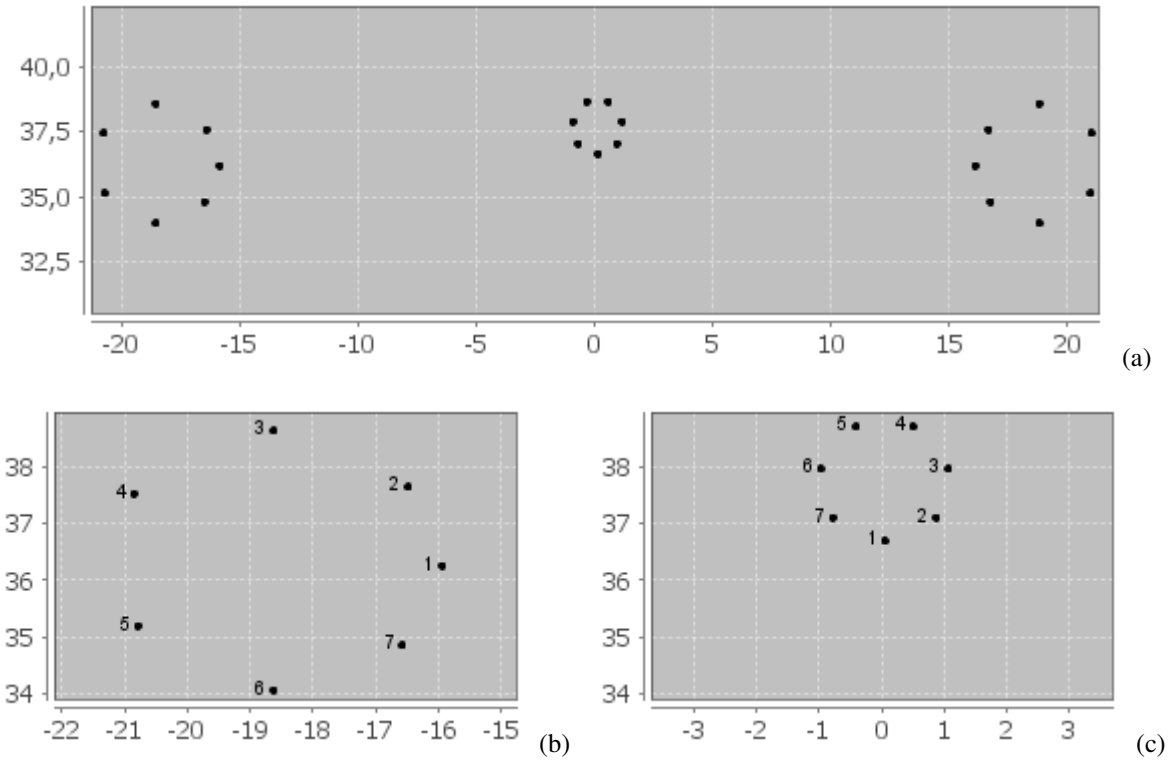

Figura 9.12: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.13: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,071	1,070	1,072	1,072	1,072	1,072	1,070				1,071	0,002
Ki	1,110	1,112	1,111	1,107	1,107	1,111	1,112				1,110	0,004
Kc	0,965	0,963	0,965	0,968	0,968	0,965	0,963				0,965	0,005
Icond [A]	360	353	352	356	362	366	364				359	14
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2				19,2	0,0

Tabela 9.14: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,067	1,067	1,066	1,067	1,066	1,067	1,067				1,067	0,001
Ki	1,063	1,057	1,044	1,039	1,038	1,042	1,055				1,048	0,024
Kc	1,004	1,009	1,021	1,026	1,027	1,023	1,012				1,018	0,022
Icond [A]	357	361	364	360	354	355	356				358	9
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	19,1	19,2	19,1	19,2	19,2				19,2	0,0

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	8

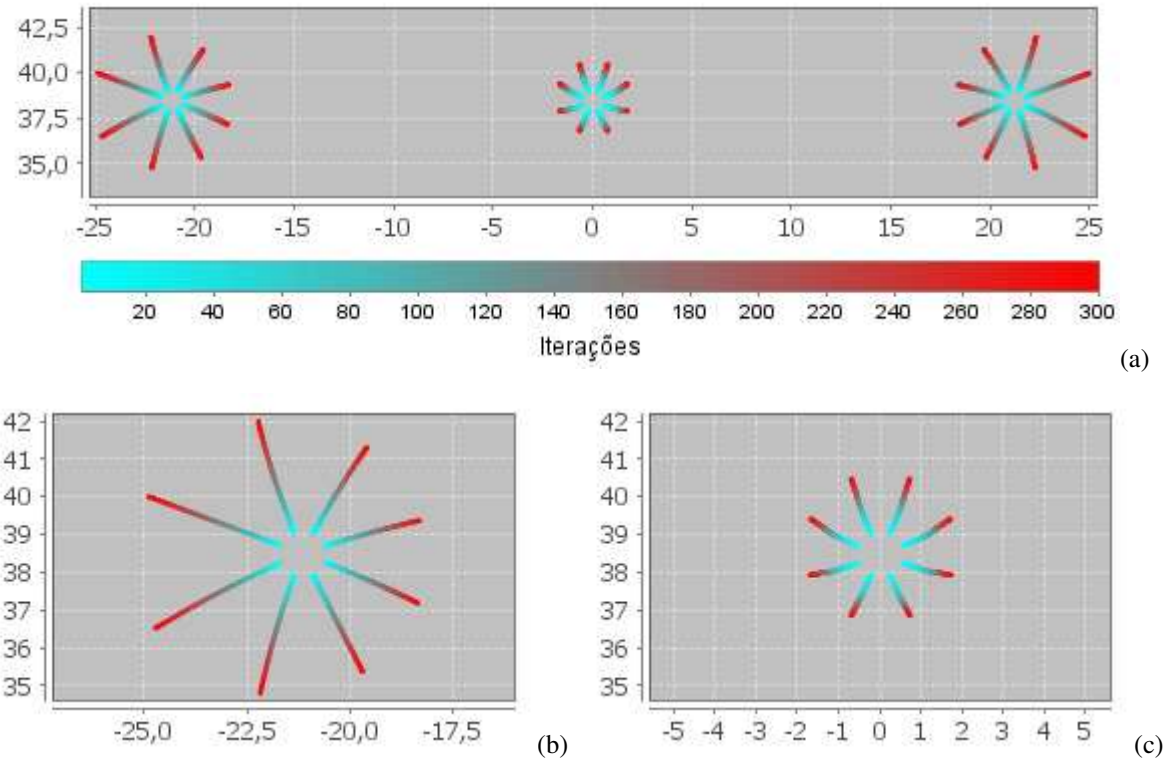

Figura 9.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

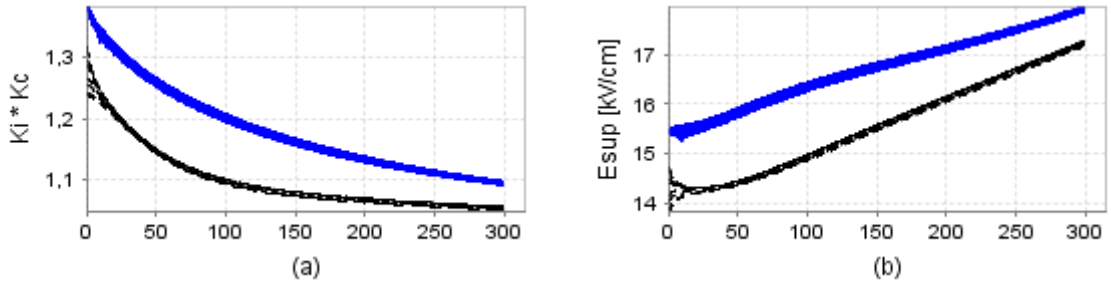

Figura 9.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

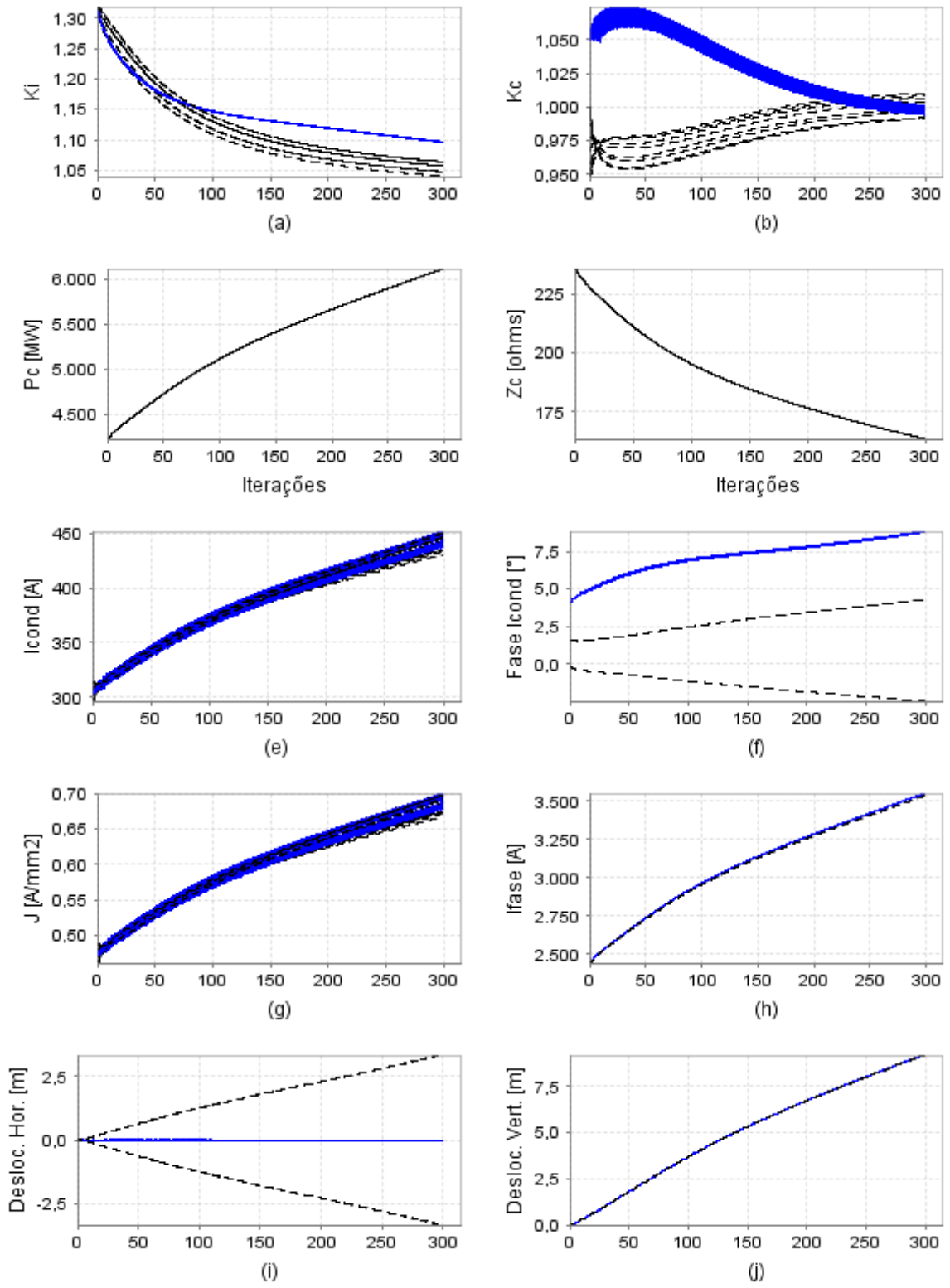

Figura 9.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

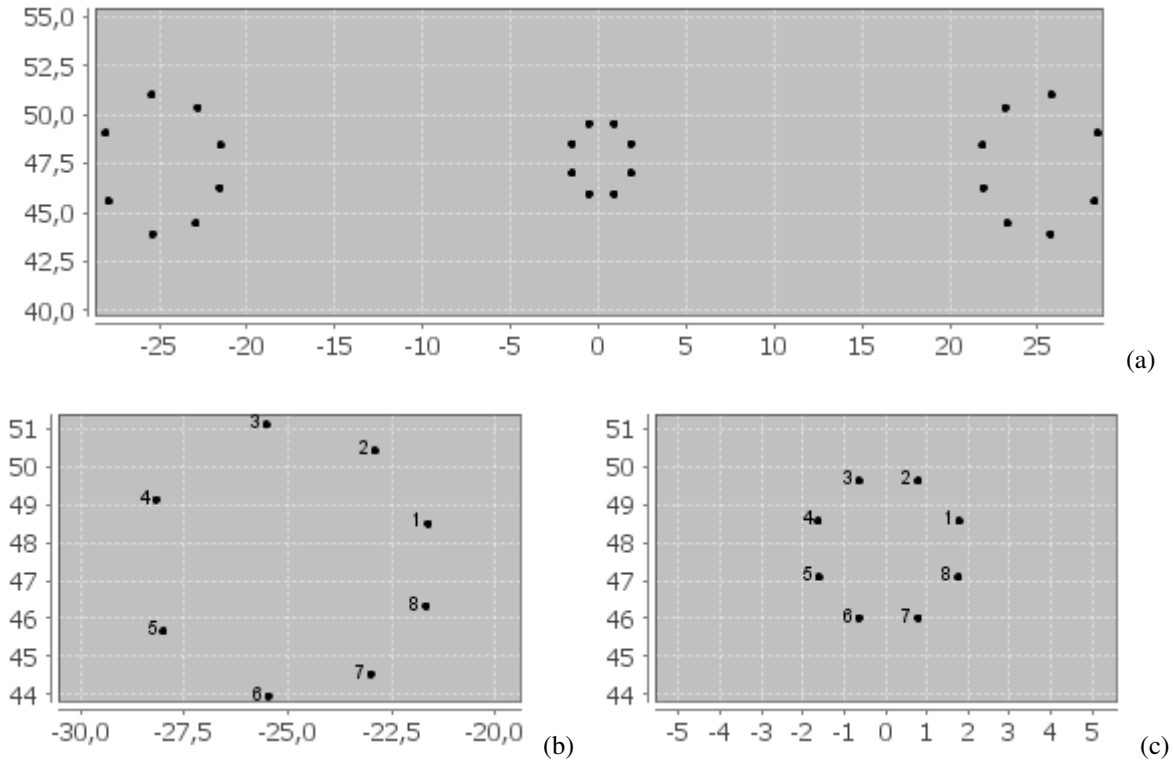

Figura 9.16: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.15: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,098	1,094	1,094	1,098	1,091	1,096	1,096	1,091			1,095	0,008
Ki	1,097	1,096	1,096	1,097	1,097	1,096	1,096	1,097			1,096	0,001
Kc	1,001	0,998	0,998	1,001	0,994	1,000	1,000	0,994			0,998	0,007
Icond [A]	439	440	445	450	448	447	443	437			444	12
Esup [kV/cm]	18,0	17,9	17,9	18,0	17,8	17,9	17,9	17,8			17,9	0,1

Tabela 9.16: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,055	1,054	1,052	1,049	1,051	1,054	1,055	1,055			1,053	0,006
Ki	1,064	1,058	1,048	1,040	1,040	1,047	1,057	1,064			1,052	0,026
Kc	0,991	0,997	1,004	1,008	1,010	1,006	0,998	0,992			1,001	0,019
Icond [A]	445	449	449	442	434	434	438	441			442	16
Esup [kV/cm]	17,3	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,3	17,3			17,2	0,1

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	8

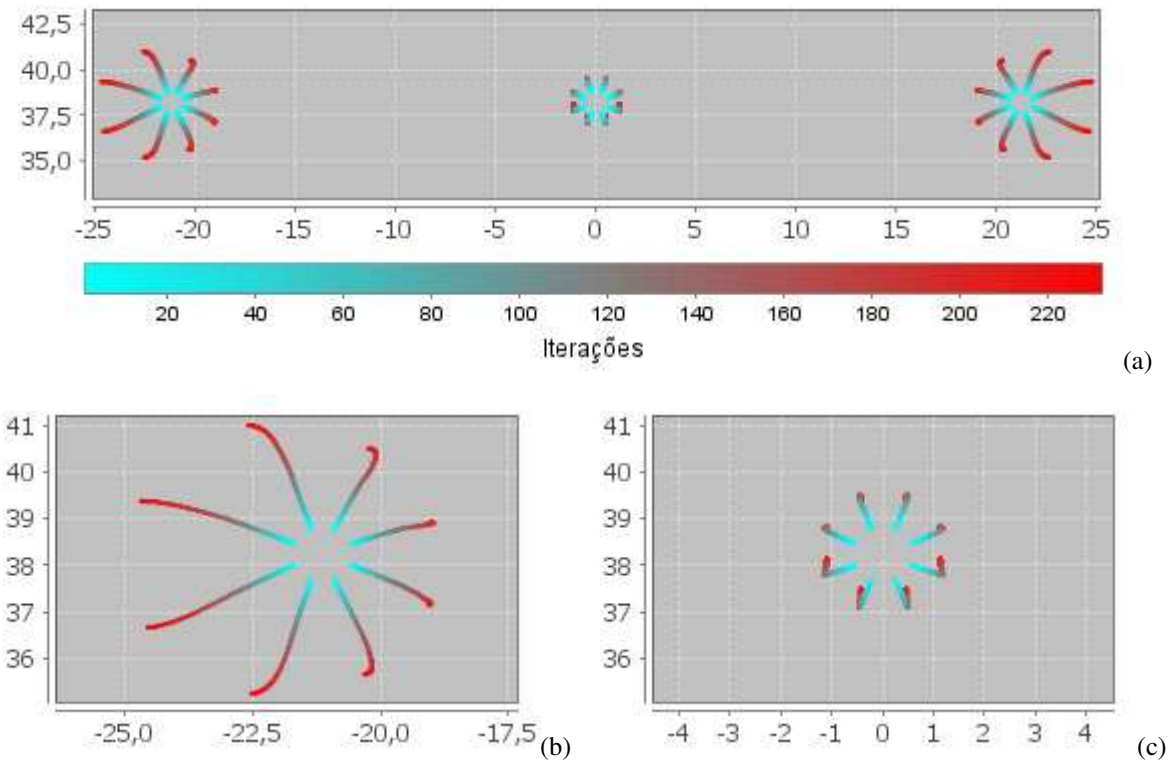

Figura 9.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (133), 4-I (133), 5-I (136), 8-I (136), 2-I (140), 3-I (140), 6-I (140), 7-I (140), 5-E (225), 4-E (226), 6-E (228), 3-E (229), 7-E (230), 1-E (231), ...

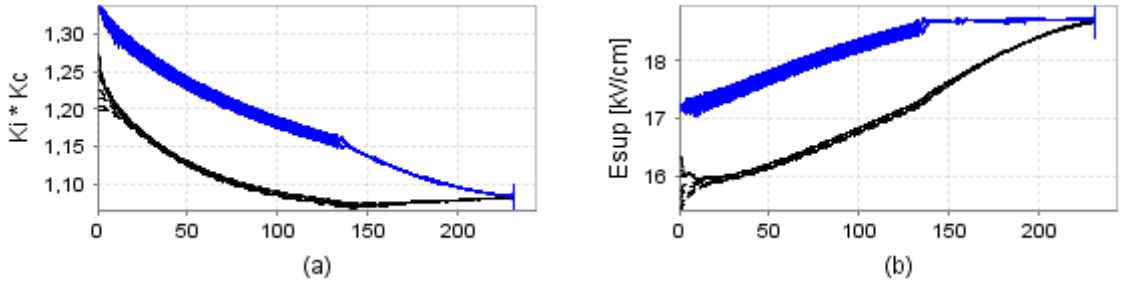

Figura 9.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional

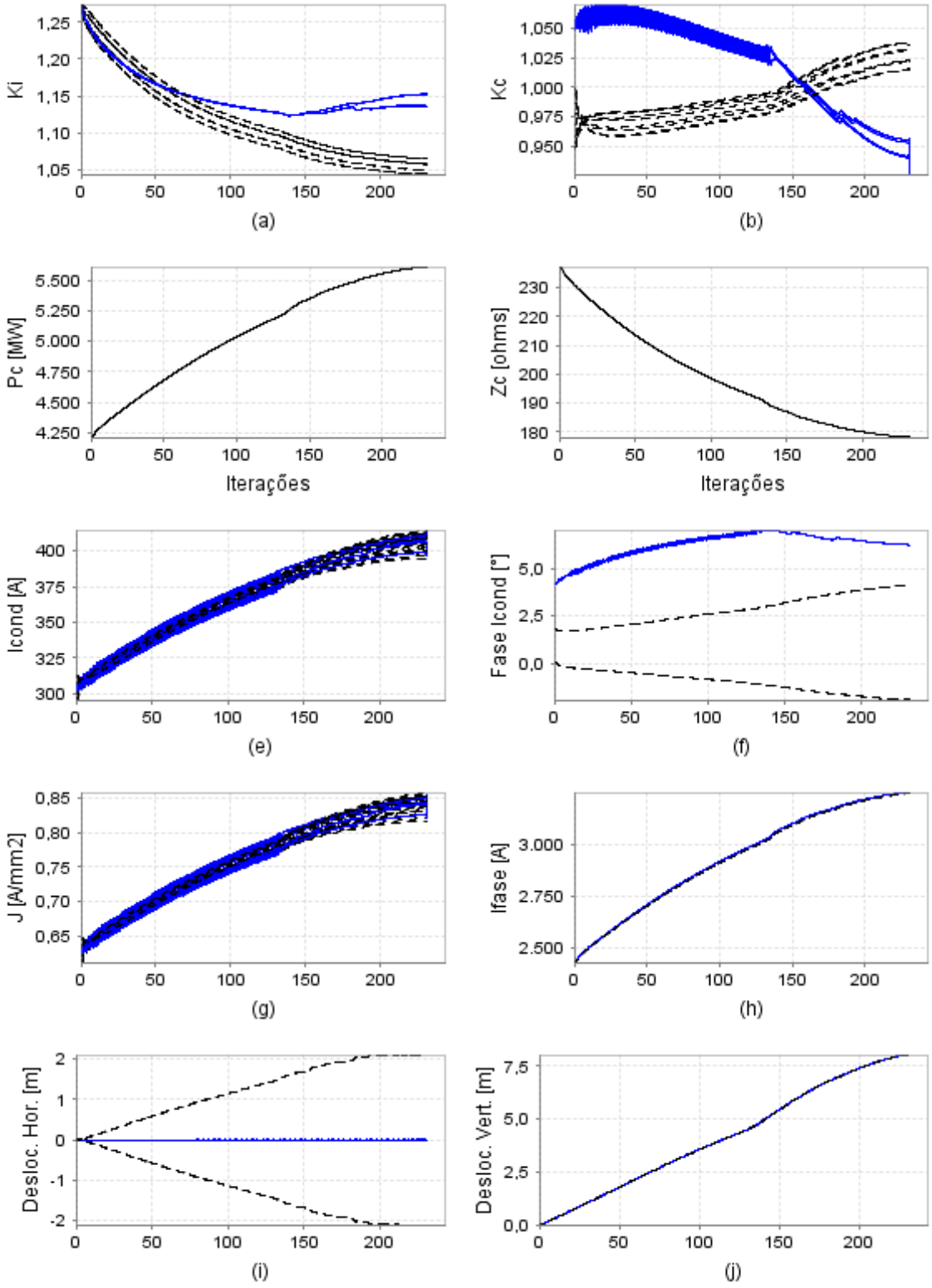

Figura 9.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional

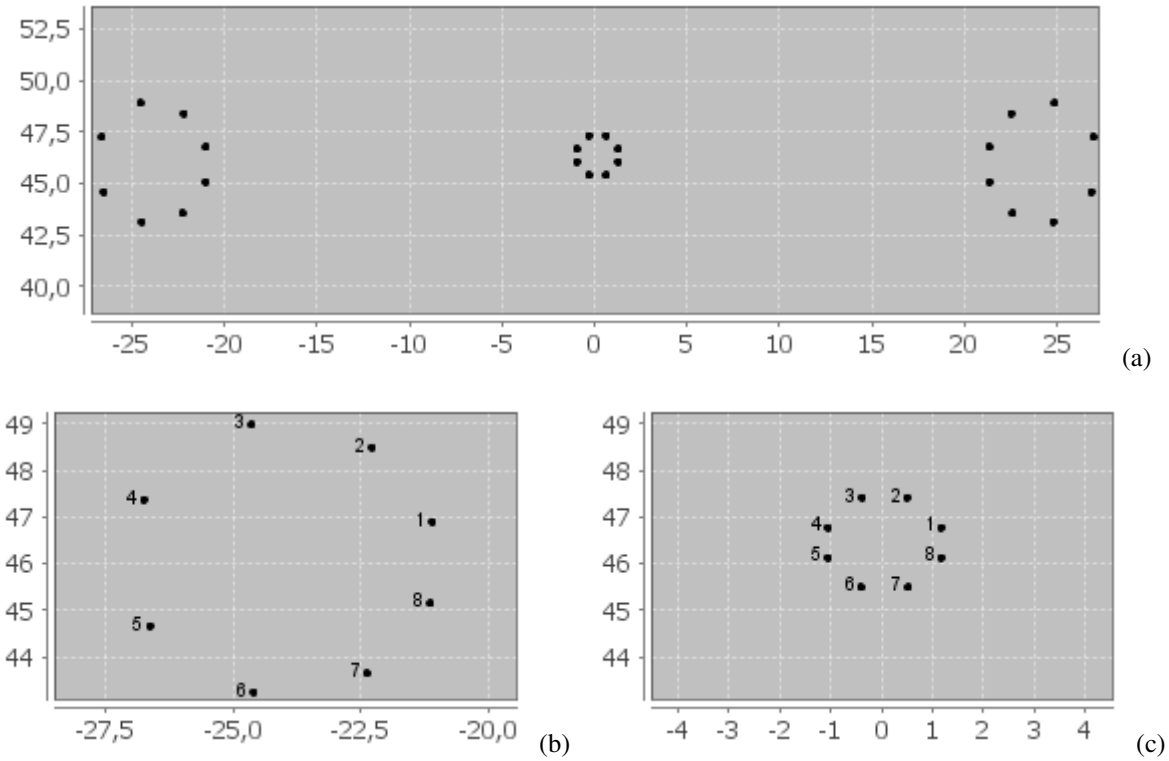

Figura 9.20: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,084	1,085	1,085	1,084	1,083	1,083	1,083	1,083			1,084	0,002
Ki	1,152	1,136	1,136	1,152	1,152	1,136	1,136	1,152			1,144	0,023
Kc	0,941	0,955	0,955	0,941	0,940	0,953	0,953	0,940			0,947	0,019
Icond [A]	399	406	410	408	408	411	407	399			406	12
Esup [kV/cm]	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7			18,7	0,0

Tabela 9.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,081	1,082	1,081	1,081	1,082	1,081	1,081	1,082			1,081	0,001
Ki	1,065	1,058	1,049	1,044	1,044	1,049	1,057	1,065			1,054	0,023
Kc	1,015	1,023	1,031	1,036	1,036	1,031	1,023	1,016			1,026	0,023
Icond [A]	409	413	412	405	399	398	402	406			405	14
Esup [kV/cm]	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7			18,7	0,0

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	8

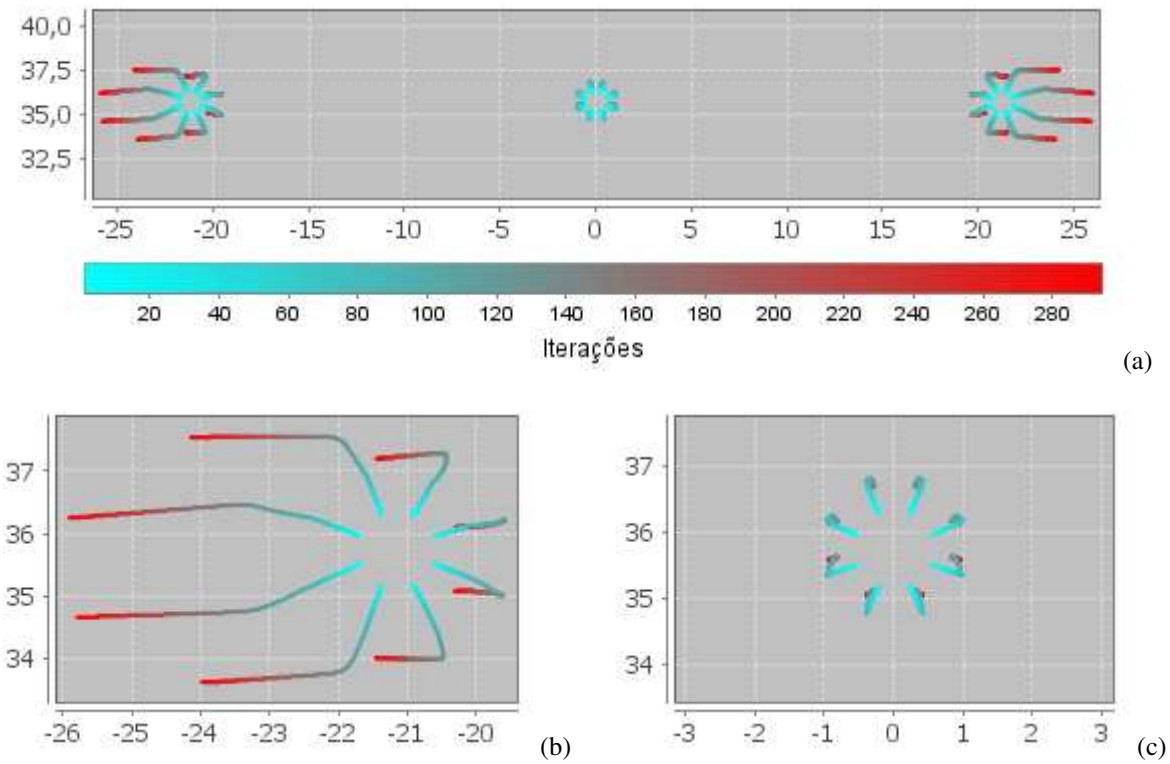

Figura 9.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (71), 4-I (71), 5-I (74), 8-I (74), 2-I (78), 3-I (78), 6-I (78), 7-I (78), 8-E (282), 4-E (287), 5-E (287), 1-E (294)

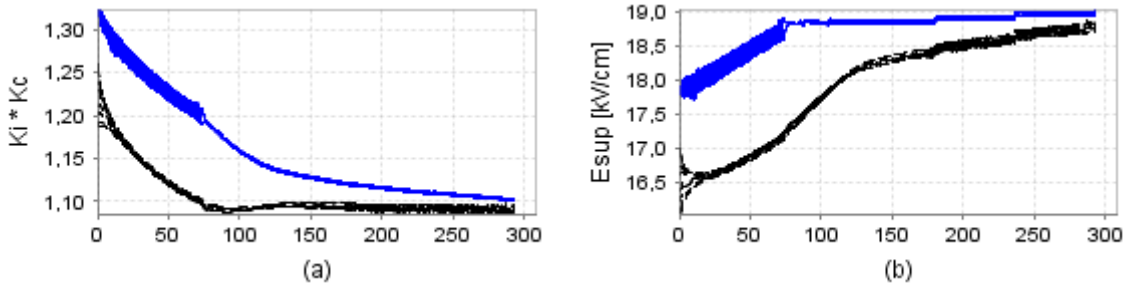

Figura 9.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

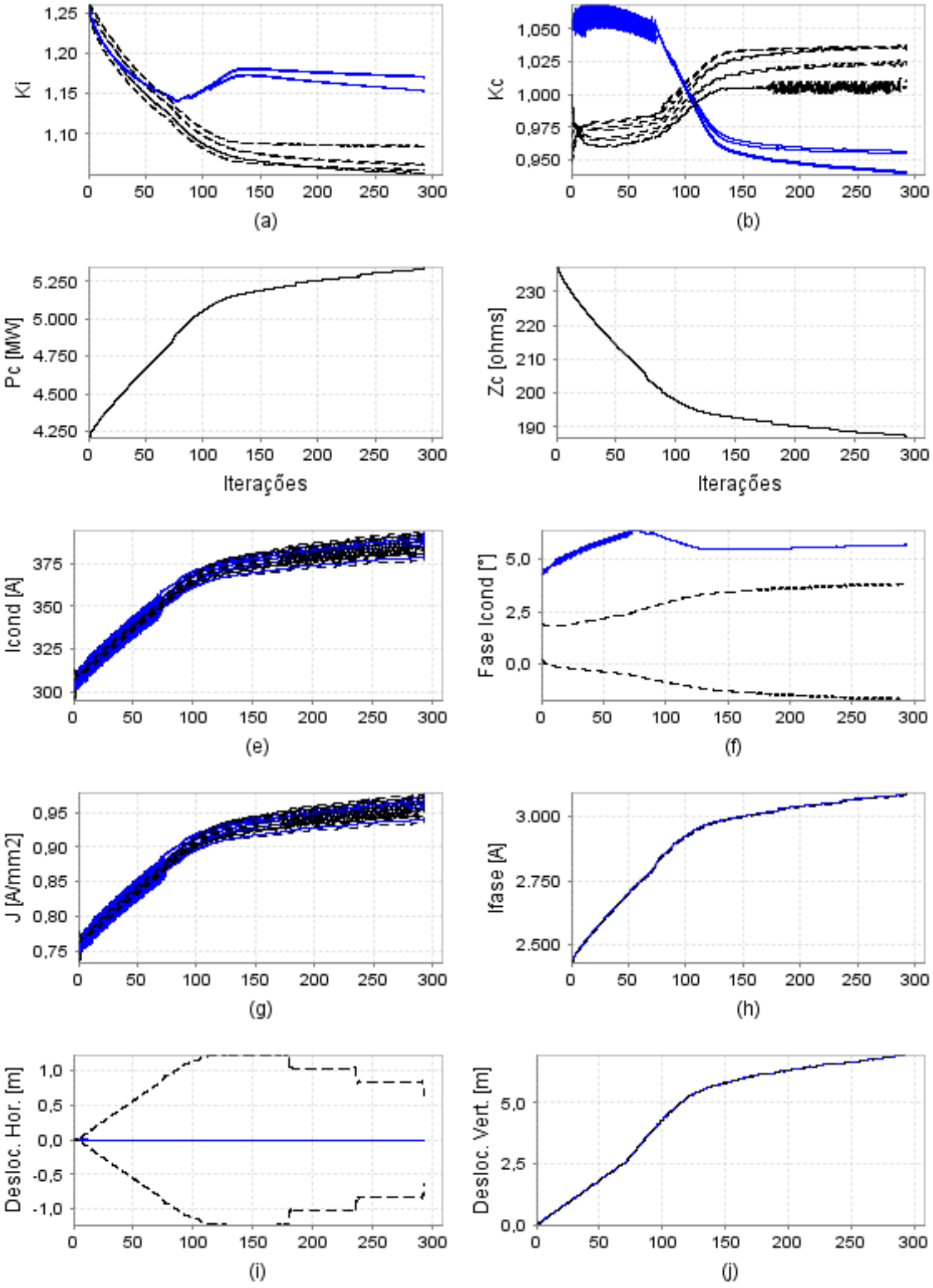

Figura 9.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

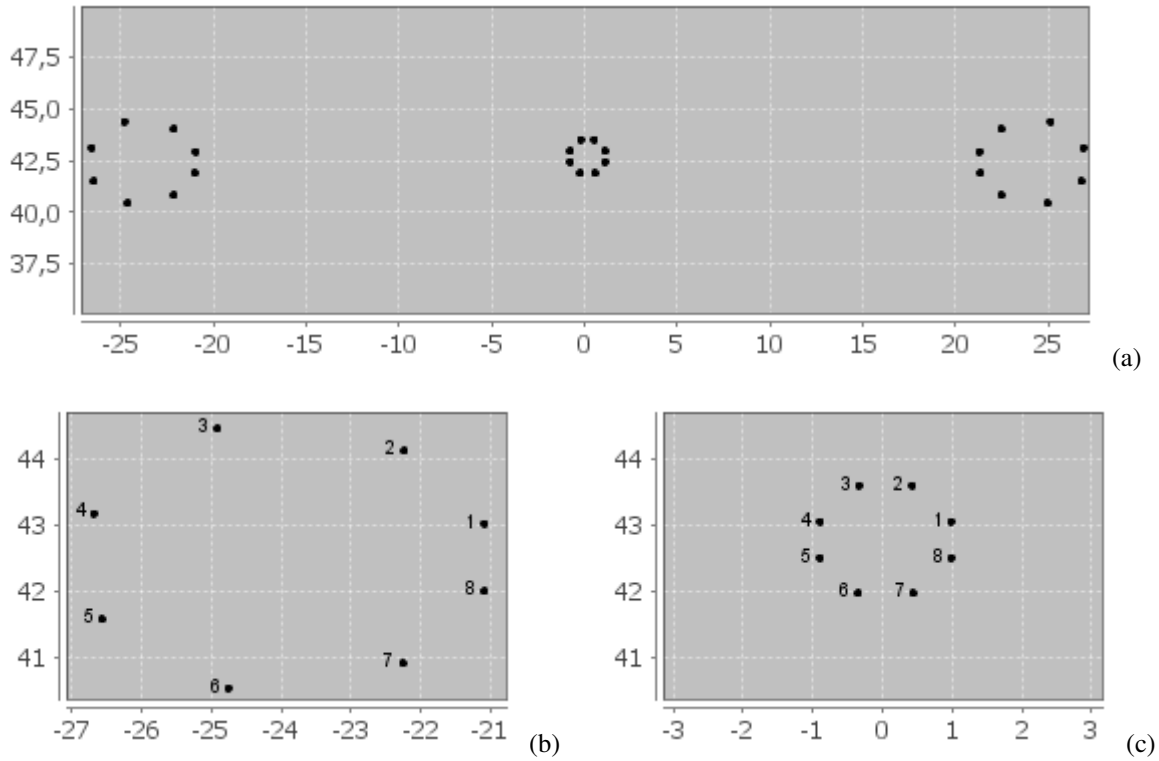

Figura 9.24: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,100	1,101	1,101	1,100	1,100	1,103	1,103	1,100			1,101	0,003
Ki	1,170	1,153	1,153	1,170	1,171	1,153	1,153	1,171			1,162	0,024
Kc	0,941	0,955	0,955	0,941	0,939	0,956	0,956	0,939			0,948	0,022
Icond [A]	379	386	390	387	387	391	388	379			386	13
Esup [kV/cm]	18,9	19,0	19,0	18,9	18,9	19,0	19,0	18,9			19,0	0,1

Tabela 9.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,091	1,087	1,089	1,093	1,094	1,090	1,087	1,095			1,091	0,008
Ki	1,085	1,062	1,051	1,056	1,055	1,050	1,061	1,084			1,063	0,036
Kc	1,006	1,023	1,036	1,035	1,037	1,037	1,025	1,010			1,026	0,033
Icond [A]	385	391	392	385	381	382	384	384			385	11
Esup [kV/cm]	18,8	18,7	18,7	18,8	18,8	18,8	18,7	18,8			18,8	0,1

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	9

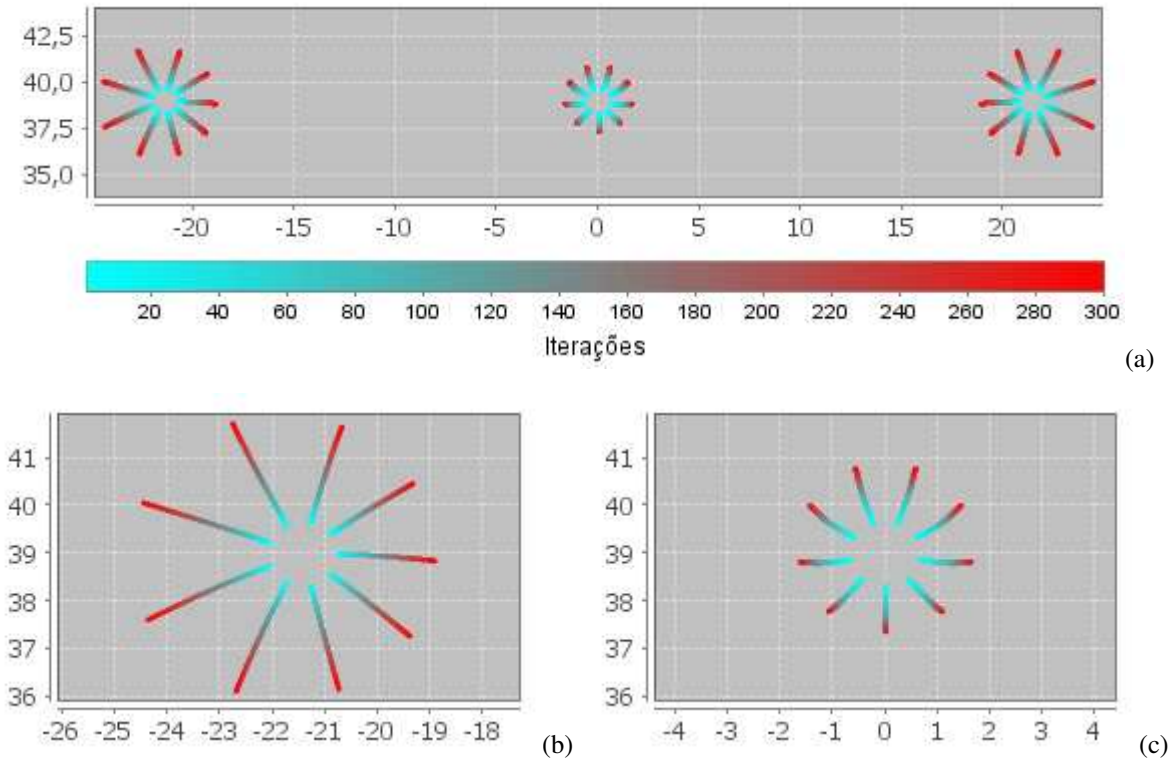

Figura 9.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

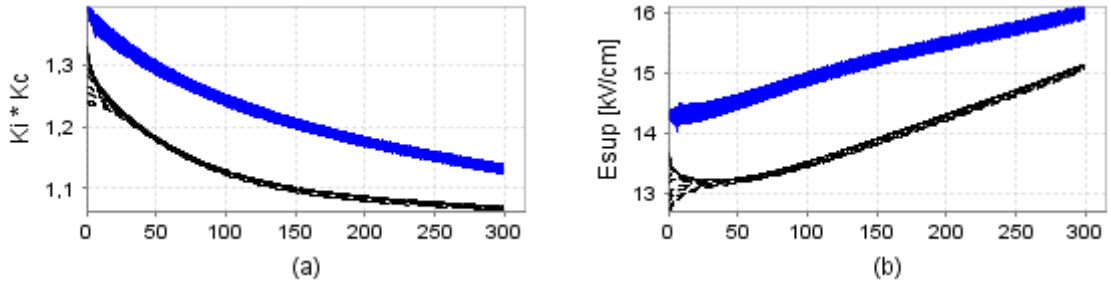

Figura 9.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

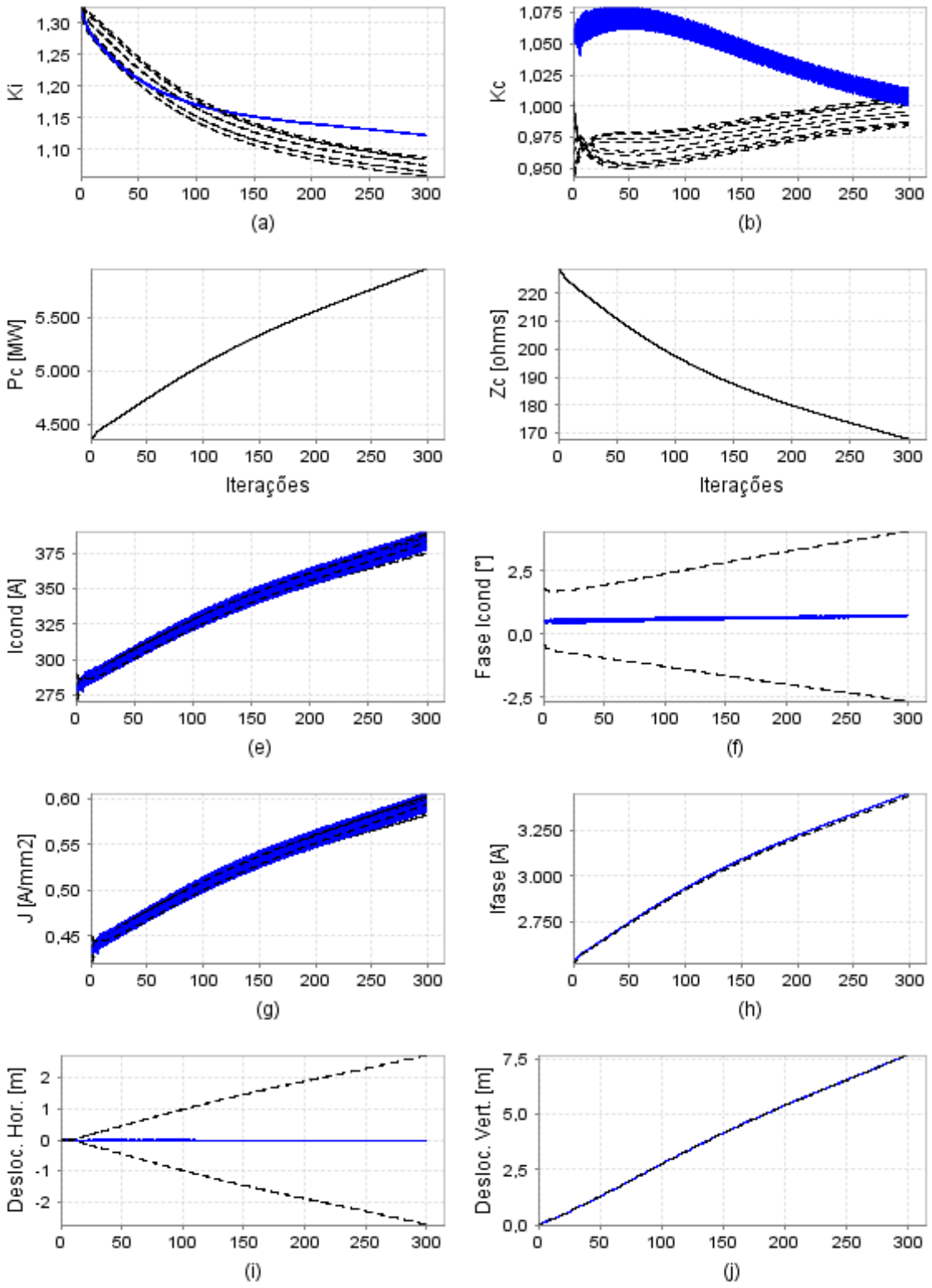

Figura 9.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

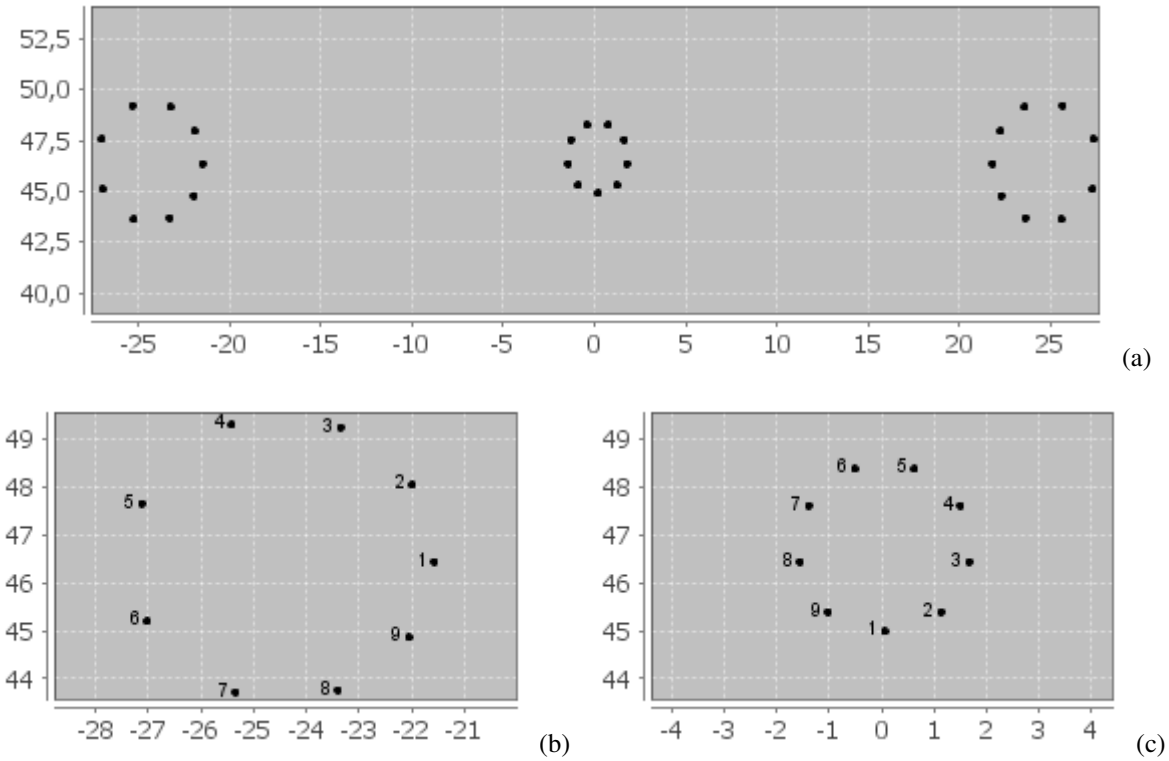

Figura 9.28: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,126	1,139	1,124	1,139	1,130	1,130	1,139	1,124	1,139		1,132	0,020
Ki	1,122	1,123	1,123	1,123	1,122	1,122	1,123	1,123	1,123		1,123	0,001
Kc	1,003	1,014	1,001	1,014	1,007	1,007	1,014	1,001	1,014		1,008	0,017
Icond [A]	382	383	377	382	381	384	390	387	390		384	12
Esup [kV/cm]	15,9	16,1	15,9	16,1	16,0	16,0	16,1	15,9	16,1		16,0	0,3

Tabela 9.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,070	1,069	1,068	1,065	1,063	1,065	1,069	1,070	1,071		1,068	0,007
Ki	1,087	1,084	1,076	1,065	1,058	1,058	1,065	1,075	1,084		1,073	0,032
Kc	0,984	0,986	0,993	1,000	1,005	1,007	1,004	0,996	0,988		0,996	0,024
Icond [A]	382	385	388	388	383	378	377	378	380		382	12
Esup [kV/cm]	15,1	15,1	15,1	15,1	15,0	15,1	15,1	15,1	15,1		15,1	0,1

9.2.2.2- Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

Quando se restringe os feixes a geometrias com simetria vertical a expansão horizontal dos feixes é bastante reduzida para que a diferença entre o carregamento dos subcondutores opostos pelo eixo de simetria não seja elevada. Com isso a expansão dos feixes é vertical e nos casos em que o processo avança sem ser restrito pelo limite do campo elétrico superficial percebe-se claramente a separação de dois conjuntos de subcondutores que se afastam verticalmente. Nos feixes externos, que atingem maior tamanho, a separação é ainda superior, formando geometrias bastante alongadas verticalmente.

Nos casos que incluem alguns subcondutores dispostos verticalmente, tais condutores são capazes de compensar parcialmente o desequilíbrio de carga elétrica provocado pela restrição de simetria vertical. Compensação esta devida principalmente à eliminação dos subcondutores laterais, que concentram a maior diferença no carregamento elétrico. A compensação na diferença de carregamento entre os subcondutores verticalmente opostos se dá na assimetria horizontal dos feixes externos em conjunto com o deslocamento vertical do feixe interno.

Nos casos em que todos os subcondutores dos feixes externos estão dispostos verticalmente ocorre a aproximação dos subcondutores localizados nos extremos do feixe e esta forma vai minimizar ambos os fatores *Ki* e *Kc*.

Em alguns casos a diferença no carregamento entre os subcondutores verticais e os demais é muito alta e os mesmos são tão fortemente deslocados na direção vertical que são movidos para o exterior da forma geométrica convexa delimitada pelos outros subcondutores do feixe.

Quando são ativadas as restrições associadas ao feixe interno ocorre o bloqueio em sua expansão e em alguns casos ocorre o achatamento do feixe, analogamente ao observado nos casos sem simetria vertical.

Comparando-se os resultados com o trabalho de Gomes, S. [17], tem-se que os resultados obtidos neste trabalho quando se restringe os feixes externos à forma vertical são semelhantes aos de mesma premissa no presente trabalho. Já o trabalho de Salari, J. C. [1] afirma que as linhas otimizadas devem ter formas elípticas, cuja excentricidade depende principalmente do número de subcondutores. Esta condição pode ser observada nos resultados desta seção que não empregam subcondutores dispostos verticalmente.

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	6

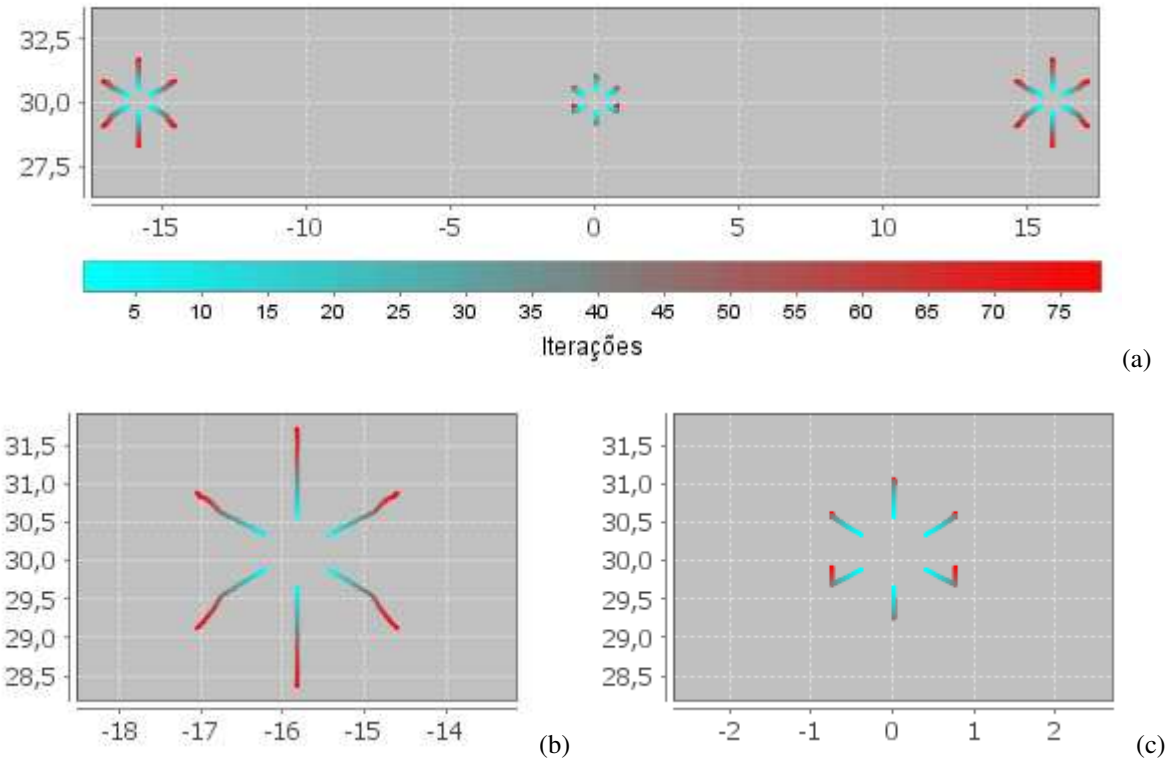

Figura 9.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 5-I (43), 1-I (45), 3-I (45), 2-I (46), 4-I (46), 6-I (46), 6-E (75), 1-E (77)

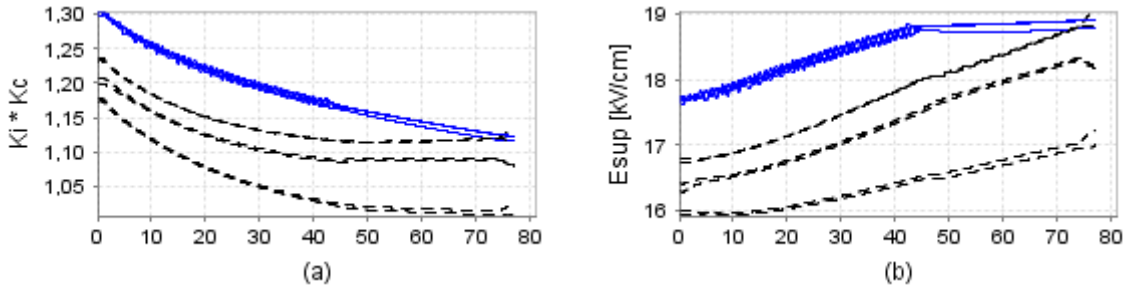

Figura 9.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional

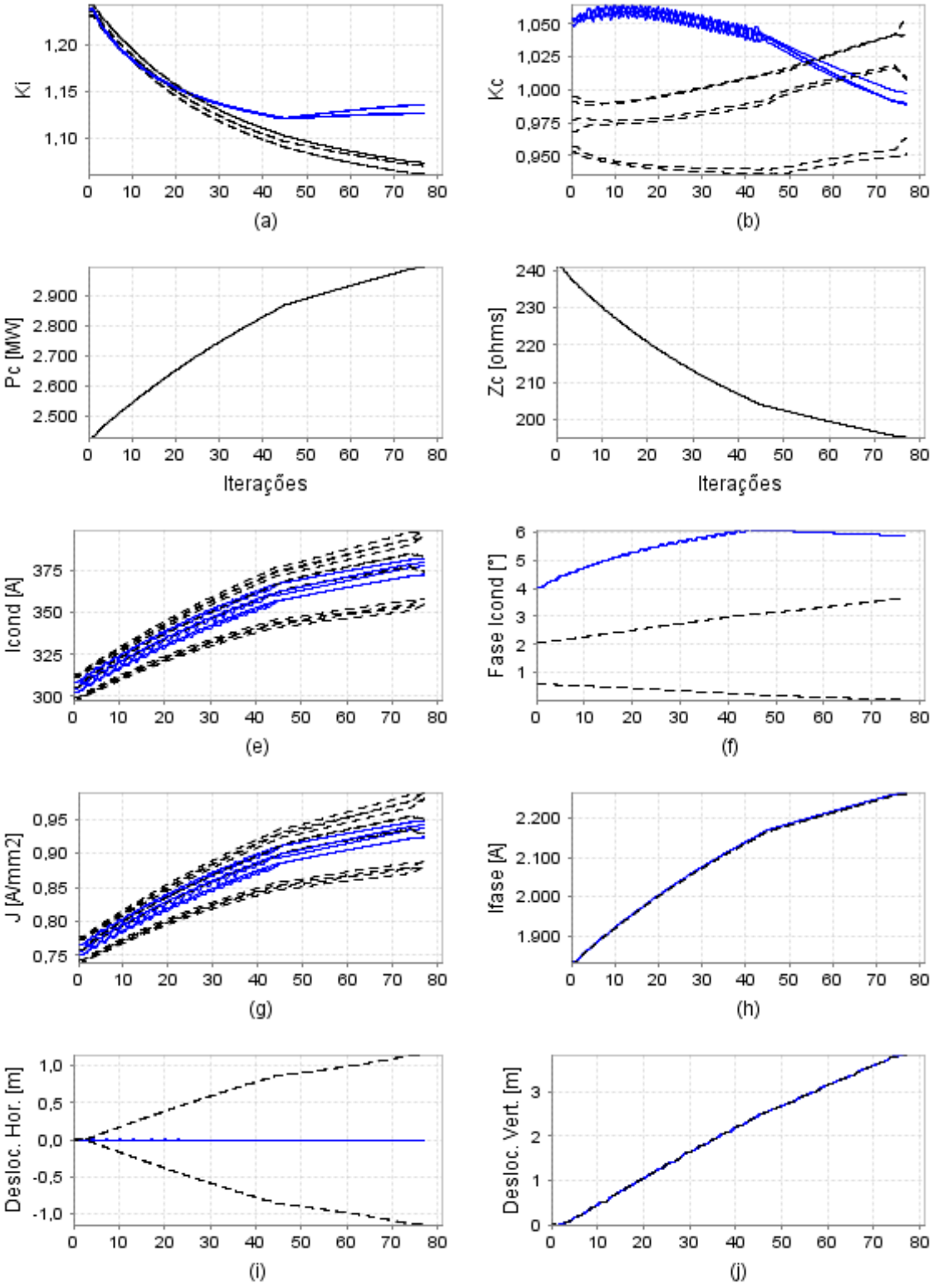

Figura 9.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional

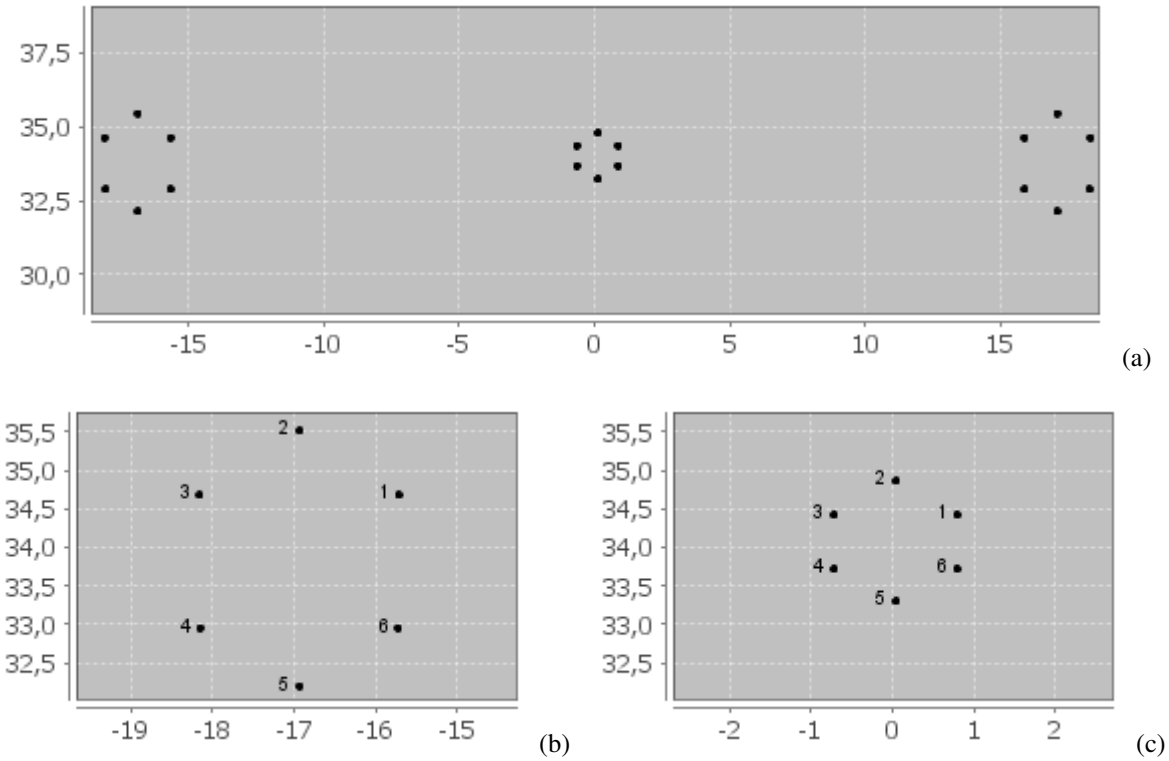

Figura 9.32: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,124	1,124	1,124	1,124	1,117	1,124					1,123	0,007
Ki	1,135	1,126	1,135	1,136	1,127	1,136					1,133	0,010
Kc	0,990	0,998	0,990	0,990	0,991	0,990					0,991	0,008
Icond [A]	372	379	382	382	377	372					377	10
Esup [kV/cm]	18,9	18,9	18,9	18,9	18,8	18,9					18,9	0,1

Tabela 9.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,118	1,085	1,008	1,021	1,082	1,129					1,074	0,111
Ki	1,074	1,071	1,062	1,062	1,071	1,074					1,069	0,013
Kc	1,041	1,013	0,949	0,961	1,011	1,051					1,004	0,092
Icond [A]	394	384	357	357	375	393					377	37
Esup [kV/cm]	18,8	18,2	17,0	17,2	18,2	19,0					18,1	1,9

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	6

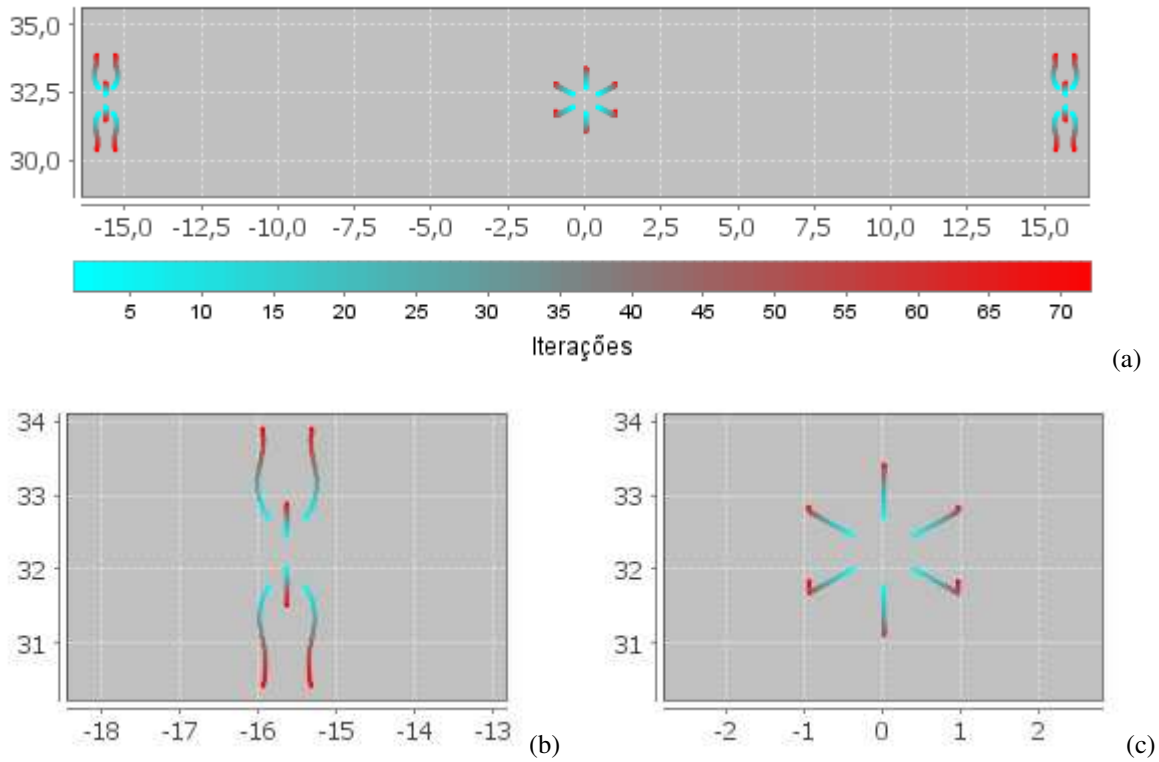

Figura 9.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (56), 2-I (56), 3-I (56), 4-I (56), 5-I (56), 6-I (56), 4-E (66)

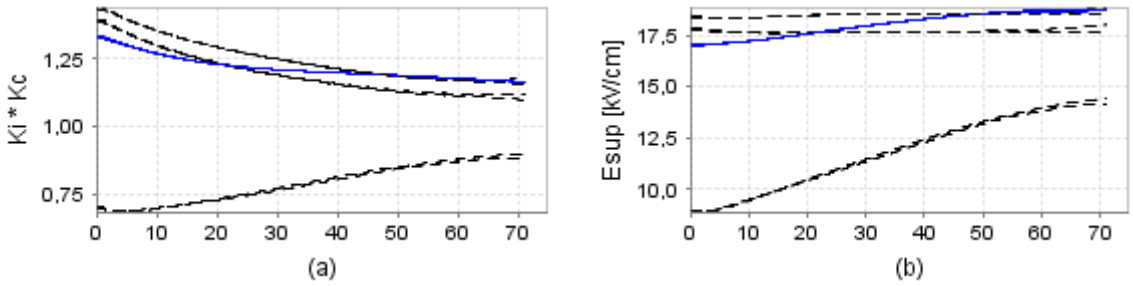

Figura 9.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional

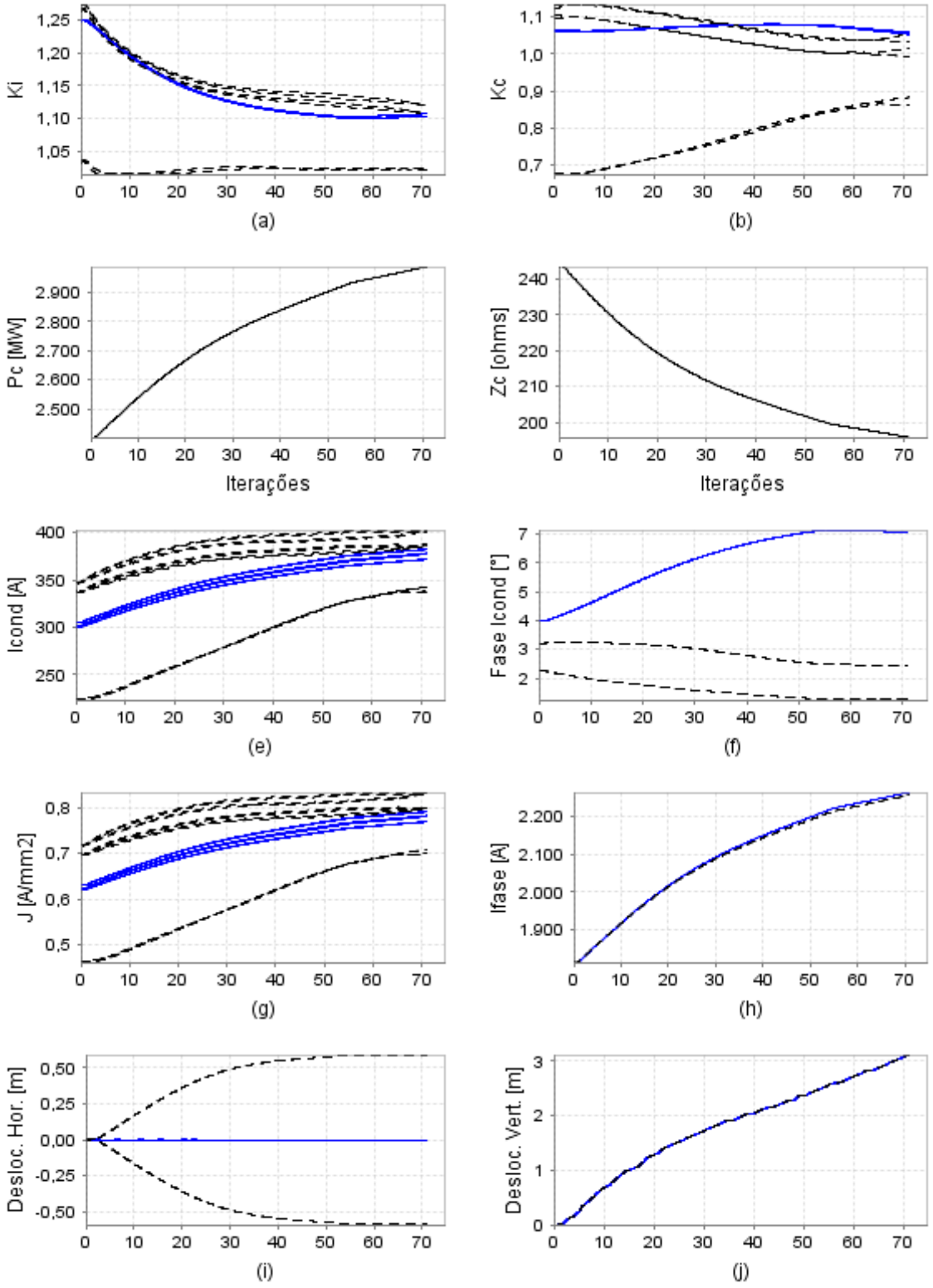

Figura 9.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional

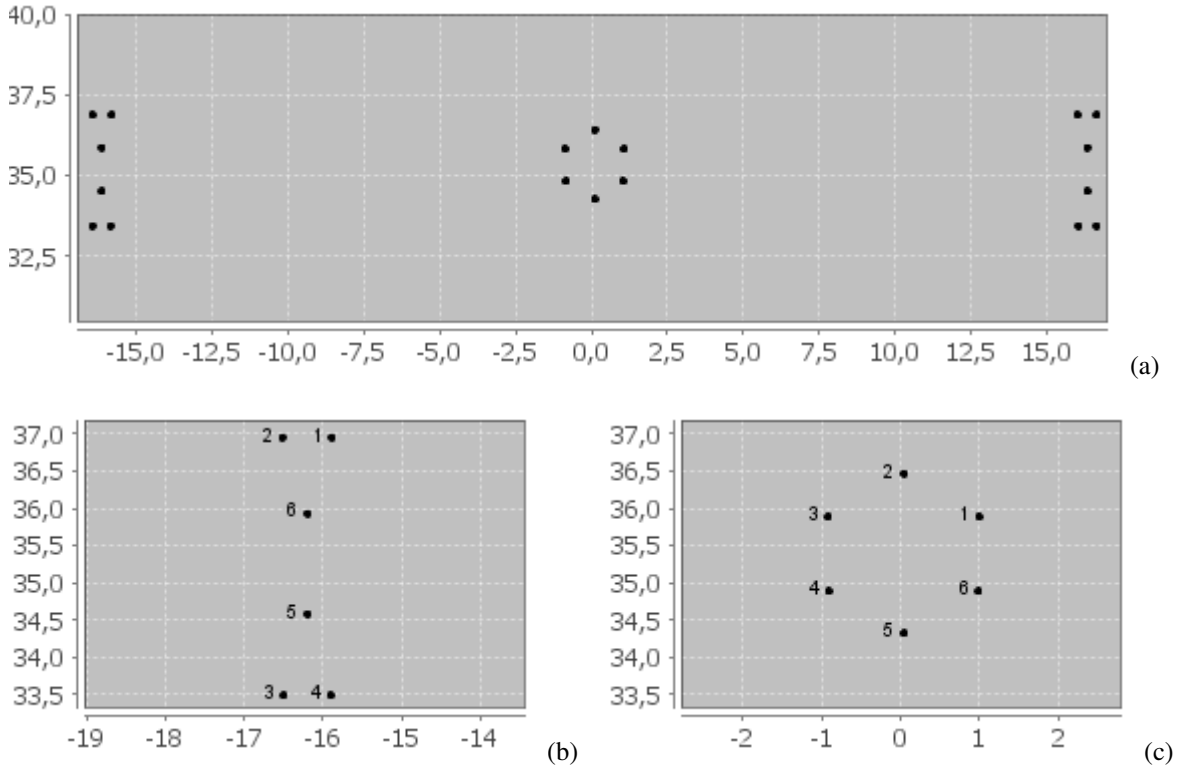

Figura 9.36: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,167	1,167	1,167	1,166	1,166	1,166					1,166	0,001
Ki	1,106	1,102	1,106	1,107	1,102	1,107					1,105	0,005
Kc	1,054	1,059	1,054	1,054	1,058	1,054					1,056	0,005
Icond [A]	372	378	382	382	377	371					377	11
Esup [kV/cm]	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7					18,7	0,0

Tabela 9.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,158	1,101	1,122	1,176	0,899	0,883					1,057	0,293
Ki	1,121	1,109	1,107	1,120	1,021	1,023					1,084	0,108
Kc	1,033	0,993	1,013	1,050	0,881	0,863					0,972	0,179
Icond [A]	400	386	387	401	342	337					376	64
Esup [kV/cm]	18,5	17,6	18,0	18,8	14,4	14,1					16,9	4,7

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	7

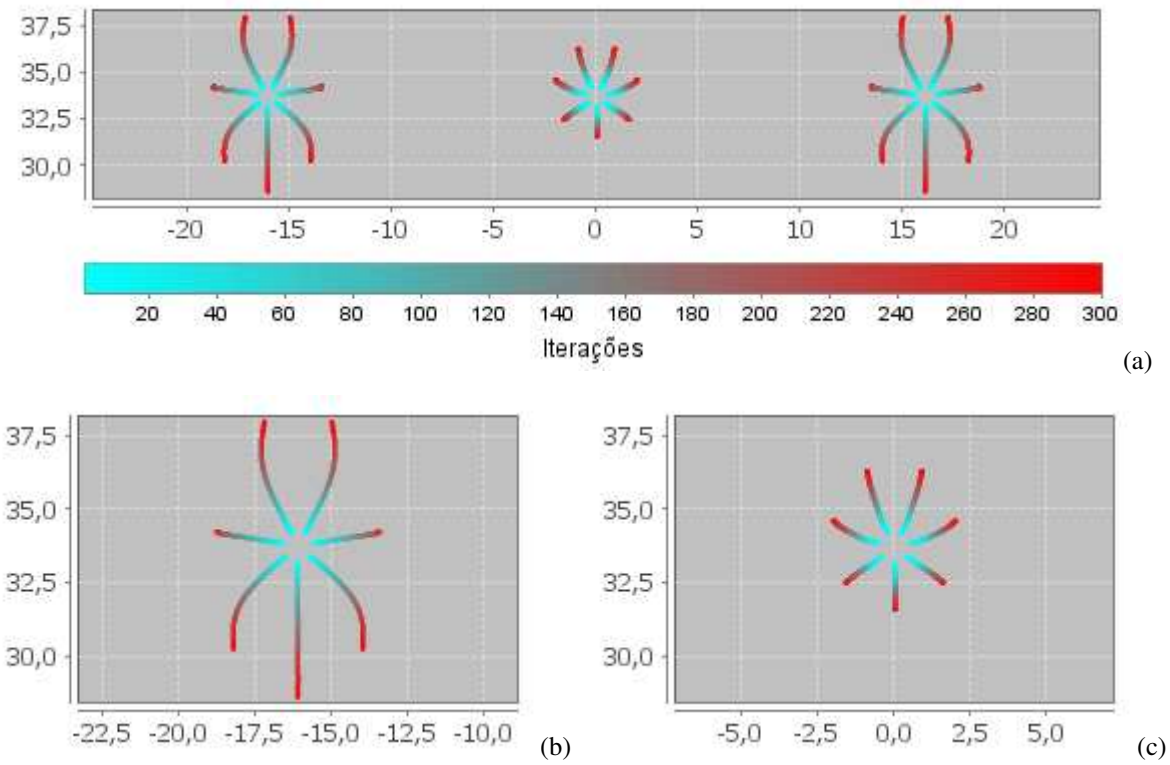

Figura 9.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

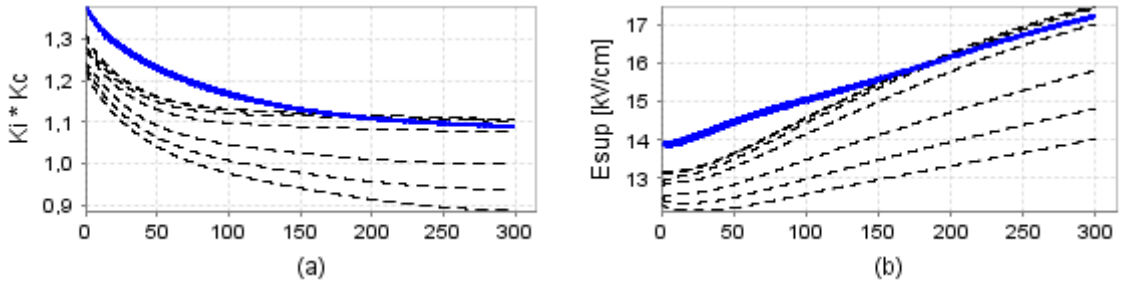

Figura 9.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

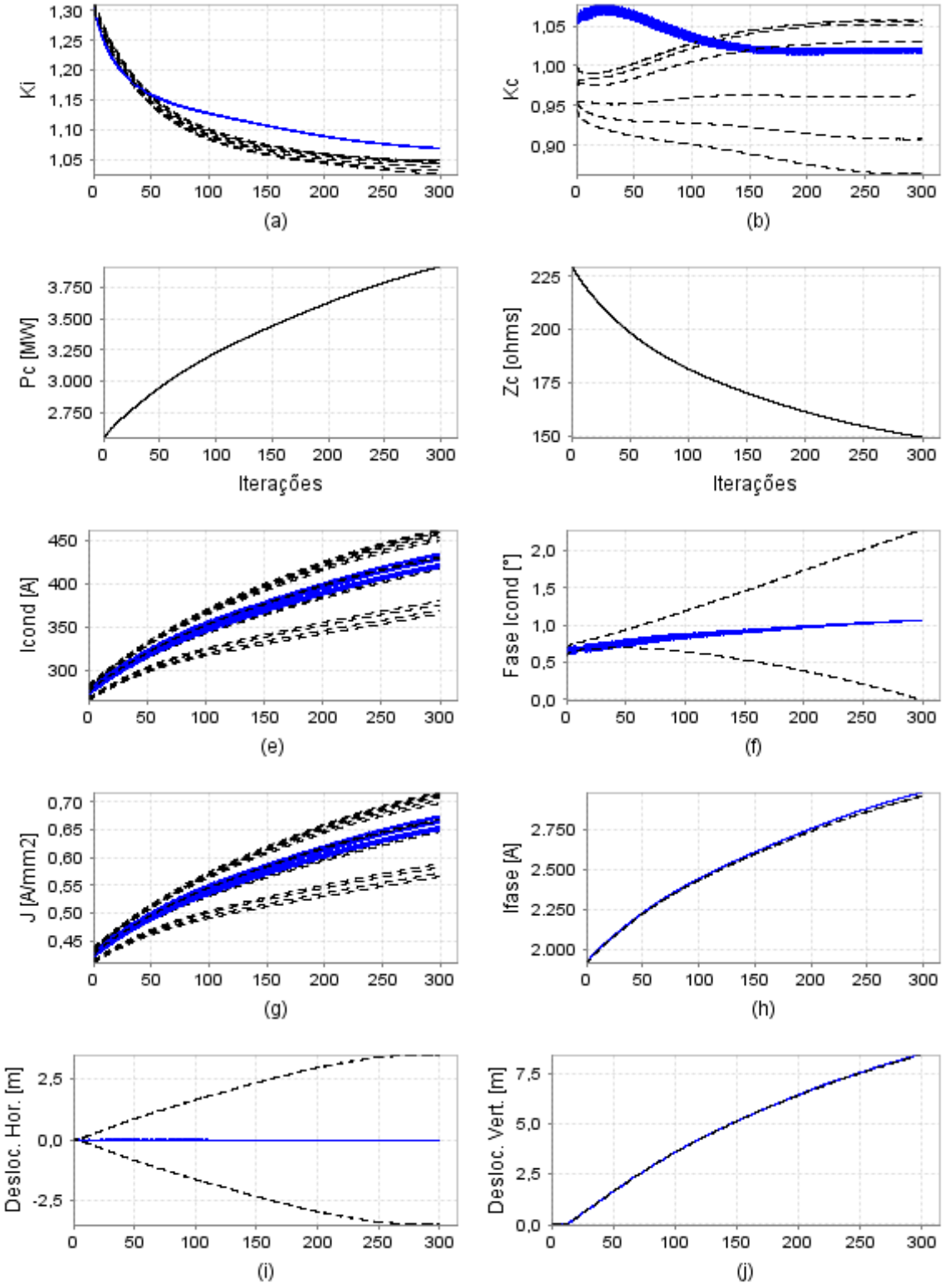

Figura 9.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

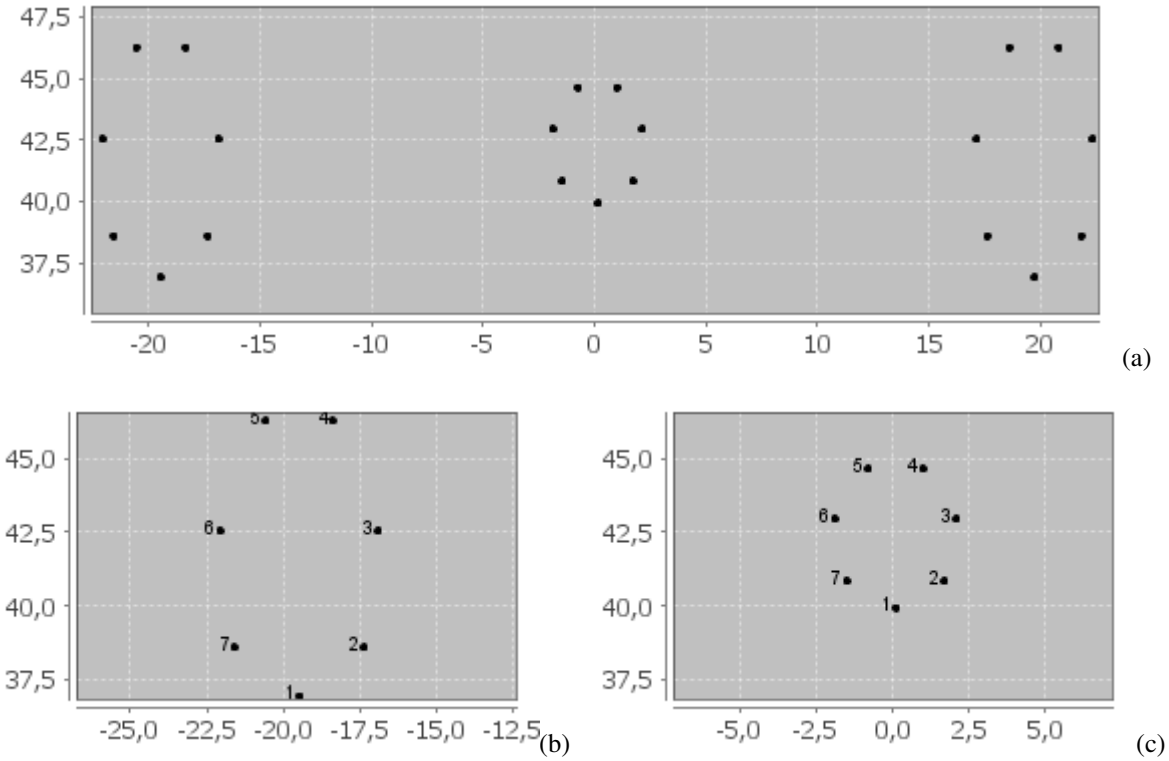

Figura 9.40: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,092	1,092	1,087	1,093	1,093	1,087	1,092				1,091	0,007
Ki	1,070	1,070	1,069	1,069	1,069	1,069	1,070				1,070	0,002
Kc	1,020	1,020	1,016	1,023	1,023	1,016	1,020				1,020	0,007
Icond [A]	427	421	418	423	429	433	434				426	15
Esup [kV/cm]	17,2	17,3	17,2	17,3	17,3	17,2	17,3				17,2	0,1

Tabela 9.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,076	1,107	1,106	1,103	1,000	0,887	0,937				1,031	0,222
Ki	1,045	1,048	1,045	1,049	1,039	1,027	1,032				1,041	0,021
Kc	1,030	1,056	1,058	1,051	0,963	0,864	0,908				0,990	0,194
Icond [A]	430	449	456	458	419	369	379				423	89
Esup [kV/cm]	17,0	17,5	17,5	17,4	15,8	14,0	14,8				16,3	3,5

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	7

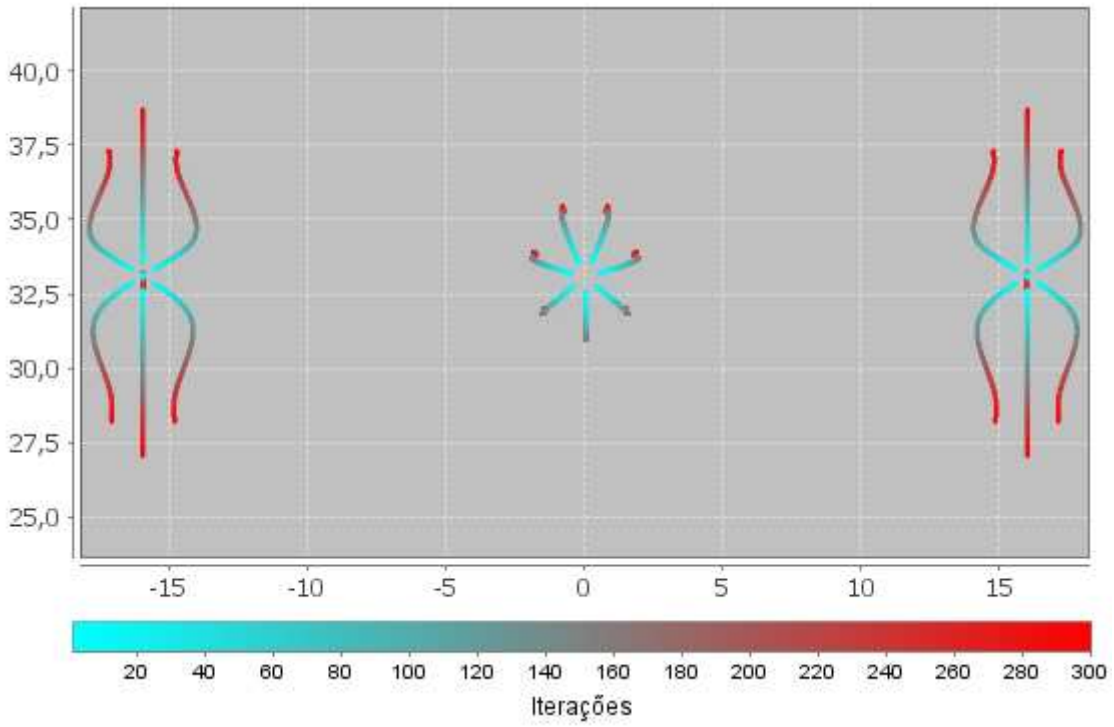

Figura 9.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

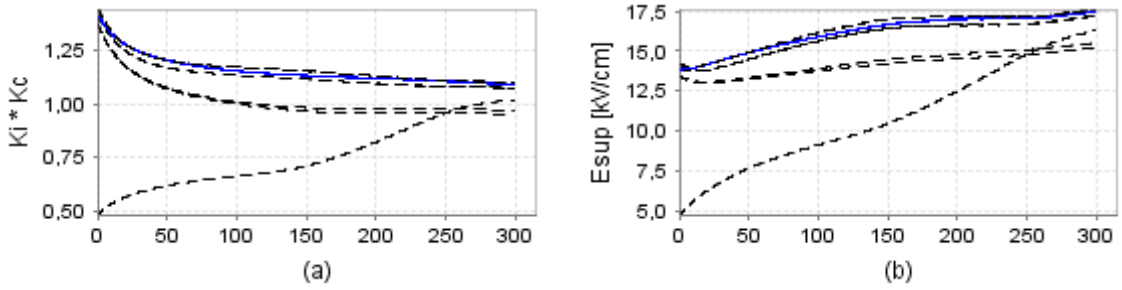

Figura 9.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

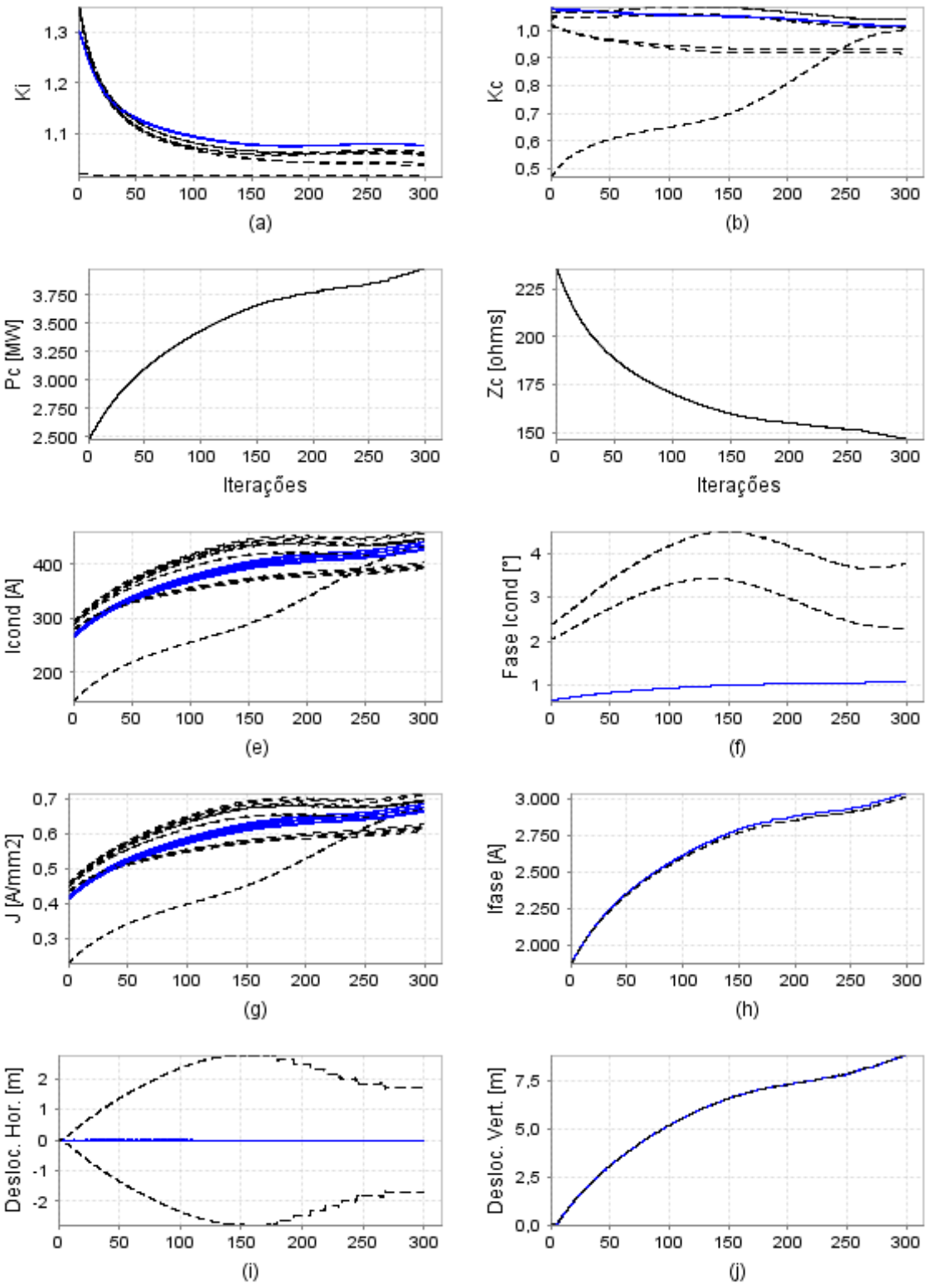

Figura 9.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

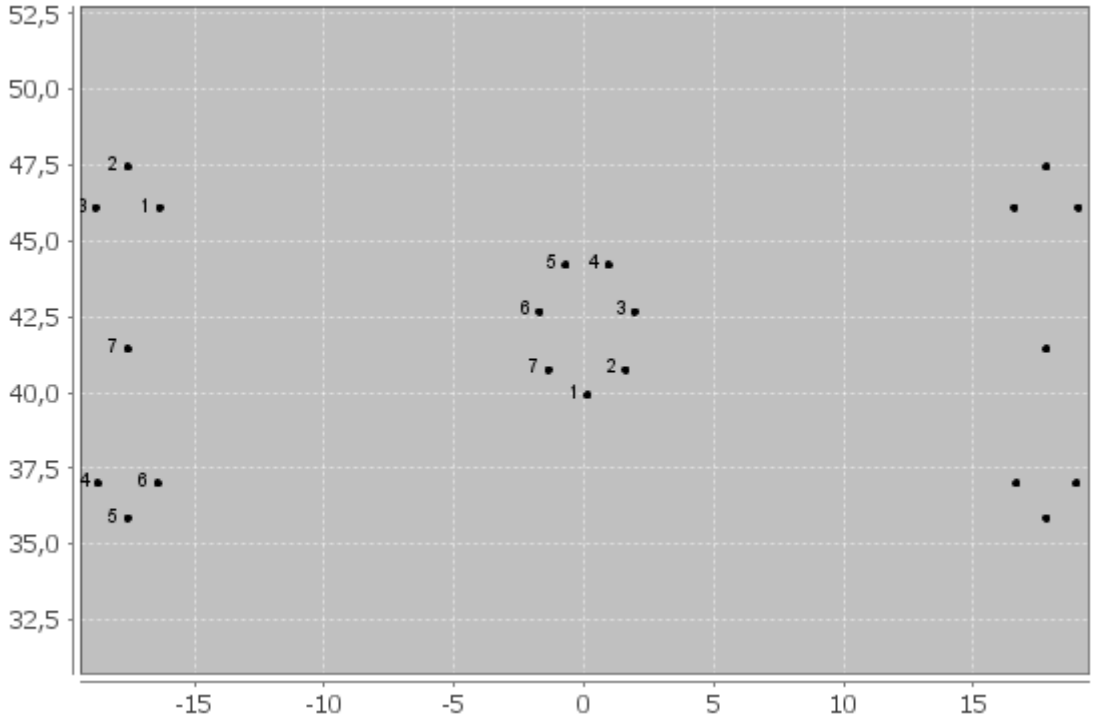

Figura 9.44: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Tabela 9.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,092	1,090	1,091	1,091	1,091	1,091	1,090				1,091	0,002
Ki	1,077	1,076	1,076	1,075	1,075	1,076	1,076				1,076	0,001
Kc	1,014	1,013	1,014	1,015	1,015	1,014	1,013				1,014	0,002
Icond [A]	434	428	426	428	435	441	440				433	15
Esup [kV/cm]	17,5	17,4	17,5	17,5	17,5	17,5	17,4				17,5	0,0

Tabela 9.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,098	1,074	0,949	0,969	1,075	1,101	1,016				1,040	0,153
Ki	1,057	1,060	1,035	1,040	1,064	1,061	1,015				1,047	0,044
Kc	1,039	1,013	0,917	0,931	1,011	1,038	1,002				0,993	0,121
Icond [A]	457	448	403	395	428	444	432				430	57
Esup [kV/cm]	17,6	17,2	15,2	15,5	17,2	17,6	16,3				16,7	2,4

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Compacta (7,5 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	7

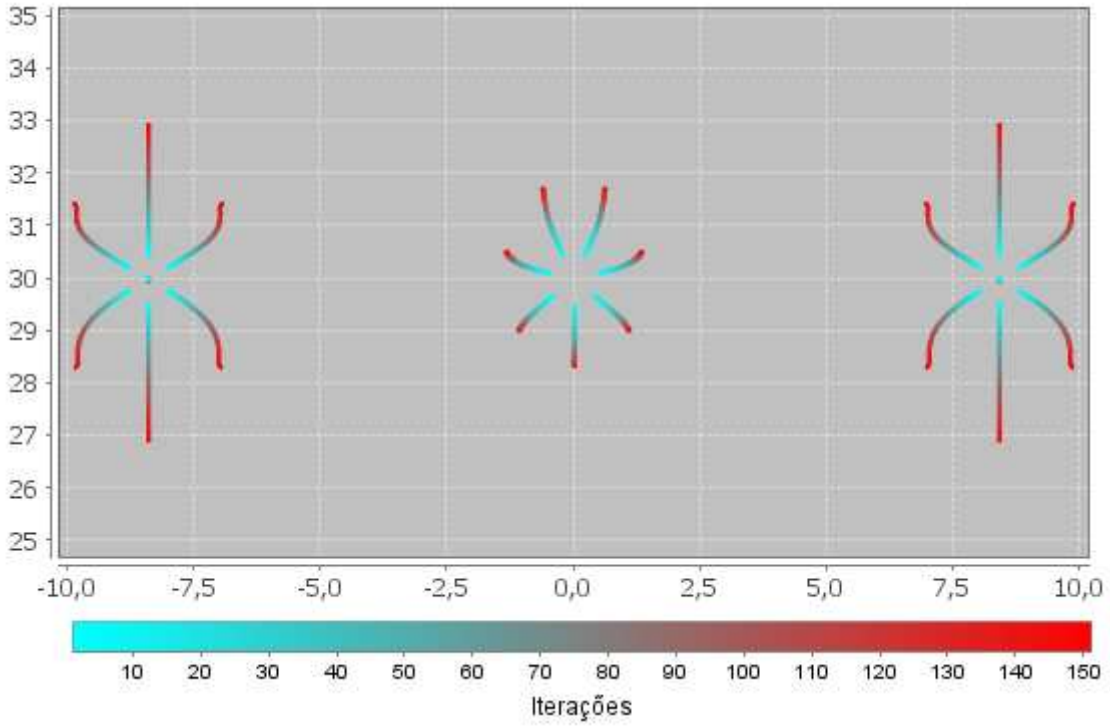

Figura 9.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 4-I (139), 5-I (139), 1-I (140), 2-I (141), 7-I (141), 3-I (144), 6-I (144), 1-E (147), 6-E (147)

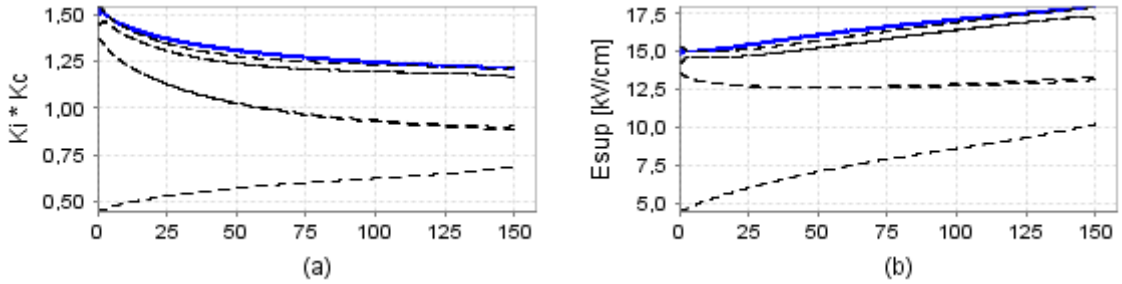

Figura 9.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

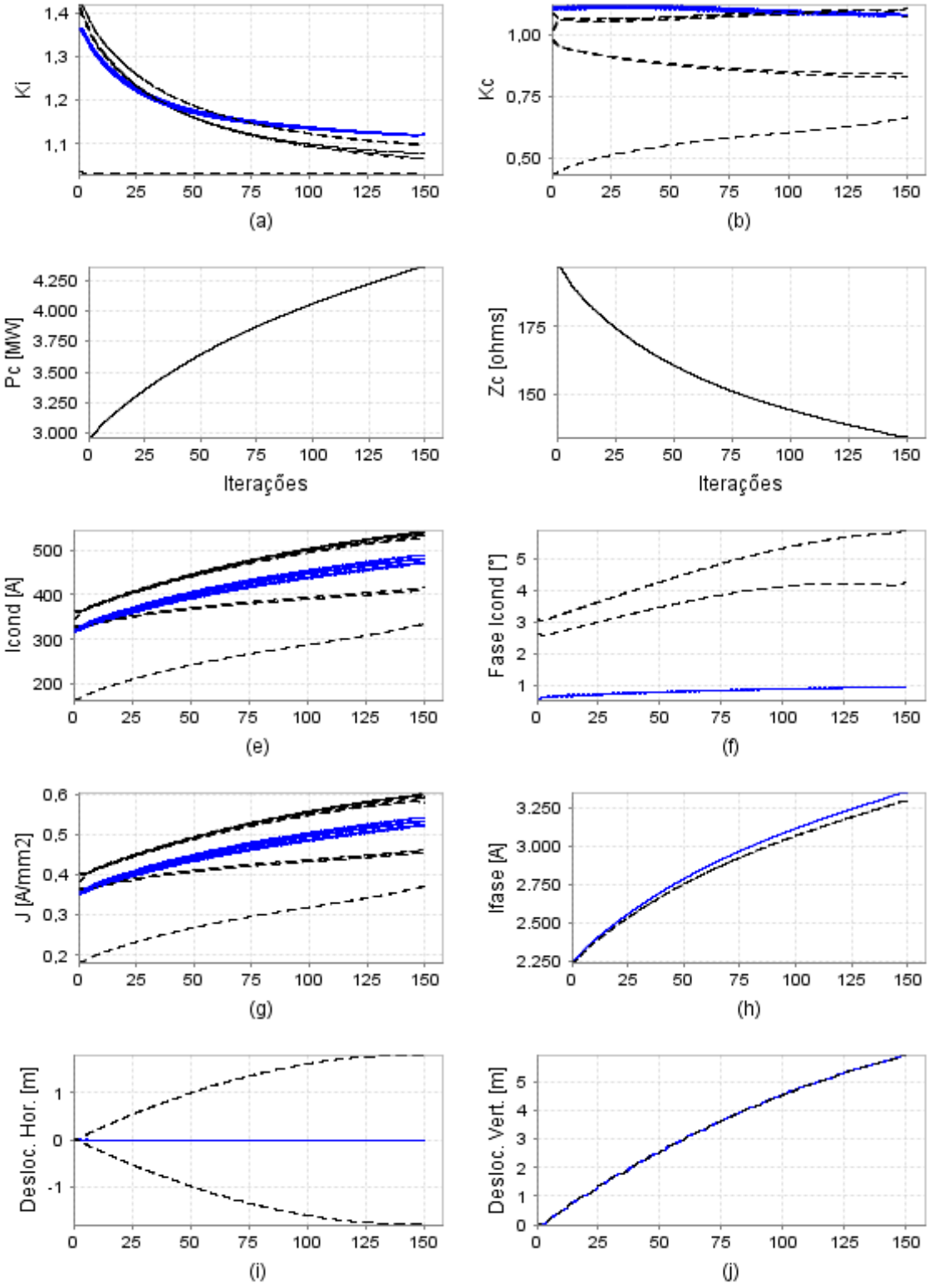

Figura 9.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

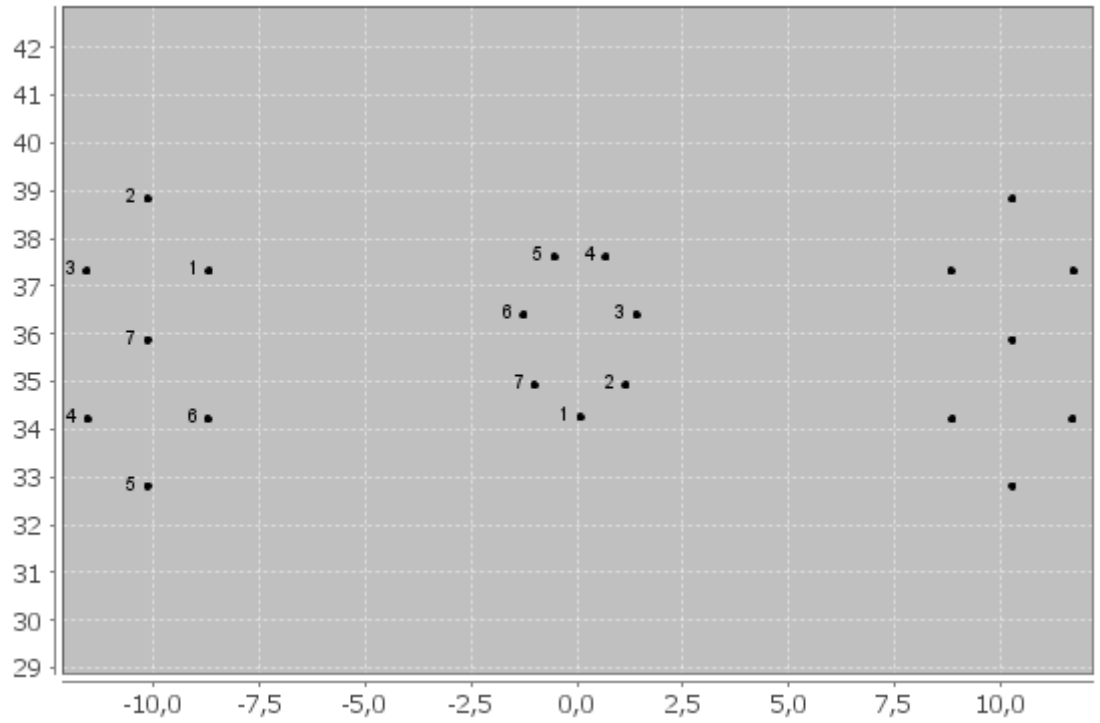

Figura 9.48: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Tabela 9.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,213	1,212	1,209	1,213	1,213	1,209	1,212				1,212	0,004
Ki	1,120	1,122	1,122	1,119	1,119	1,122	1,122				1,121	0,003
Kc	1,083	1,080	1,078	1,084	1,084	1,078	1,080				1,081	0,006
Icond [A]	478	472	469	472	481	488	488				478	19
Esup [kV/cm]	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9				17,9	0,1

Tabela 9.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,215	1,163	0,888	0,902	1,165	1,215	0,687				1,034	0,508
Ki	1,099	1,079	1,067	1,065	1,079	1,097	1,033				1,074	0,054
Kc	1,106	1,078	0,832	0,847	1,080	1,108	0,665				0,959	0,433
Icond [A]	538	535	415	416	524	535	333				471	202
Esup [kV/cm]	18,0	17,2	13,1	13,3	17,2	18,0	10,2				15,3	7,5

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	8

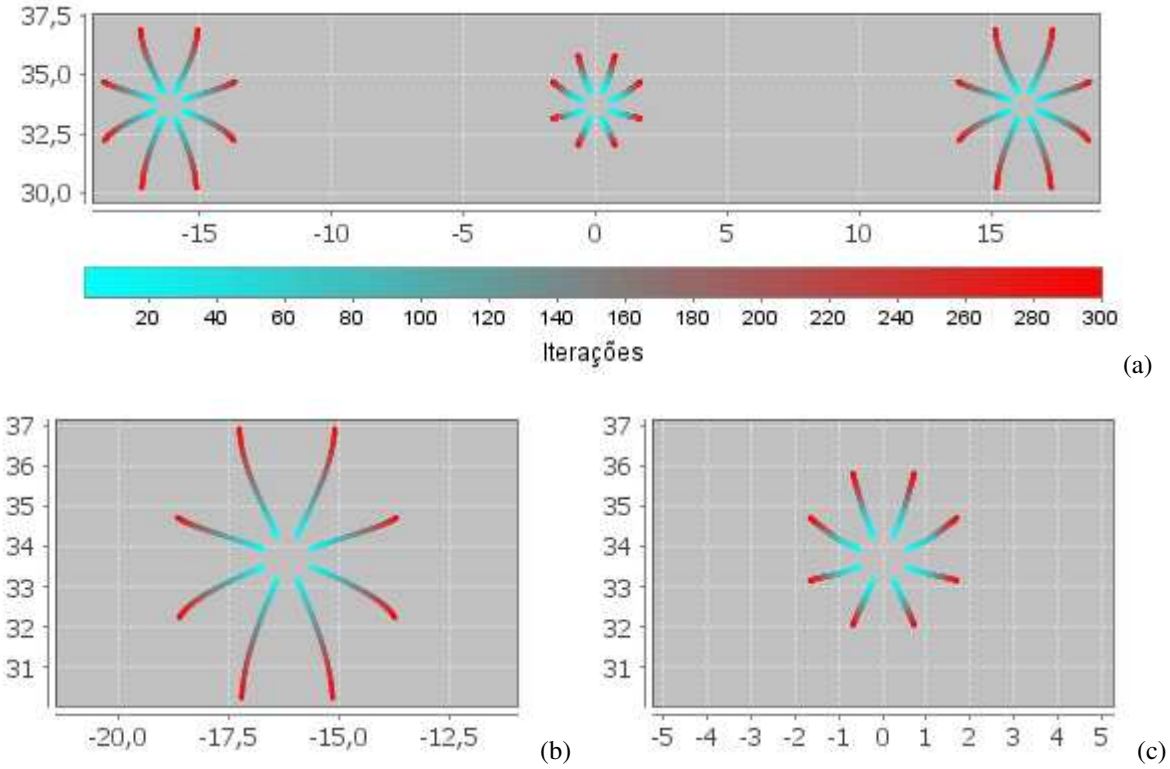

Figura 9.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

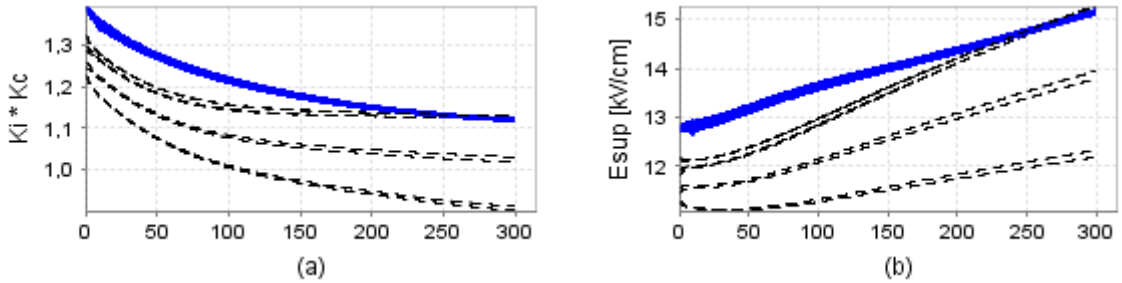

Figura 9.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

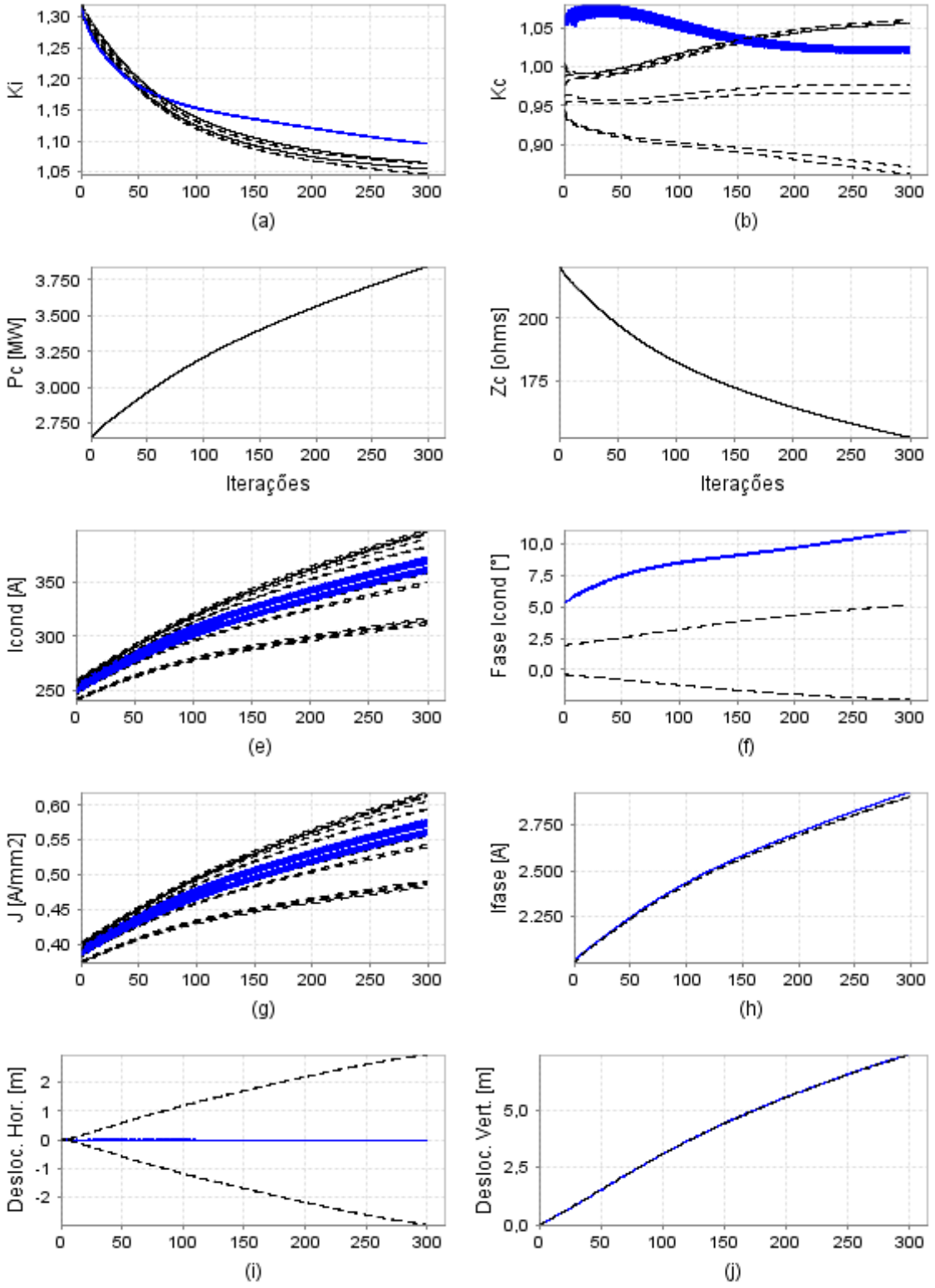

Figura 9.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

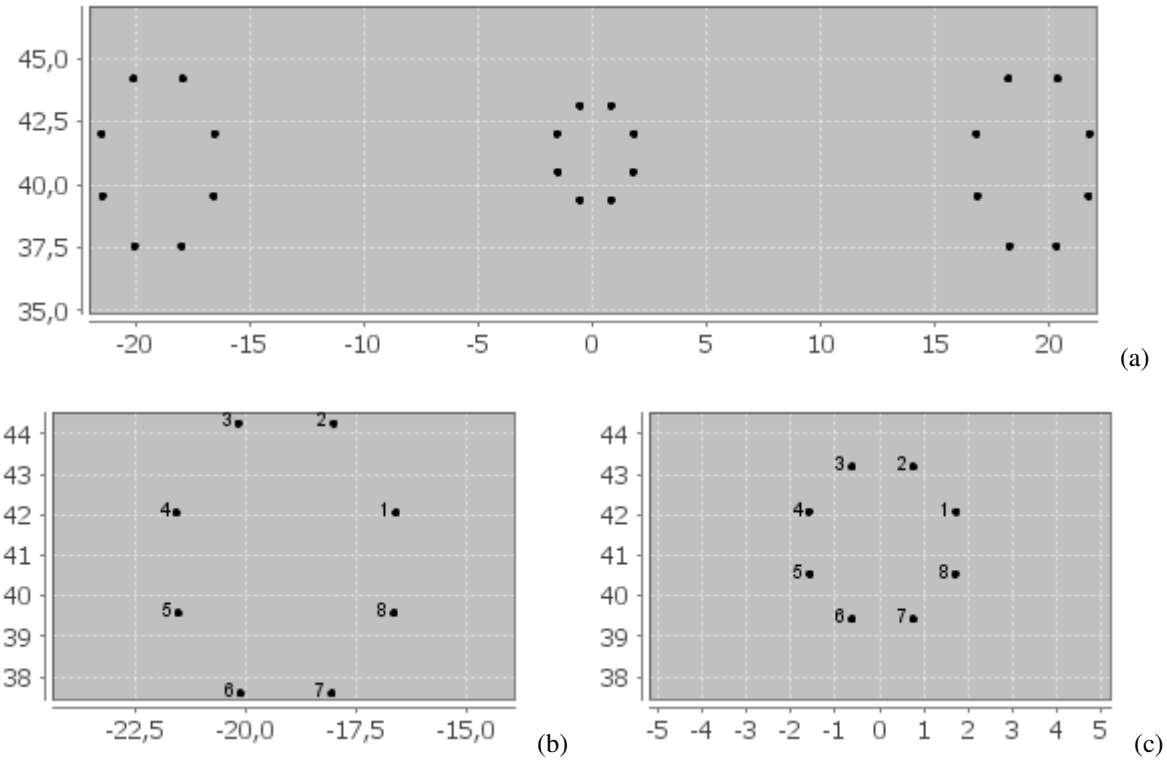

Figura 9.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,124	1,120	1,120	1,124	1,116	1,123	1,123	1,116			1,121	0,009
Ki	1,096	1,095	1,095	1,096	1,096	1,096	1,096	1,096			1,096	0,001
Kc	1,026	1,023	1,023	1,026	1,018	1,024	1,024	1,018			1,023	0,008
Icond [A]	361	362	367	372	371	369	364	359			365	13
Esup [kV/cm]	15,2	15,1	15,1	15,2	15,1	15,2	15,2	15,1			15,1	0,1

Tabela 9.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,129	1,123	1,019	0,901	0,911	1,031	1,123	1,129			1,046	0,256
Ki	1,064	1,063	1,055	1,046	1,046	1,055	1,063	1,065			1,057	0,020
Kc	1,060	1,056	0,966	0,861	0,871	0,977	1,056	1,061			0,989	0,224
Icond [A]	394	395	360	316	314	350	382	390			363	88
Esup [kV/cm]	15,3	15,2	13,8	12,2	12,3	13,9	15,2	15,3			14,1	3,5

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Convencional (15,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	8

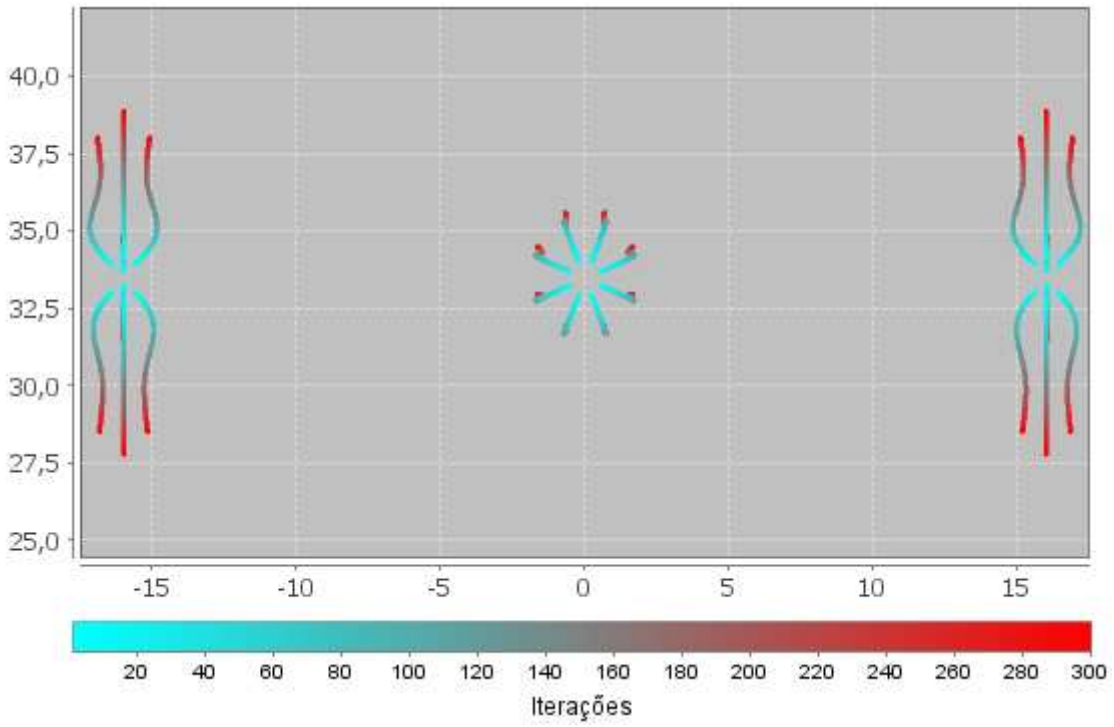

Figura 9.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

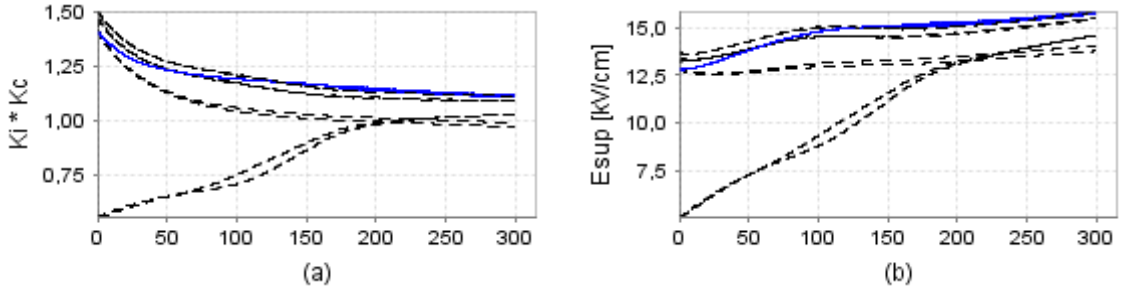

Figura 9.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

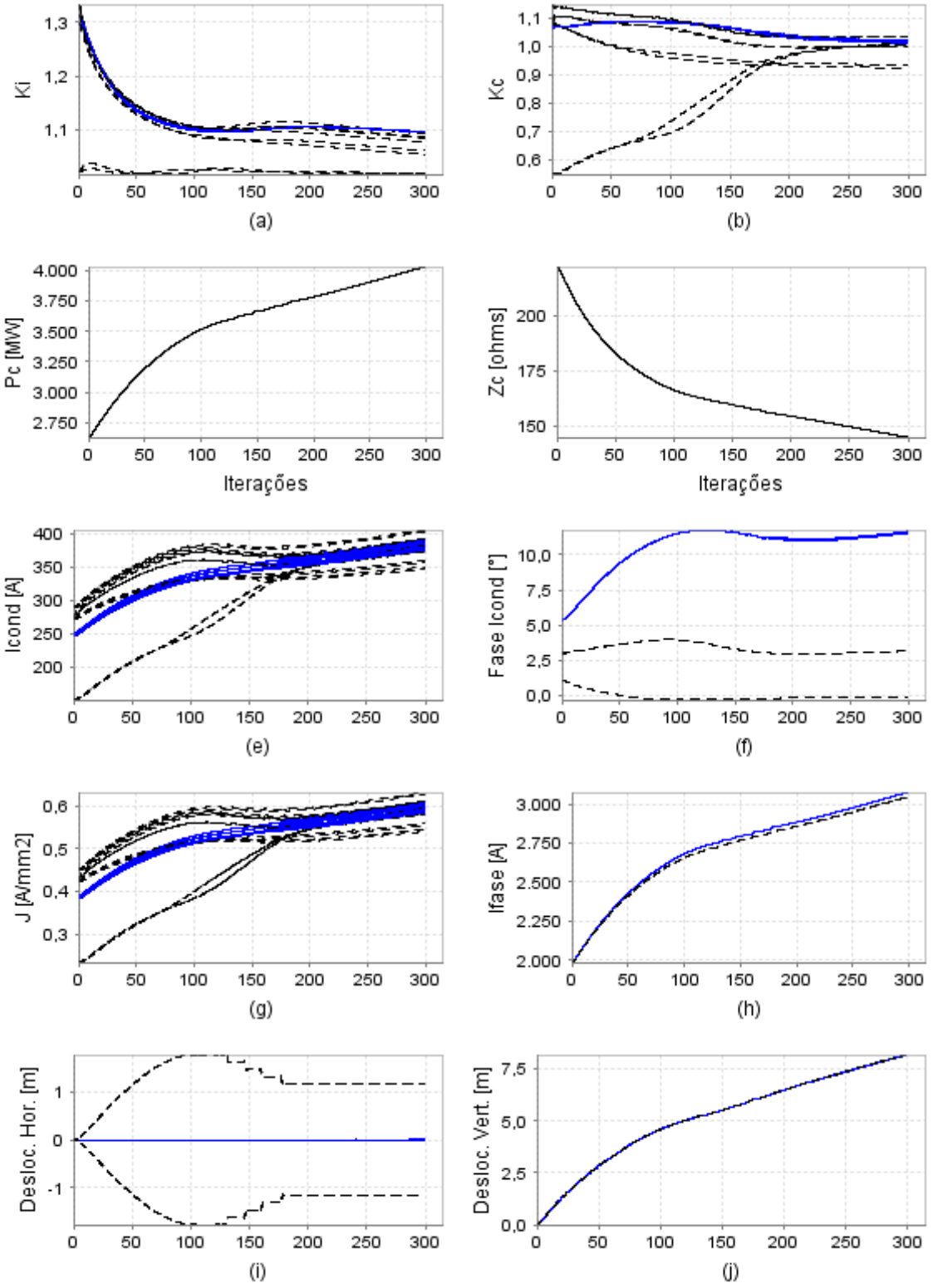

Figura 9.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

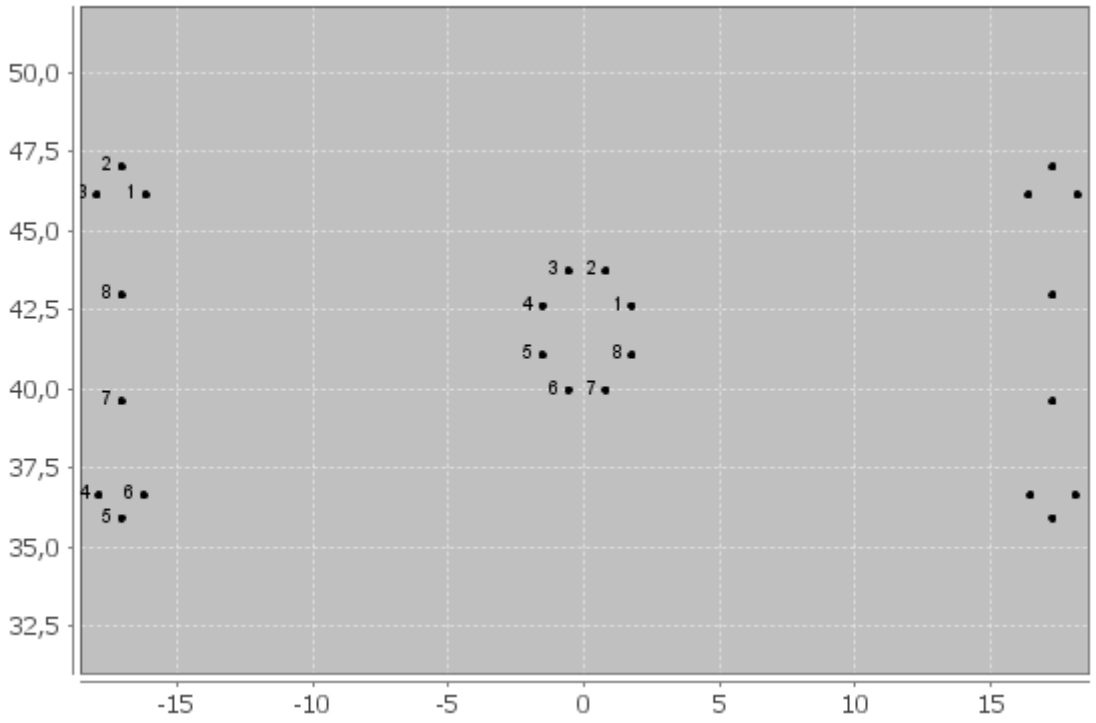

Figura 9.56: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Tabela 9.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,108	1,116	1,116	1,108	1,118	1,112	1,112	1,118			1,114	0,011
Ki	1,096	1,095	1,095	1,096	1,097	1,097	1,097	1,097			1,096	0,001
Kc	1,011	1,019	1,019	1,011	1,019	1,014	1,014	1,019			1,016	0,010
Icond [A]	376	381	386	389	393	387	382	380			384	15
Esup [kV/cm]	15,7	15,8	15,8	15,7	15,8	15,8	15,8	15,8			15,8	0,1

Tabela 9.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,114	1,088	0,971	0,991	1,091	1,118	1,028	1,029			1,054	0,150
Ki	1,078	1,086	1,054	1,062	1,093	1,085	1,020	1,018			1,062	0,078
Kc	1,034	1,001	0,921	0,933	0,998	1,031	1,008	1,011			0,992	0,112
Icond [A]	403	393	360	351	375	390	383	388			381	47
Esup [kV/cm]	15,8	15,4	13,8	14,0	15,5	15,8	14,6	14,6			14,9	2,1

Tensão de operação [kV]	765
Distância de isolação	Compacta (7,5 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	8

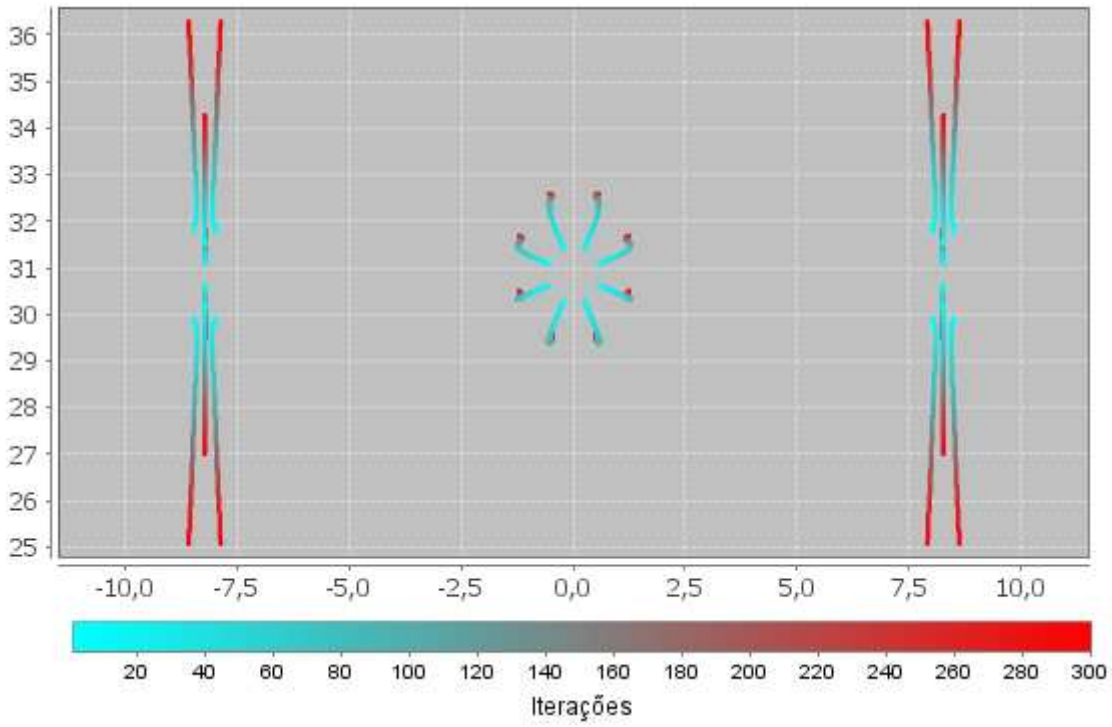

Figura 9.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 5-I (256), 8-I (256), 2-I (260), 3-I (260), 6-I (260), 7-I (260), 1-I (279), 4-I (279)

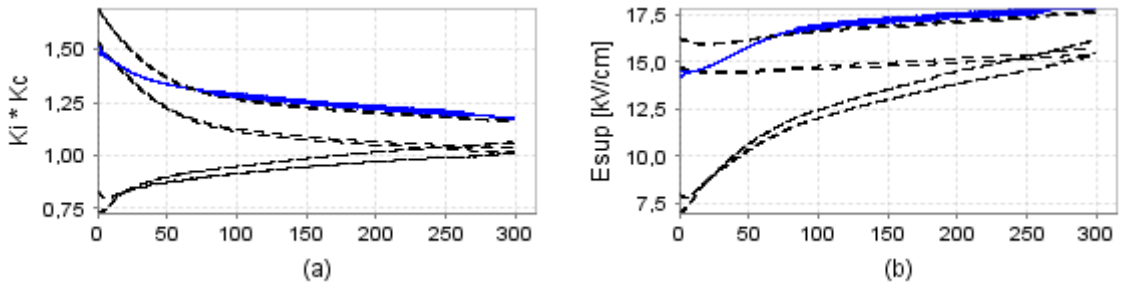

Figura 9.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

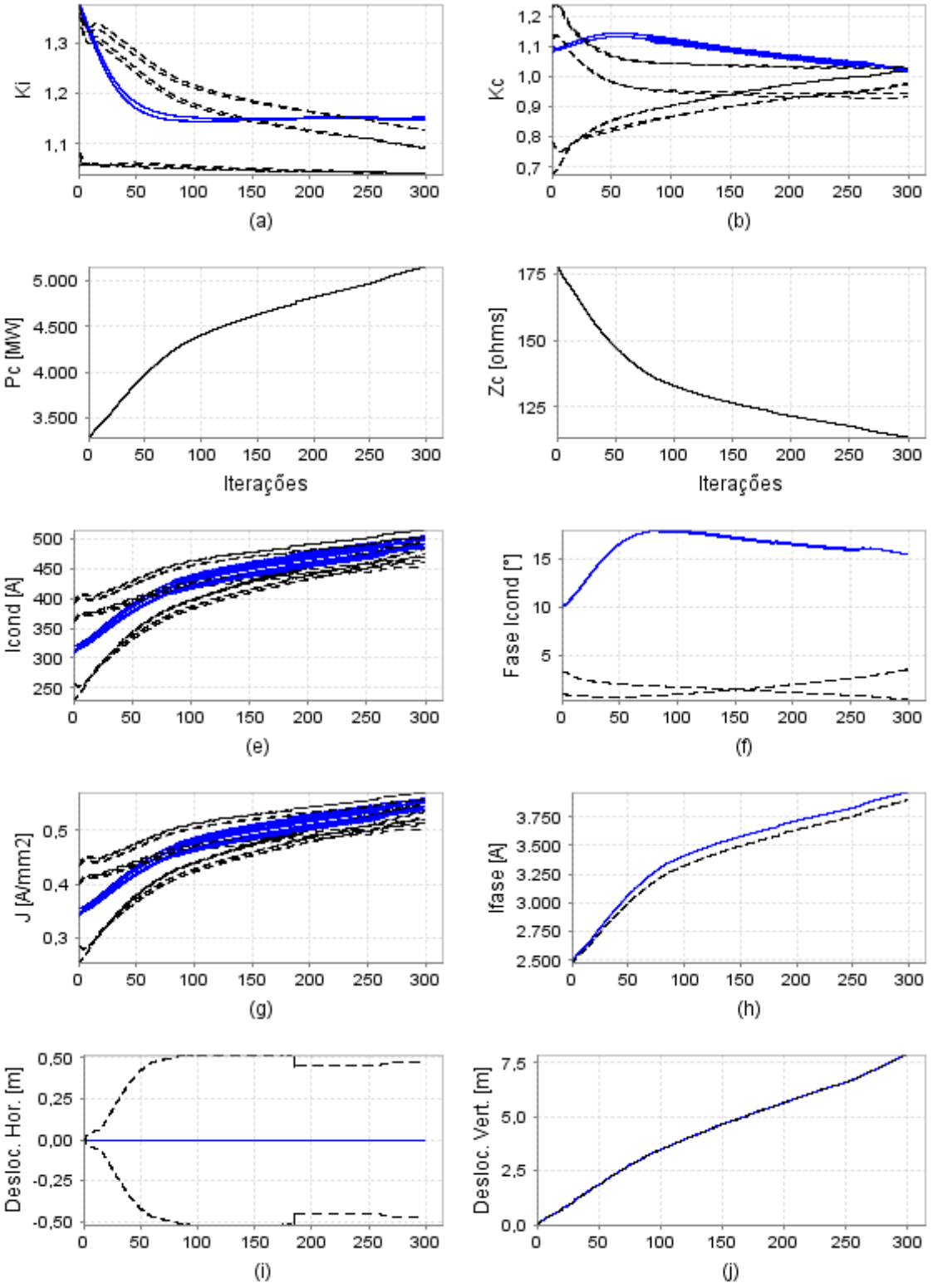

Figura 9.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

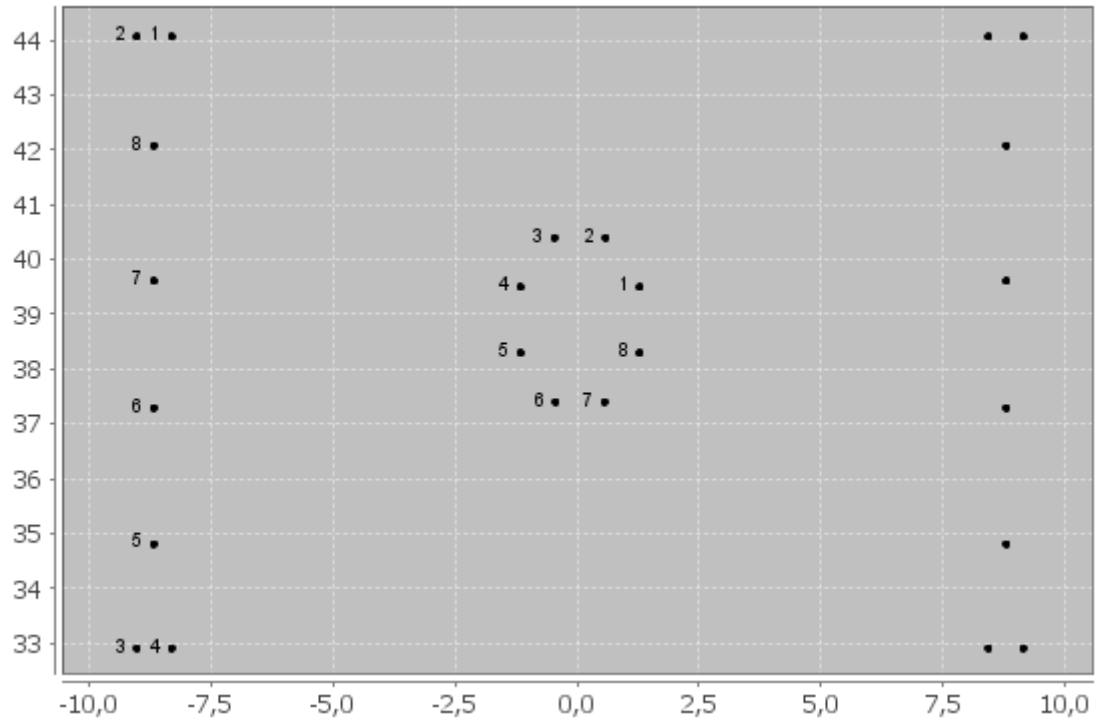

Figura 9.60: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Tabela 9.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,173	1,175	1,175	1,173	1,173	1,173	1,173	1,173			1,174	0,003
Ki	1,152	1,149	1,149	1,152	1,153	1,153	1,153	1,153			1,152	0,005
Kc	1,019	1,023	1,023	1,019	1,017	1,017	1,017	1,017			1,019	0,007
Icond [A]	486	490	498	504	505	500	492	487			495	20
Esup [kV/cm]	17,8	17,9	17,9	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8			17,8	0,0

Tabela 9.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,159	1,015	1,034	1,164	1,010	1,060	1,062	1,015			1,065	0,167
Ki	1,128	1,091	1,093	1,127	1,040	1,040	1,041	1,040			1,075	0,105
Kc	1,028	0,930	0,946	1,033	0,971	1,019	1,020	0,976			0,990	0,105
Icond [A]	515	469	461	503	472	494	497	482			487	50
Esup [kV/cm]	17,6	15,4	15,7	17,7	15,3	16,1	16,1	15,4			16,2	2,5

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	9

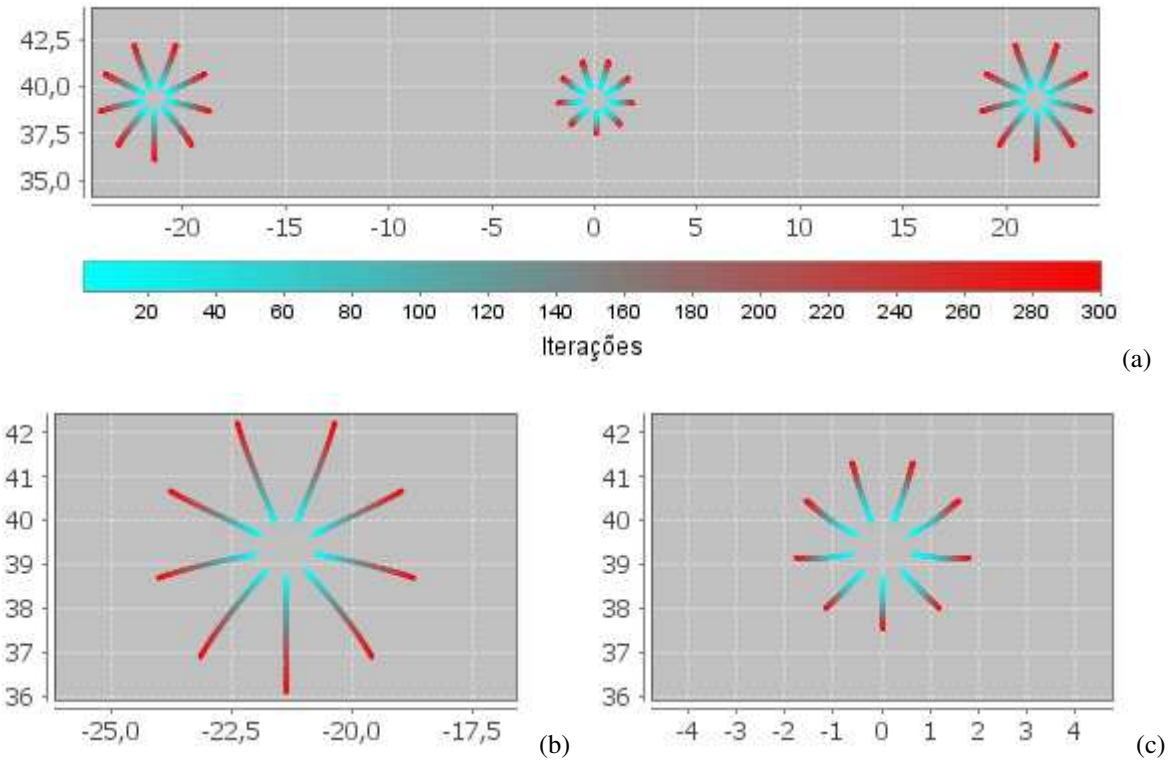

Figura 9.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

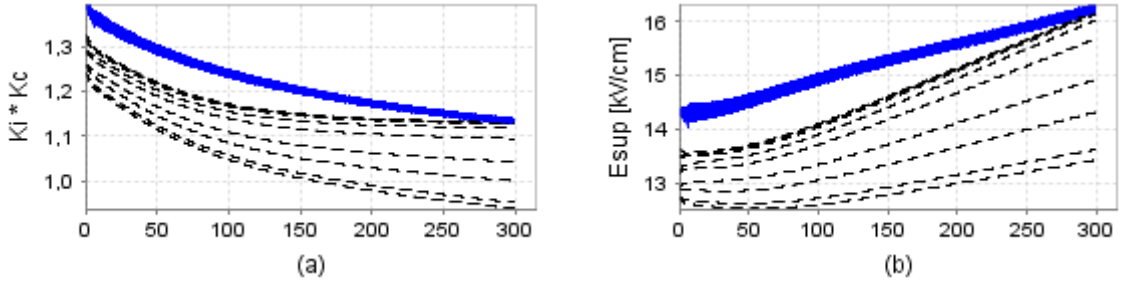

Figura 9.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

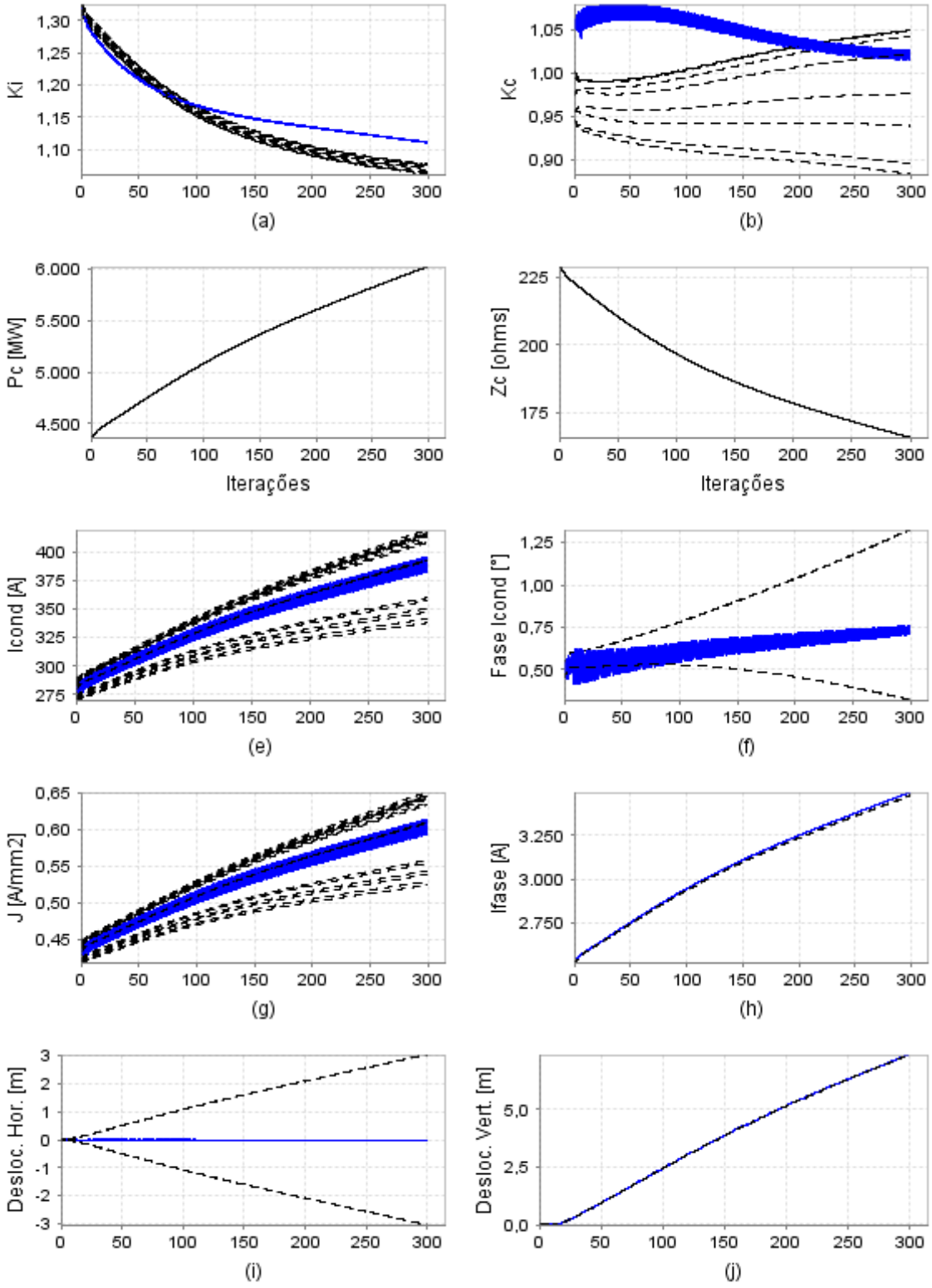

Figura 9.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

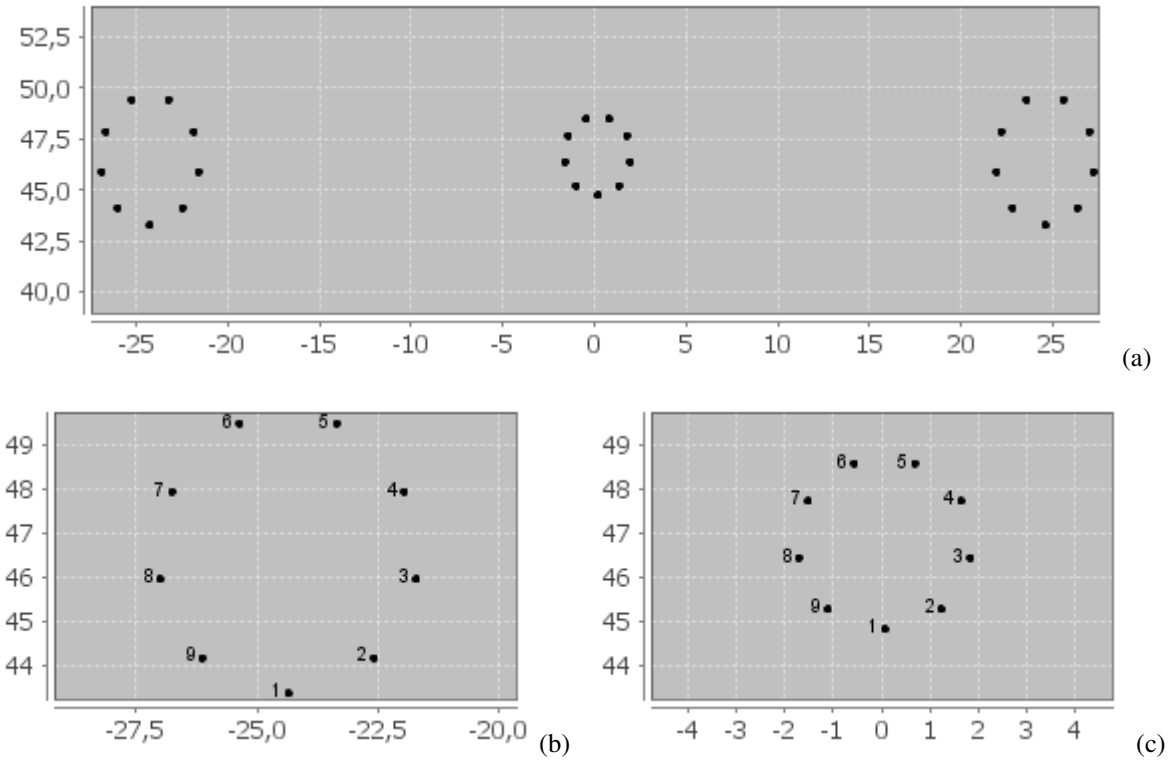

Figura 9.64: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,131	1,141	1,128	1,141	1,134	1,134	1,141	1,128	1,141		1,135	0,016
Ki	1,111	1,112	1,111	1,112	1,111	1,111	1,112	1,111	1,112		1,111	0,001
Kc	1,018	1,026	1,015	1,026	1,021	1,021	1,026	1,015	1,026		1,022	0,014
Icond [A]	387	387	382	386	385	389	395	392	394		389	12
Esup [kV/cm]	16,2	16,3	16,2	16,3	16,2	16,2	16,3	16,2	16,3		16,3	0,2

Tabela 9.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,095	1,128	1,130	1,129	1,119	1,043	0,951	0,938	1,000		1,059	0,223
Ki	1,071	1,076	1,078	1,077	1,074	1,069	1,063	1,062	1,065		1,071	0,017
Kc	1,022	1,048	1,049	1,049	1,042	0,976	0,895	0,883	0,939		0,989	0,194
Icond [A]	392	408	412	416	414	386	350	341	359		386	83
Esup [kV/cm]	15,7	16,1	16,2	16,2	16,0	14,9	13,6	13,4	14,3		15,2	3,2

Tensão de operação [kV]	1000
Distância de isolação	Convencional (20,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	9

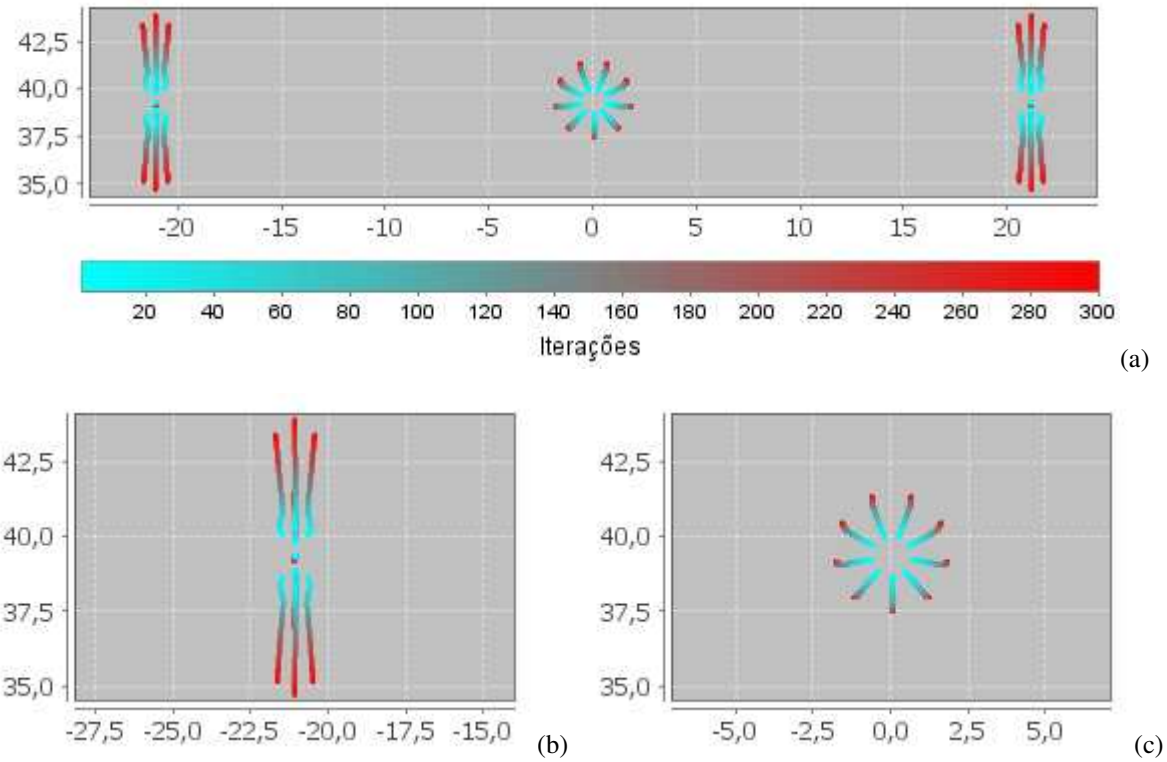

Figura 9.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

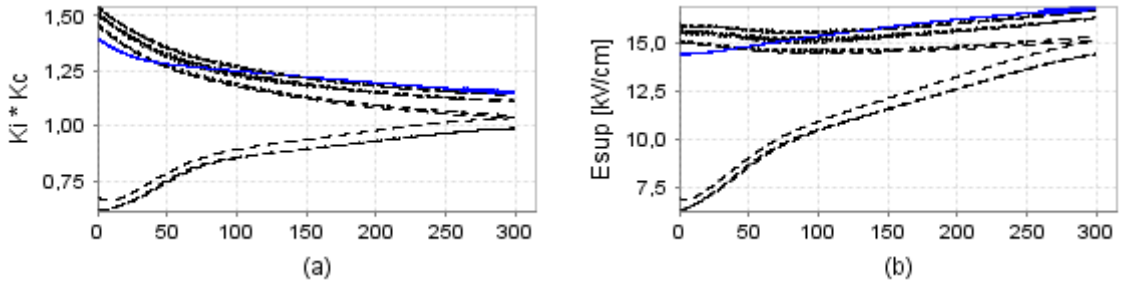

Figura 9.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

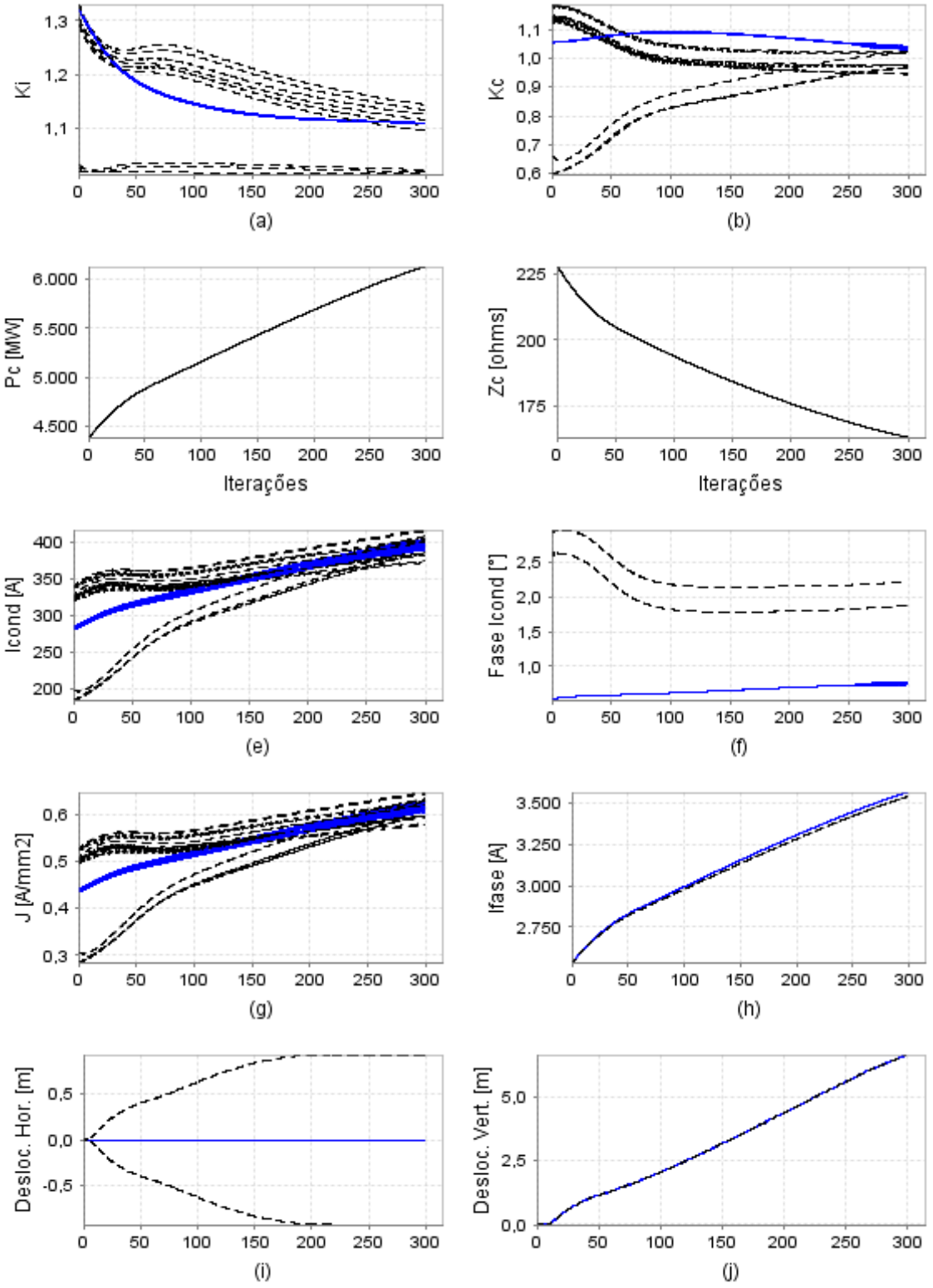

Figura 9.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

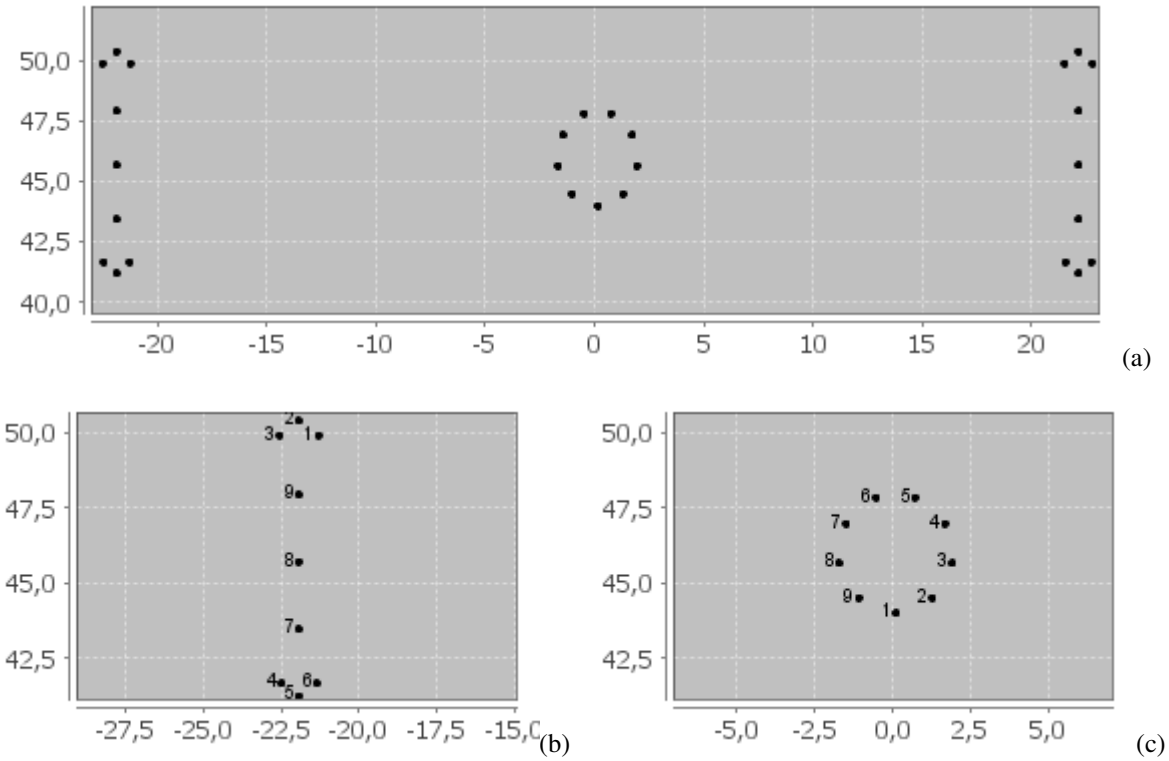

Figura 9.68: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela 9.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,154	1,148	1,155	1,147	1,153	1,153	1,147	1,155	1,148		1,151	0,010
Ki	1,110	1,110	1,111	1,110	1,109	1,109	1,110	1,111	1,110		1,110	0,001
Kc	1,040	1,034	1,040	1,033	1,040	1,040	1,033	1,040	1,034		1,037	0,009
Icond [A]	397	391	392	390	394	398	400	404	399		396	13
Esup [kV/cm]	16,8	16,7	16,8	16,7	16,8	16,8	16,7	16,8	16,7		16,8	0,2

Tabela 9.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,140	1,111	1,036	1,048	1,115	1,144	0,988	1,035	0,987		1,067	0,175
Ki	1,116	1,135	1,097	1,106	1,145	1,127	1,024	1,016	1,019		1,087	0,149
Kc	1,021	0,979	0,945	0,948	0,974	1,015	0,965	1,019	0,968		0,982	0,084
Icond [A]	414	399	384	374	385	402	384	406	390		393	37
Esup [kV/cm]	16,6	16,2	15,1	15,3	16,2	16,7	14,4	15,1	14,4		15,5	2,5

9.2.3- Análise consolidada dos resultados

Esta seção visa a comparação entre todas as configurações de feixes obtidas ao final do processo de otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial, colocando tais resultados em paralelo com as configurações obtidas na iteração em que ocorre a ativação da primeira restrição e com aquelas dadas na iteração em que o ganho de potência característica é 50 % do ganho final do processo.

As configurações são comparadas em termos da potência característica com relação ao produto $n_s \cdot (2r)$, ou seja, número de subcondutores vezes o diâmetro dos subcondutores. Tal produto é proporcional à área da superfície total dos subcondutores de cada feixe, portanto, o gráfico reflete o uso da superfície condutora total do feixe. Outra comparação feita é dada em termos da seção condutora total do feixe, parâmetro que reflete o uso de material condutor e está diretamente relacionado à densidade de corrente característica. Também são comparadas as soluções em termos do peso total do feixe, fator importante no projeto mecânico da linha.

São comparadas a altura e a largura dos feixes externos, que fornece uma idéia da dimensão dos feixes. A altura é dada pela maior diferença entre as posições verticais de dois subcondutores do feixe e a largura é dada pela maior diferença entre as posições horizontais, assim, ambas formam o menor retângulo paralelo ao nível do solo que enquadra todos os subcondutores do feixe. A área de tal retângulo também é uma variável de comparação entre os casos analisados.

9.2.3.1- Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Comparando-se a Figura 9.69 com a Figura 9.70 percebe-se que com a otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial os patamares de potência característica ocorrem exclusivamente pela interrupção do processo de otimização, ou seja, os casos que formam tais patamares na primeira não são mostrados na segunda, pois nestes casos não há ativação de restrição alguma.

A comparação da Figura 9.69 com a Figura 9.71 evidencia os patamares de potência característica observados em ambos os gráficos. No segundo, conforme era esperado, os níveis de

potência característica são menores e a taxa de crescimento da potência característica com o aumento da superfície total condutora também é reduzida.

Os comportamentos das relações entre Pc e seção condutora total dos feixes e entre Pc e peso total dos feixes por unidade de comprimento são semelhantes aos observados nos casos de otimização da reatância externa.

A análise do tamanho dos feixes externos pode ser feita através da Figura 9.78 e da Figura 9.81, para as configurações finais, enquanto na Figura 9.79 e na Figura 9.82 pode-se visualizar o tamanho dos feixes externos das configurações obtidas na ativação da primeira restrição. Todos os quatro gráficos mostram feixes bastante expandidos, com até 9 m de largura e até 11 m de altura, valores muito além dos praticados atualmente. Enquanto nos dois primeiros gráficos se observam muitas configurações de grandes larguras e alturas, os dois últimos gráficos mostram que até a ativação da primeira restrição a maioria das configurações têm, em geral, dimensões mais moderadas, apresentando maior número de casos com até 4 m de altura ou largura, sendo os feixes de maior altura aqueles que compõem as linhas de transmissão de menor nível de tensão, pois permitem maior expansão dos feixes antes que as restrições sejam atingidas.

Na Figura 9.83 e na Figura 9.86 são observados os tamanhos dos feixes externos que compõem as configurações obtidas a 50 % do ganho final em potência característica. Tais dimensões estão muito abaixo daquelas observadas na configuração final, com larguras de até 3,5 m e alturas de até 4,5 m, sendo que a maior parte dos casos se concentram em dimensões de até 3 m de largura ou altura.

Uma análise mais detalhada das dimensões pode ser feita observando-se os casos detalhados para o nível de tensão de operação de 765 kV, onde os pontos são discriminados de acordo com o número de subcondutores empregado.

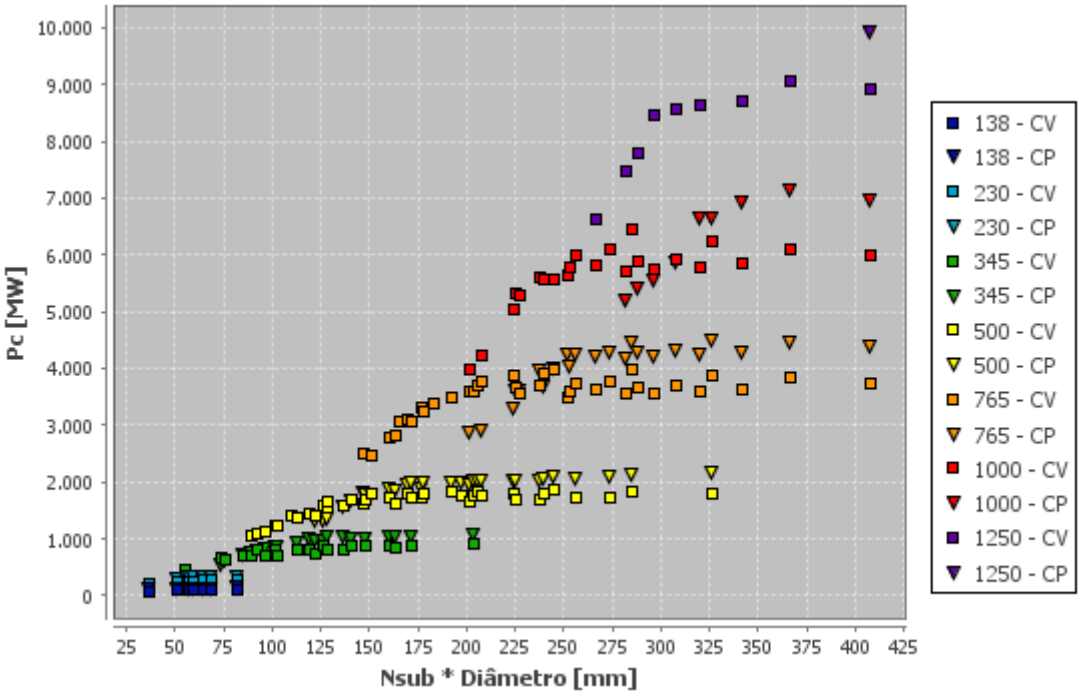

Figura 9.69: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

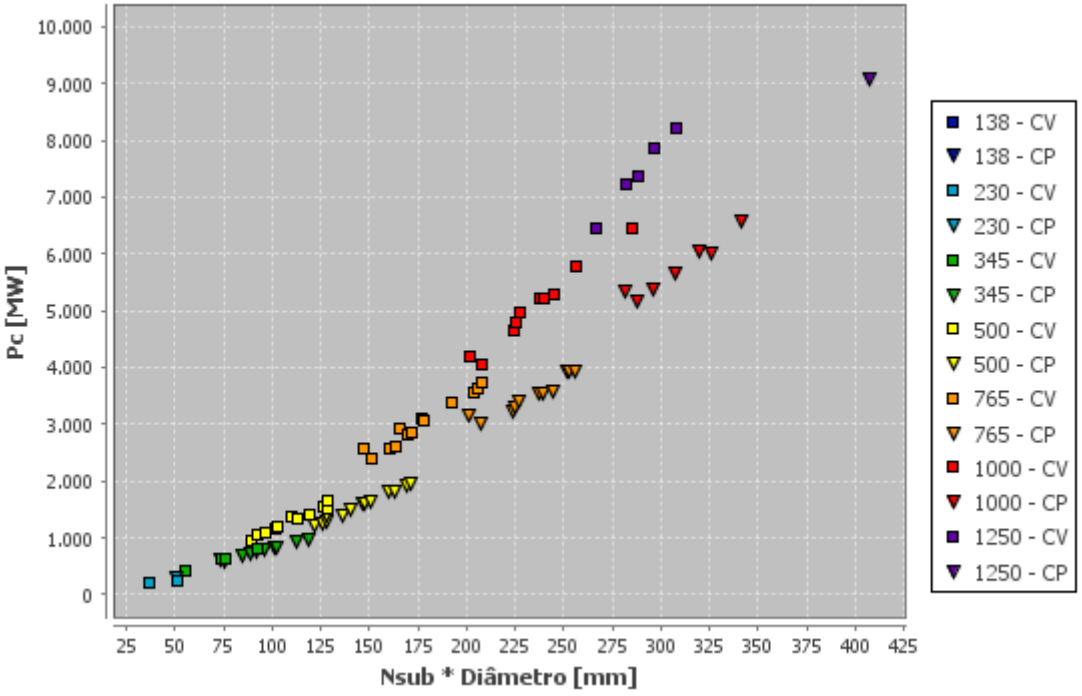

Figura 9.70: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

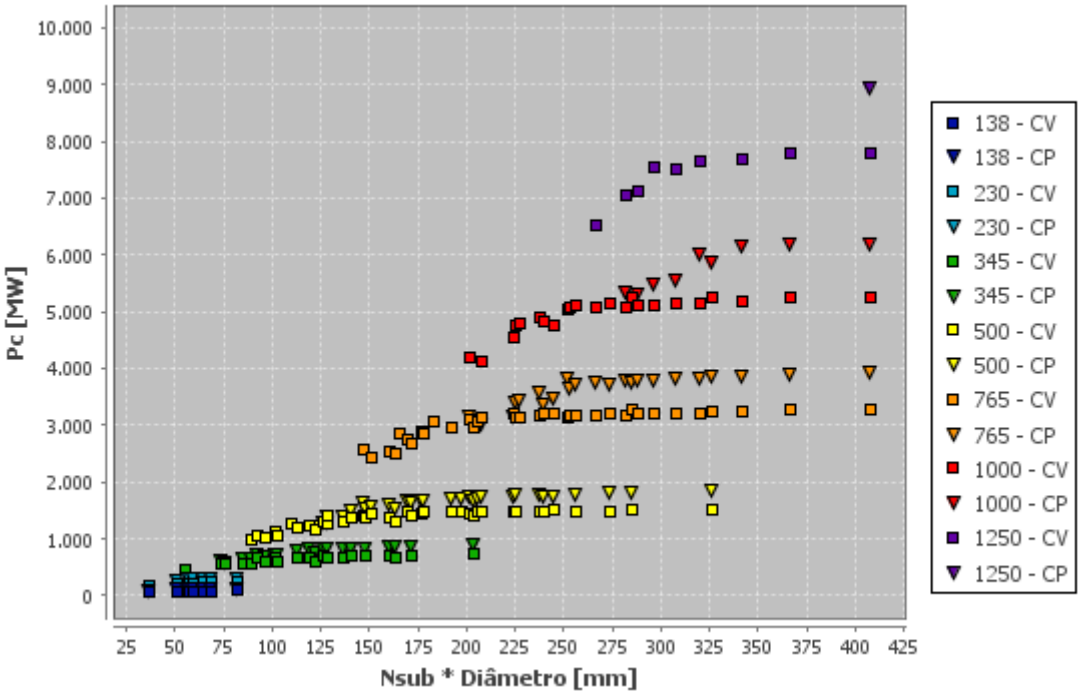

Figura 9.71: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

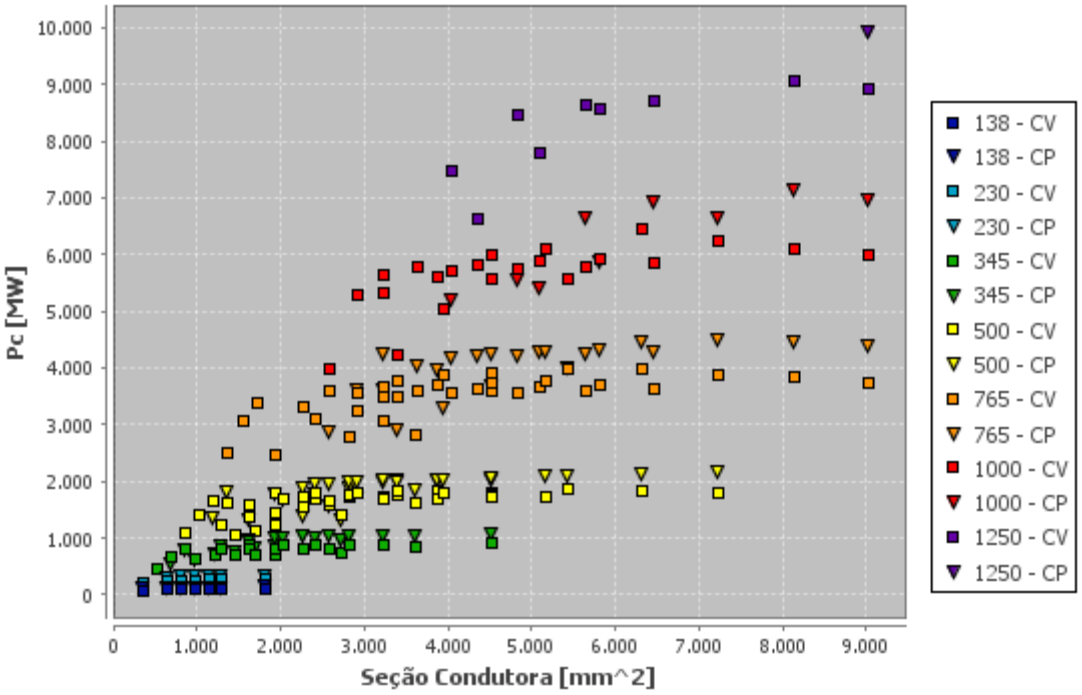

Figura 9.72: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

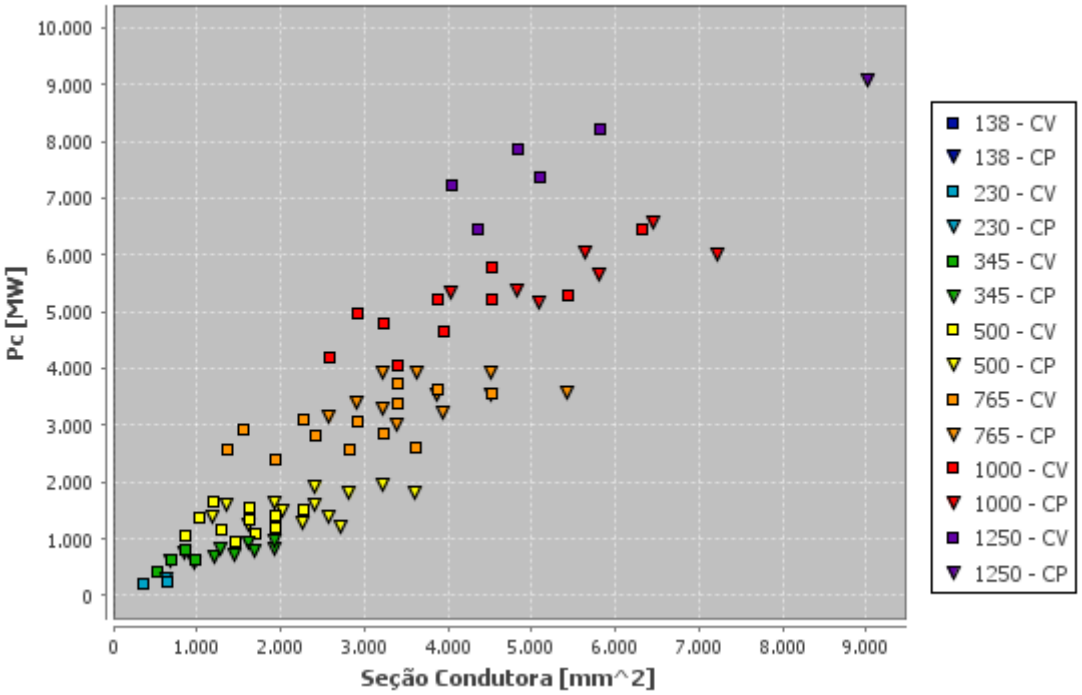

Figura 9.73: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

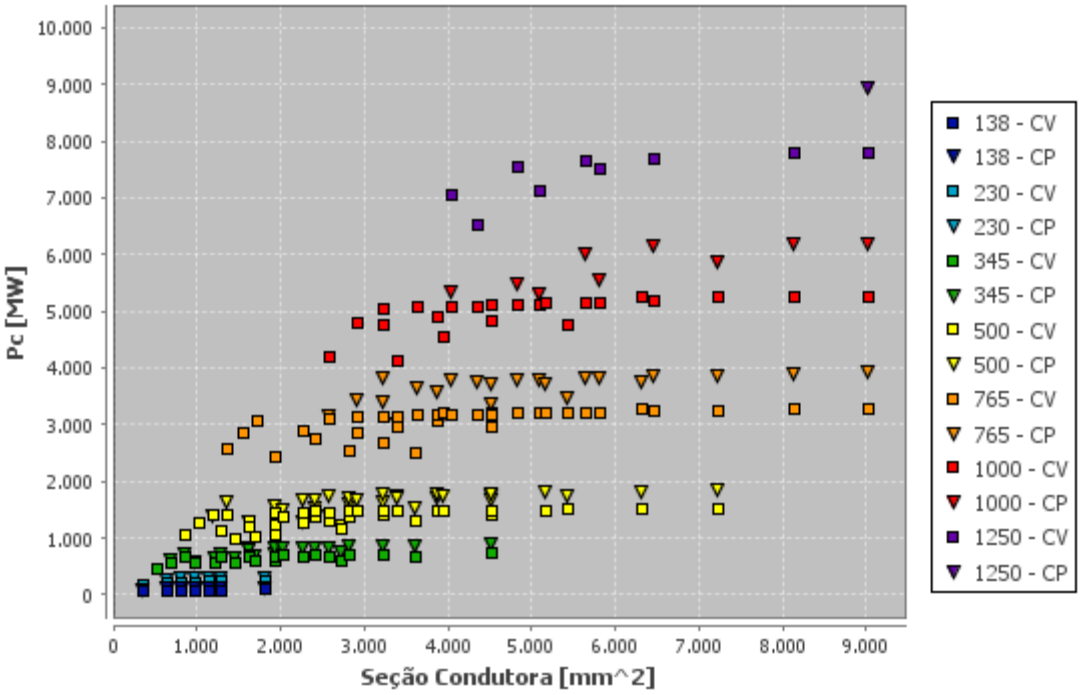

Figura 9.74: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

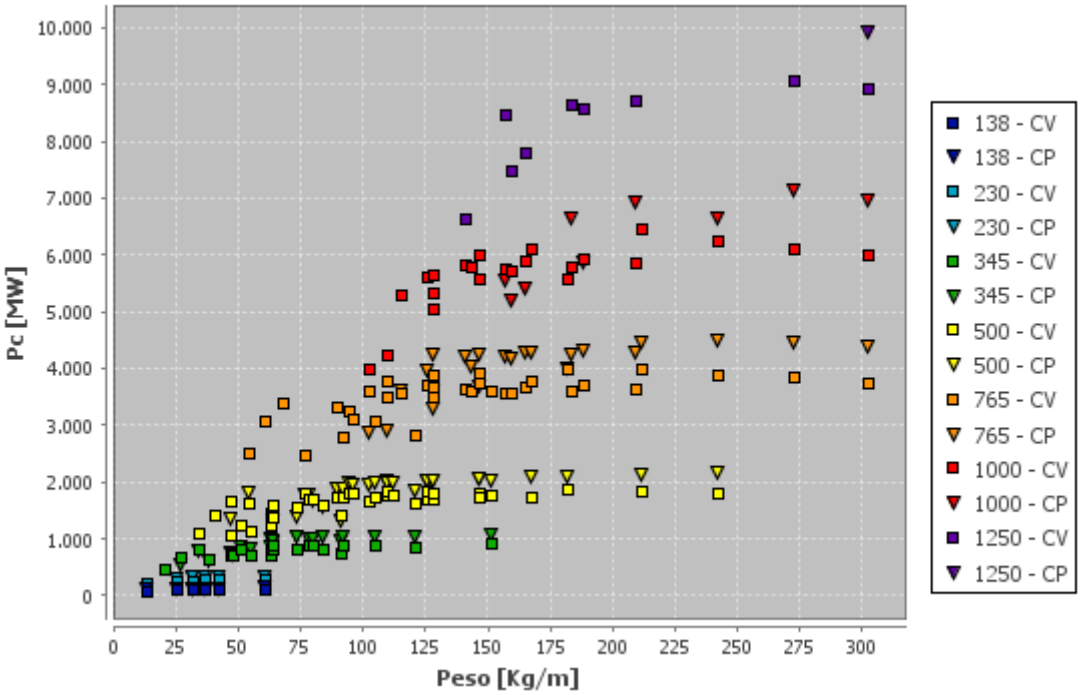

Figura 9.75: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

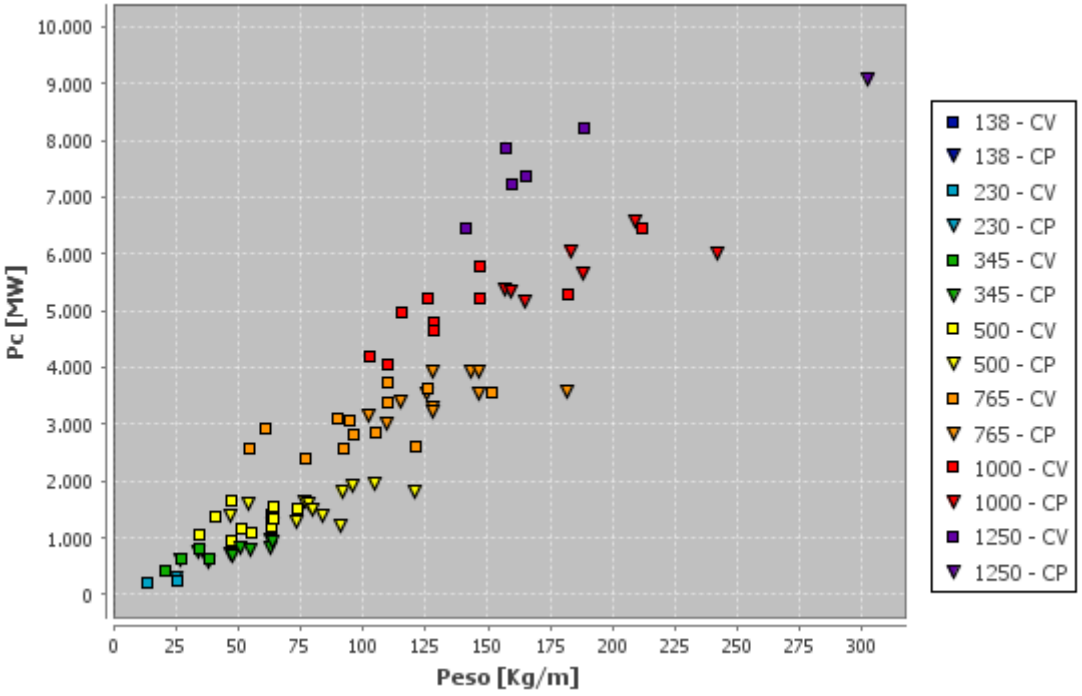

Figura 9.76: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

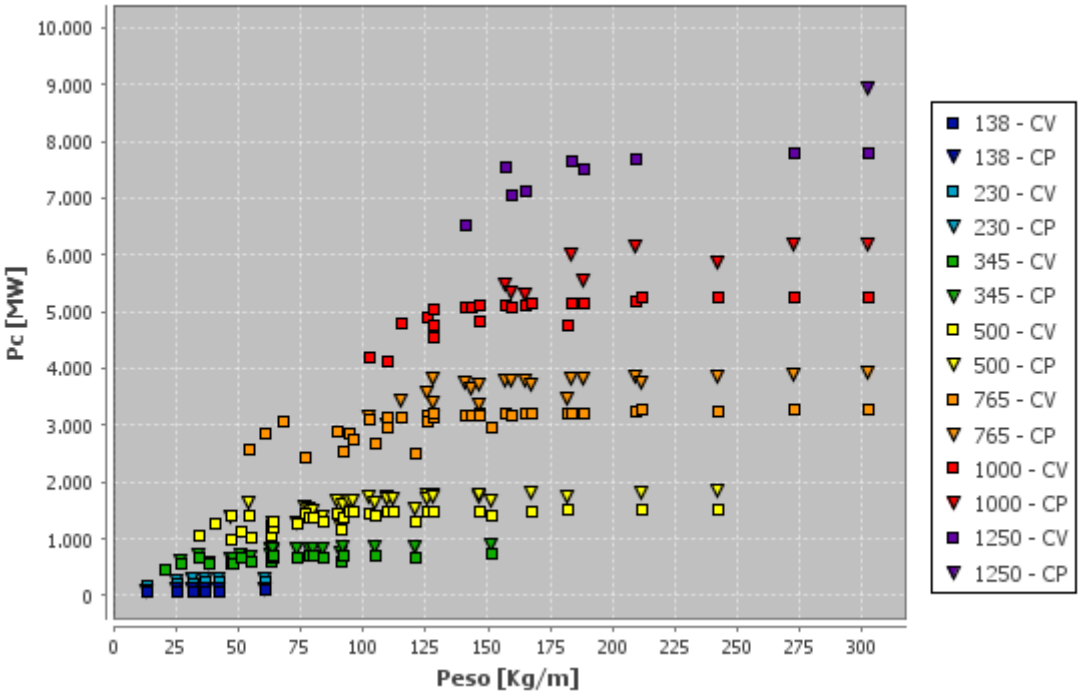

Figura 9.77: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

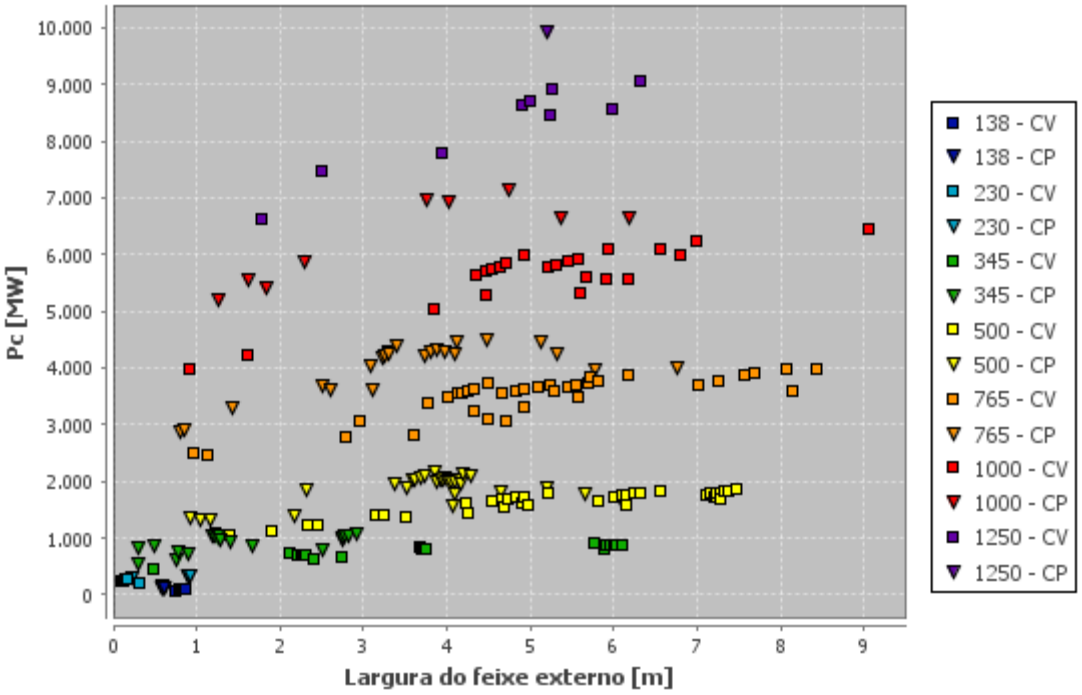

Figura 9.78: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

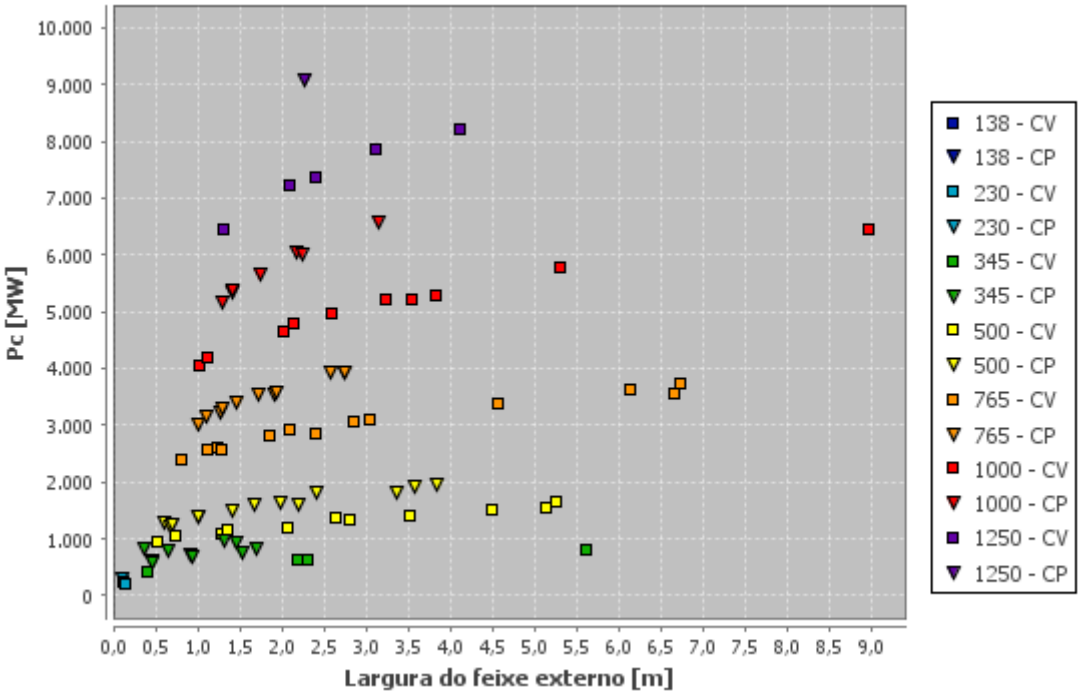

Figura 9.79: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

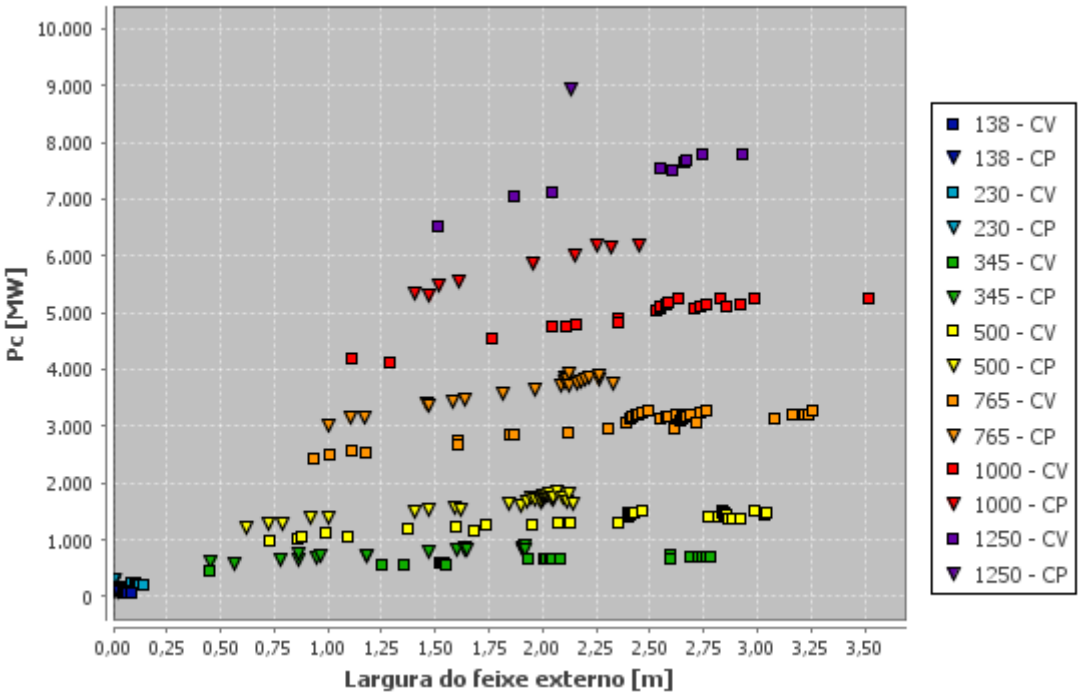

Figura 9.80: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

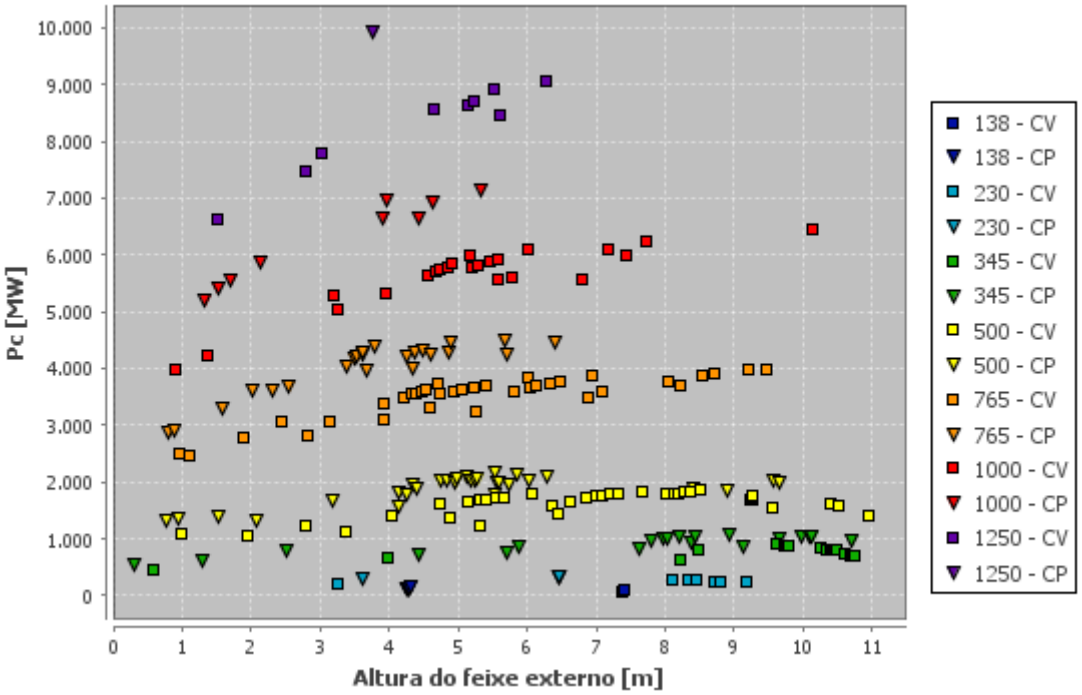

Figura 9.81: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

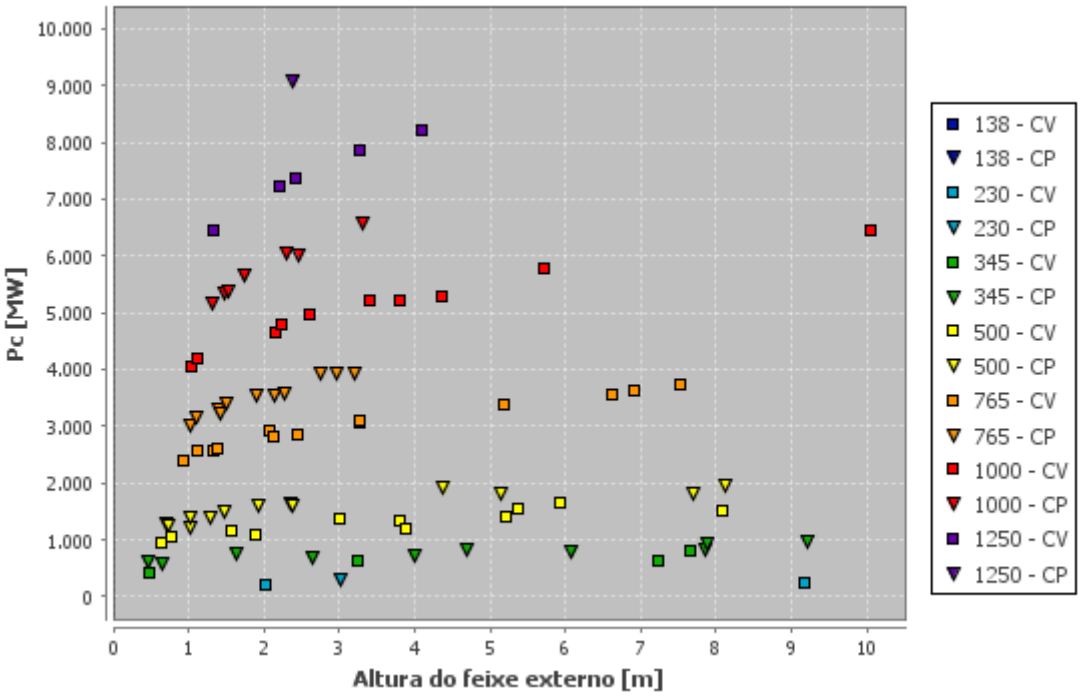

Figura 9.82: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

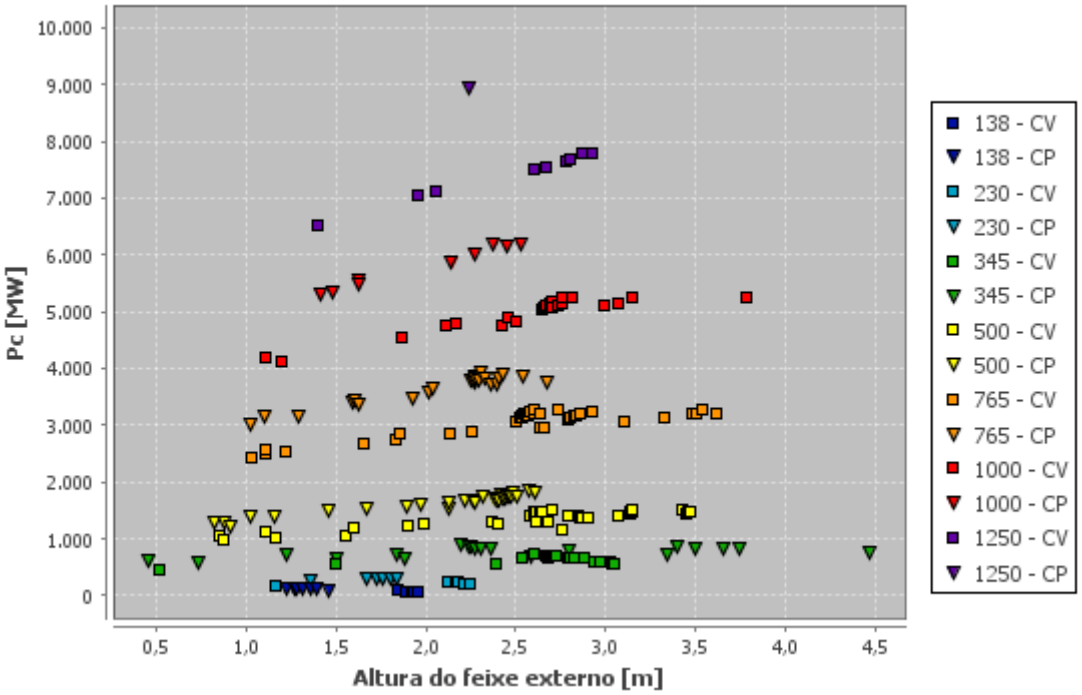

Figura 9.83: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

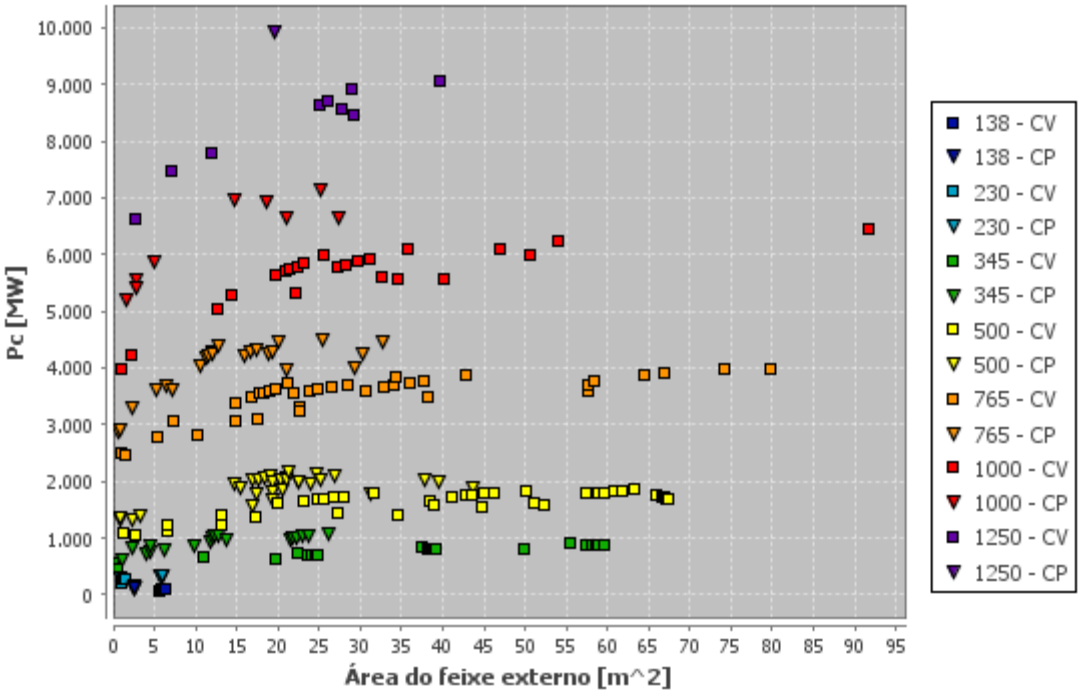

Figura 9.84: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

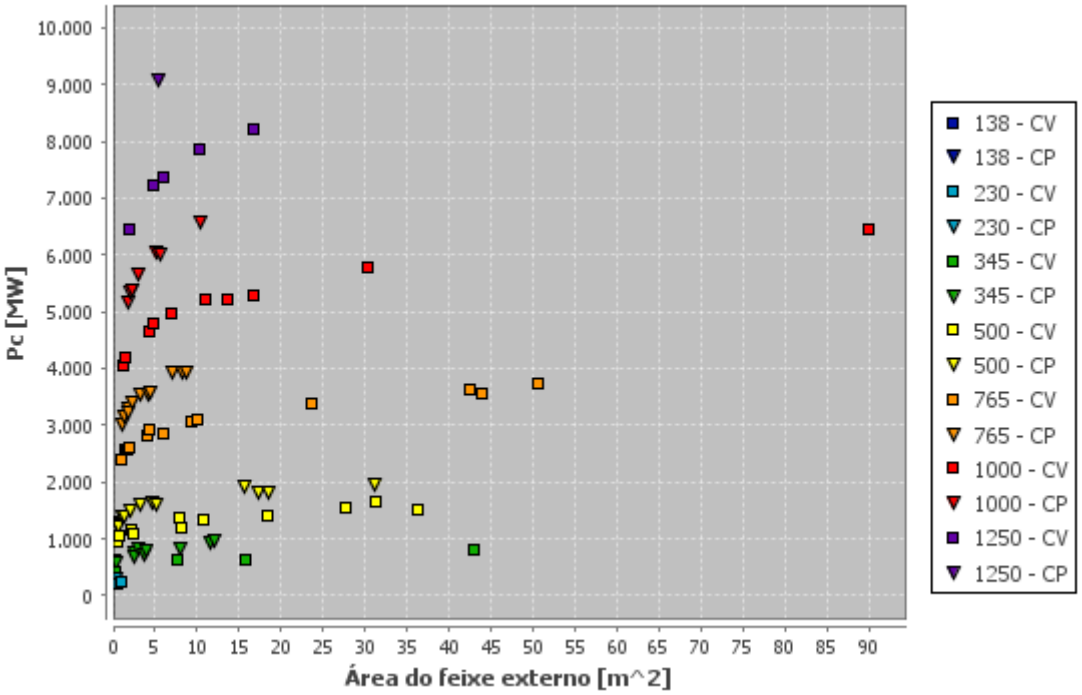

Figura 9.85: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

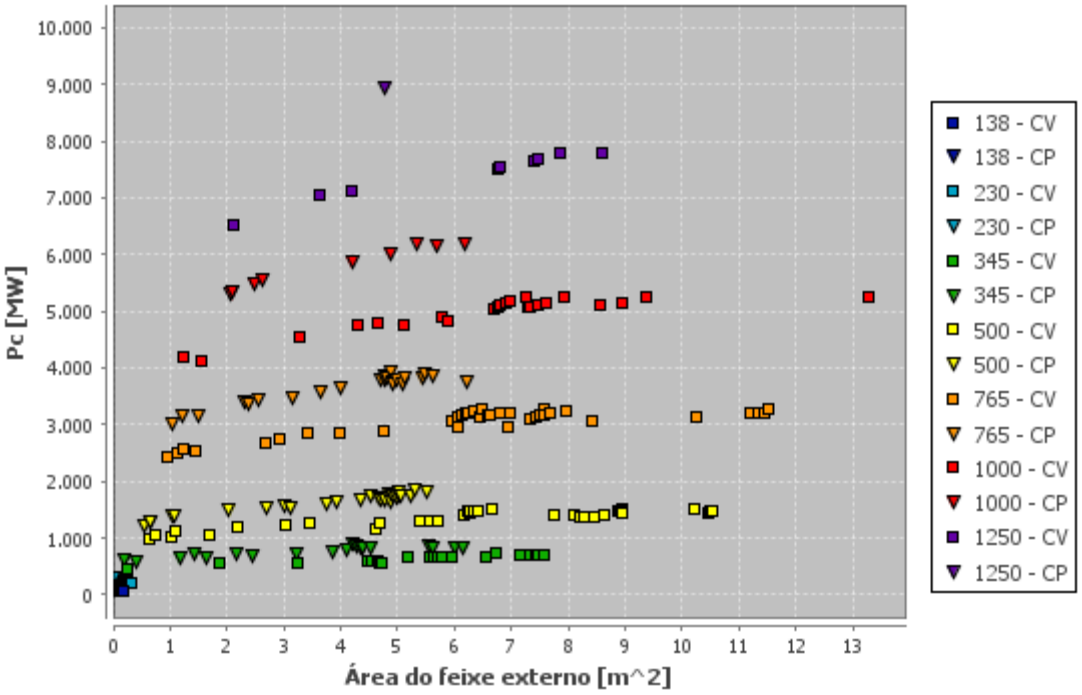

Figura 9.86: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

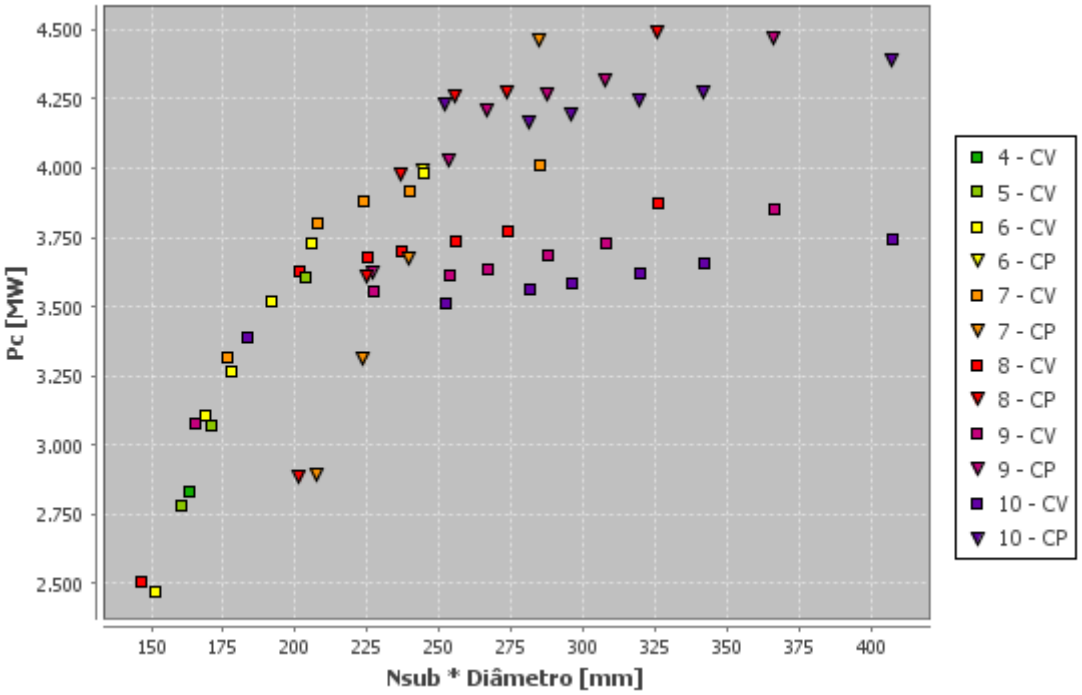

Figura 9.87: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

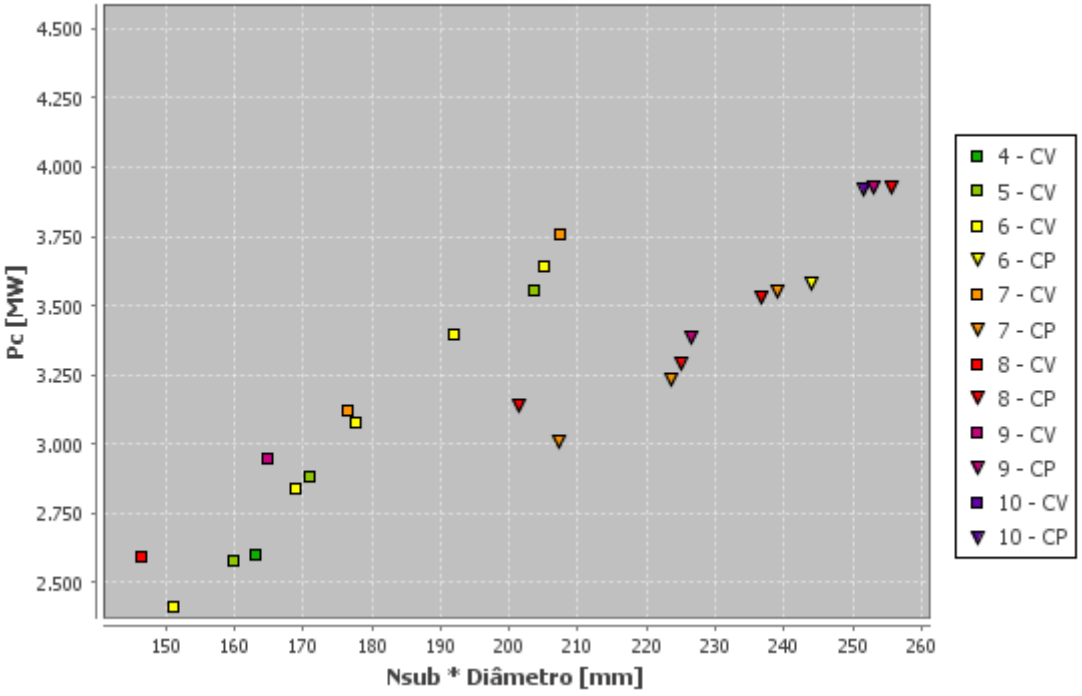

Figura 9.88: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

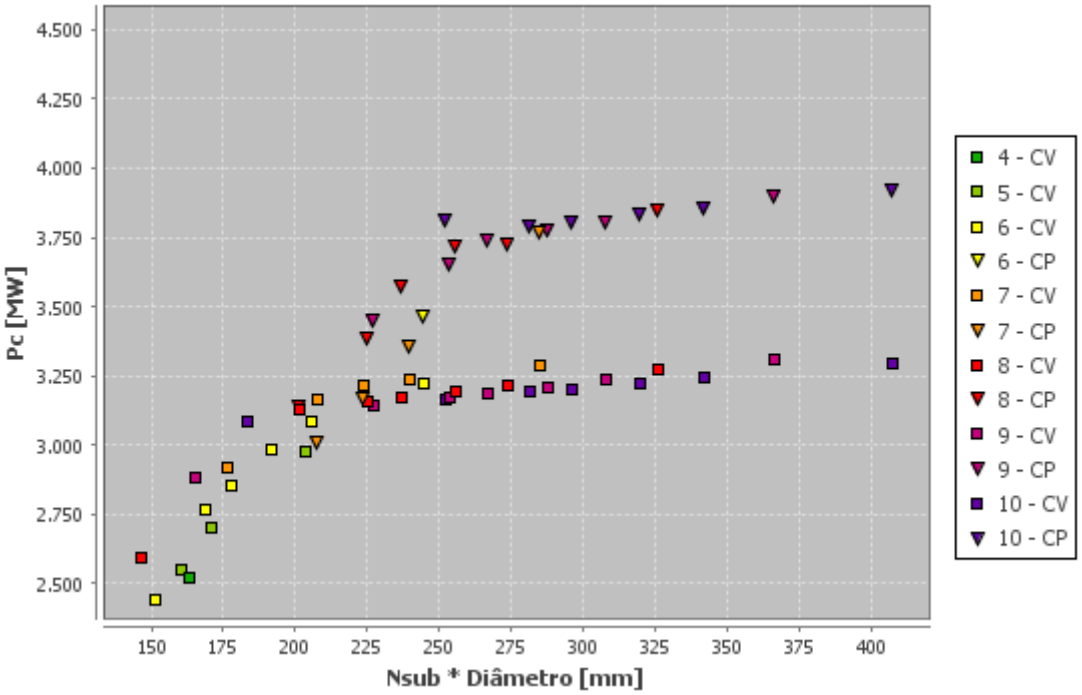

Figura 9.89: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

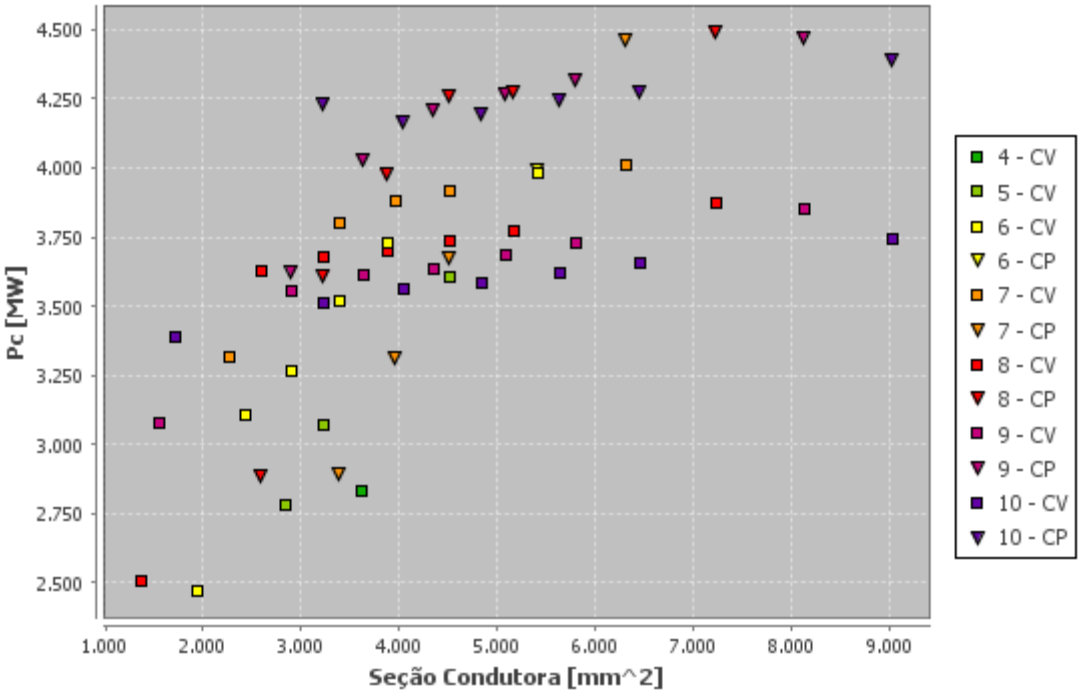

Figura 9.90: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

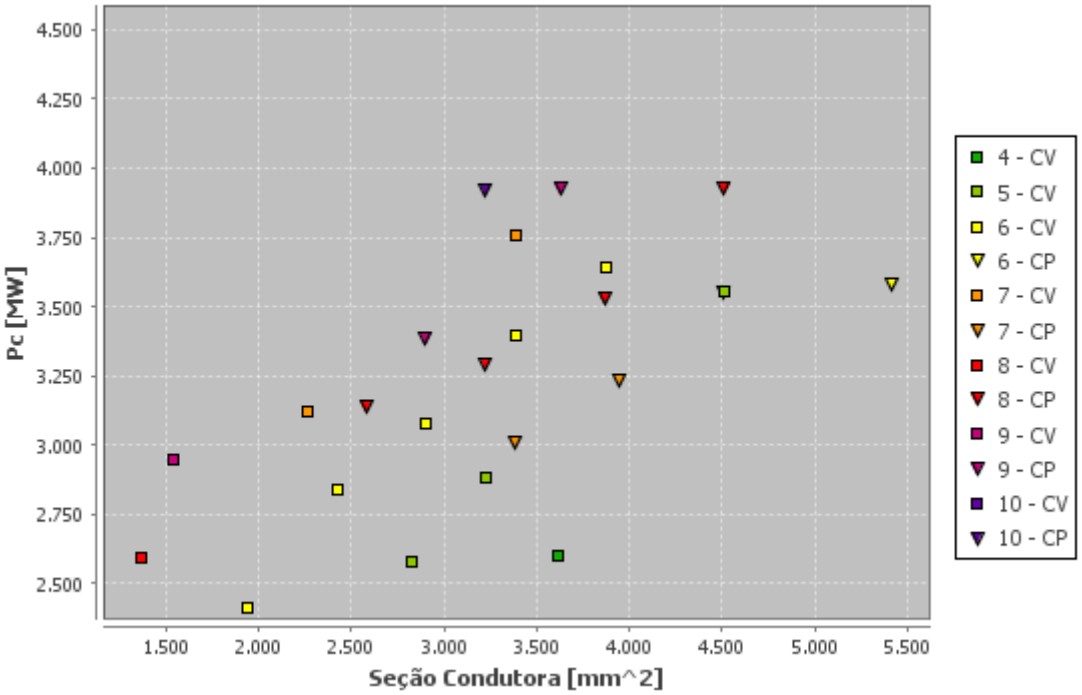

Figura 9.91: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

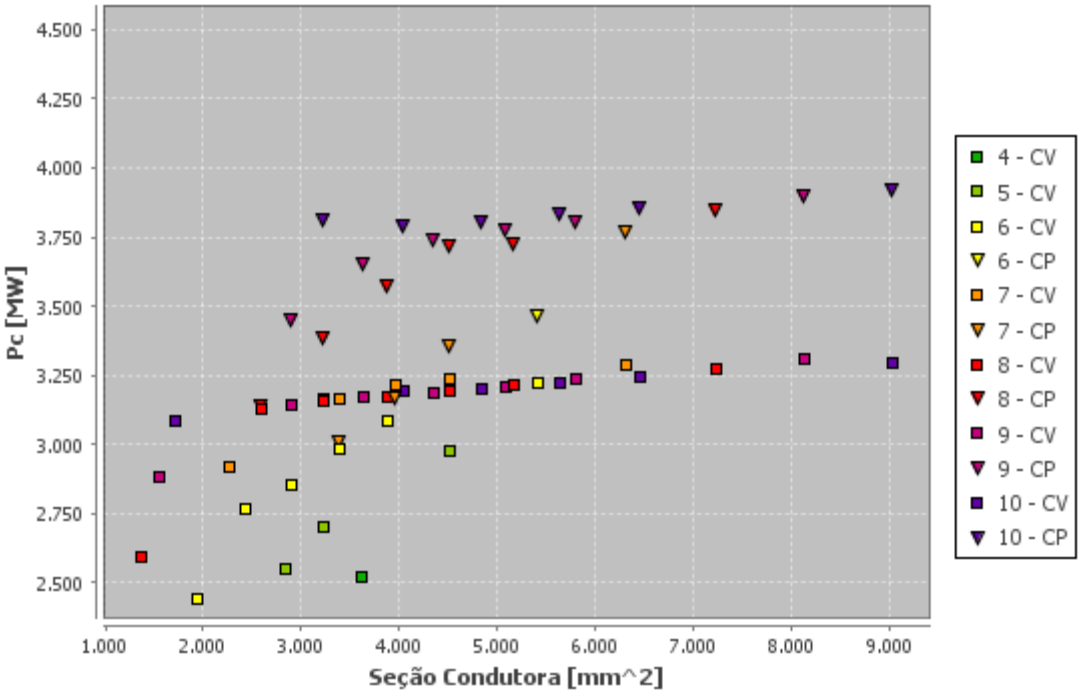

Figura 9.92: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

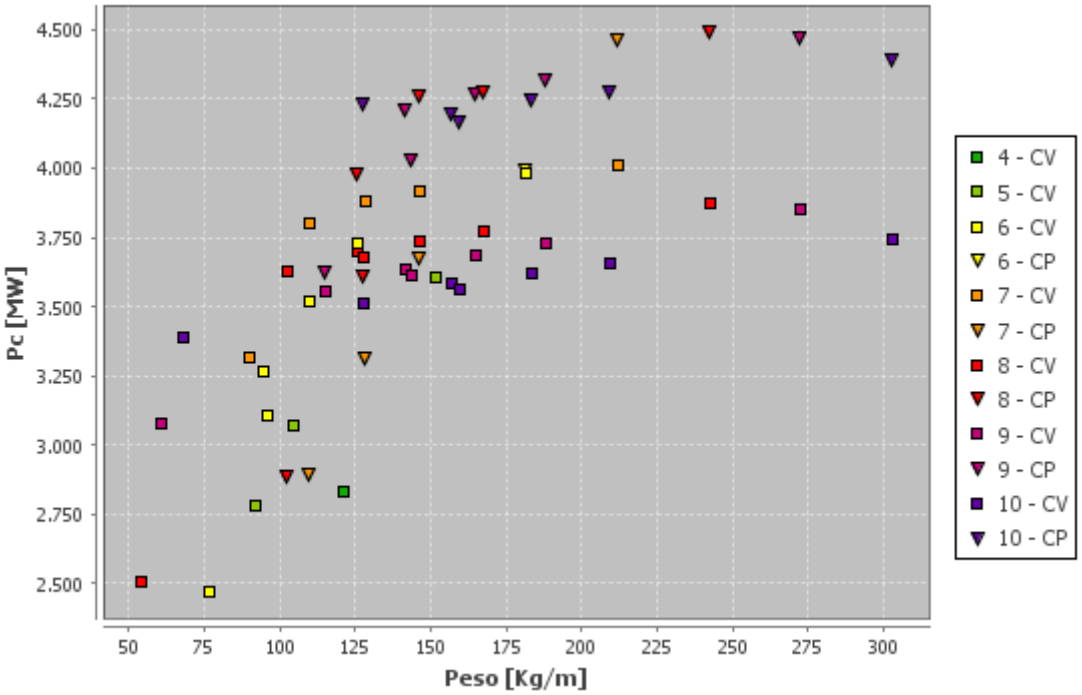

Figura 9.93: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

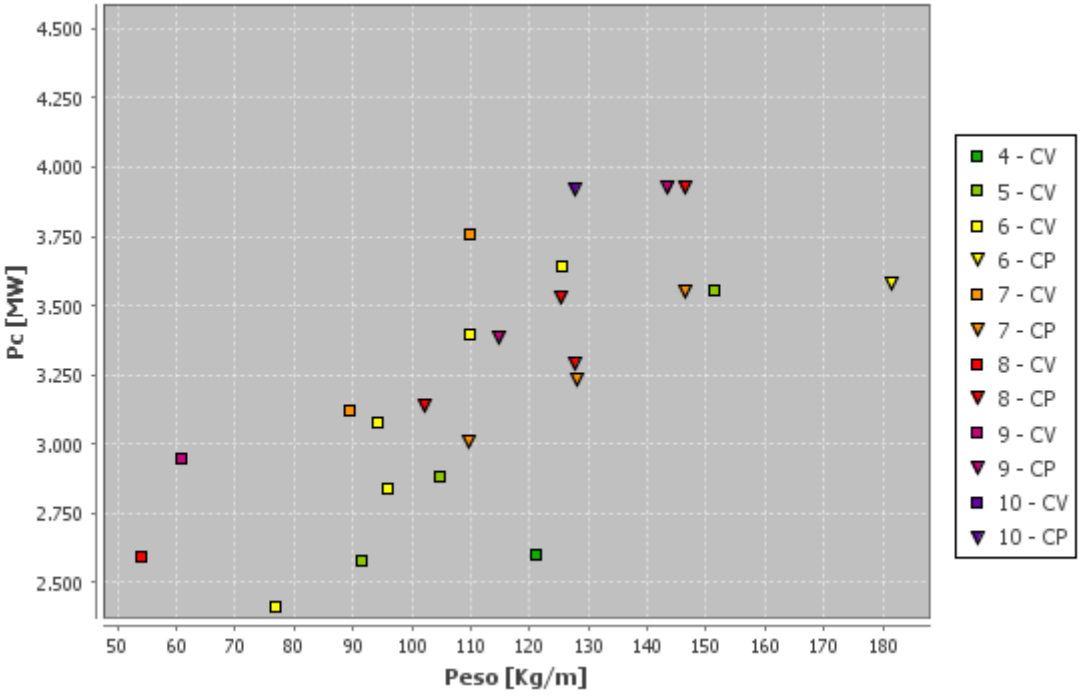

Figura 9.94: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

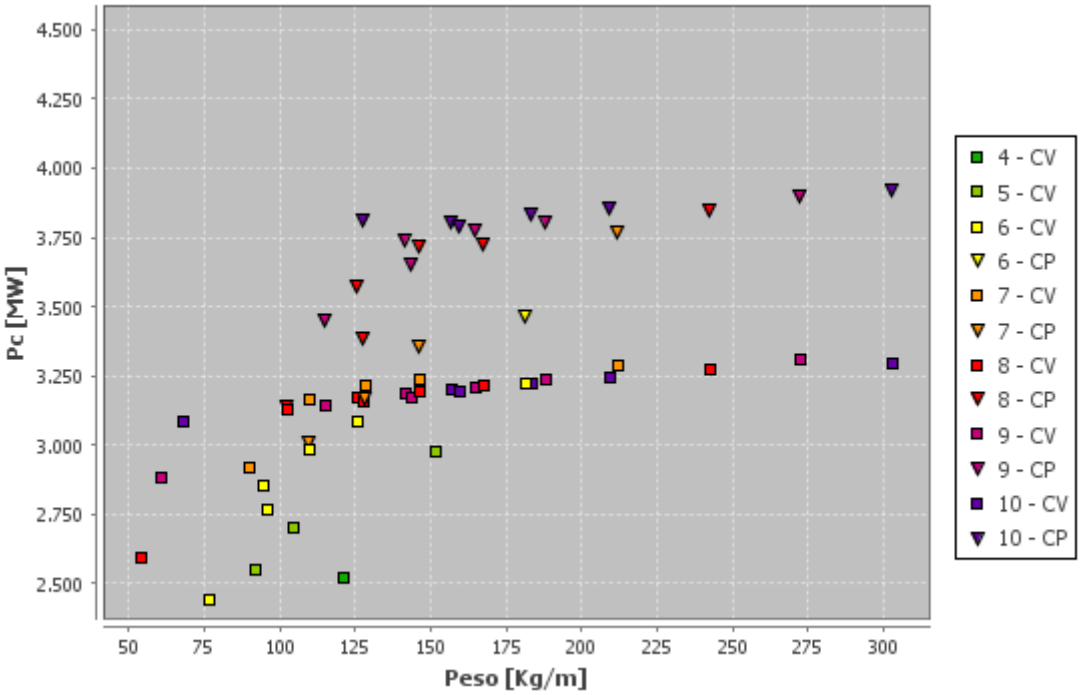

Figura 9.95: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

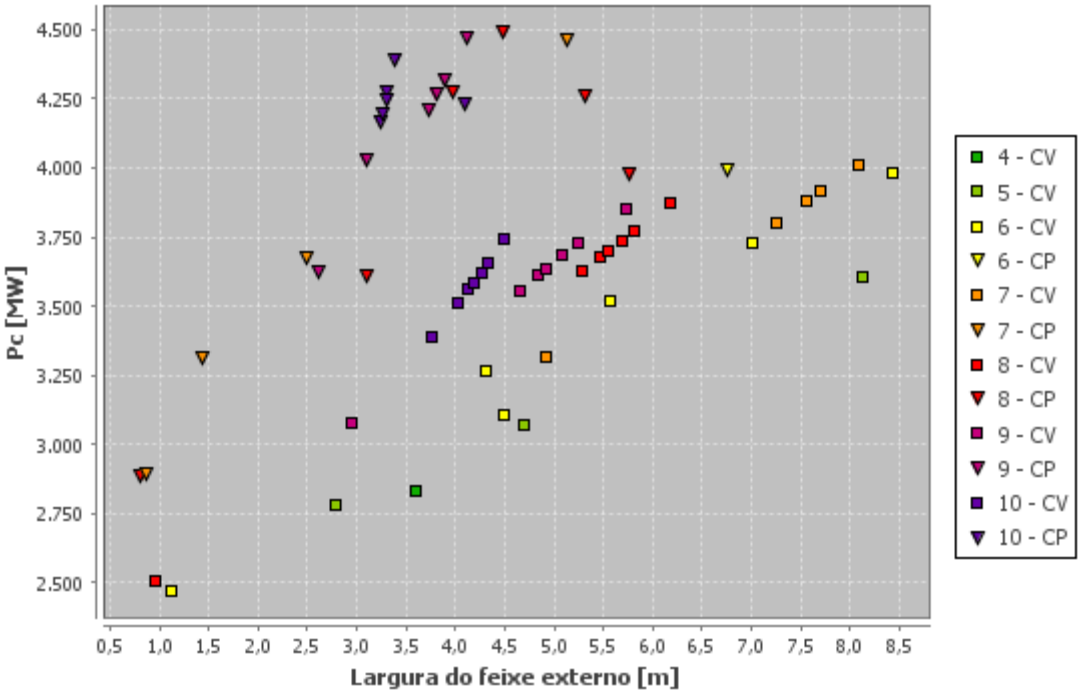

Figura 9.96: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

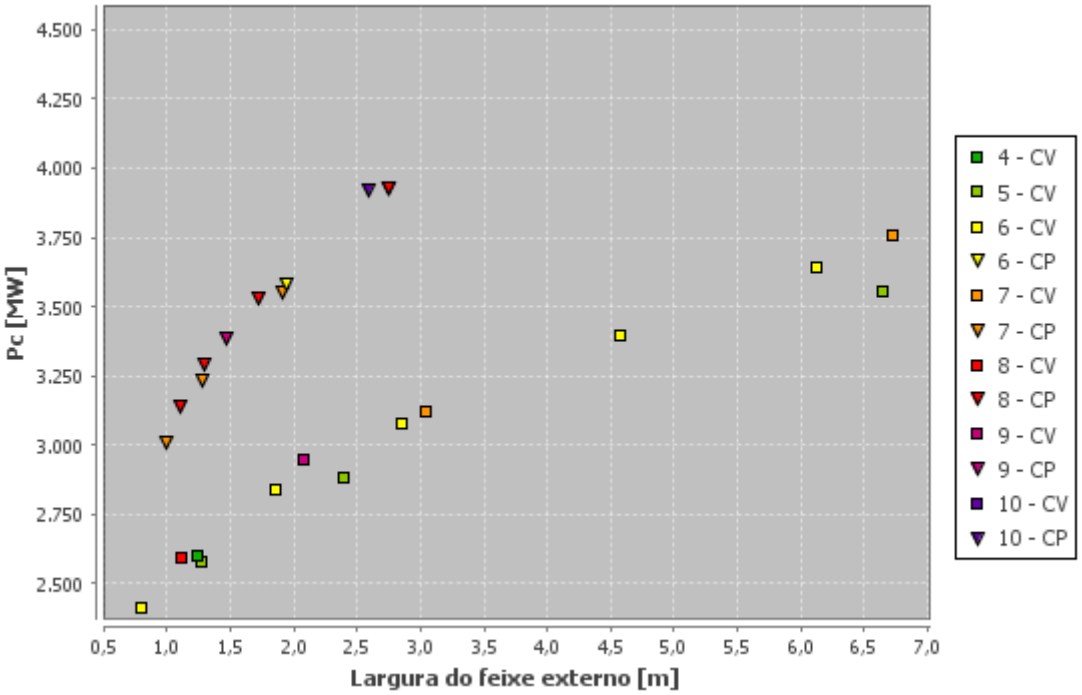

Figura 9.97: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

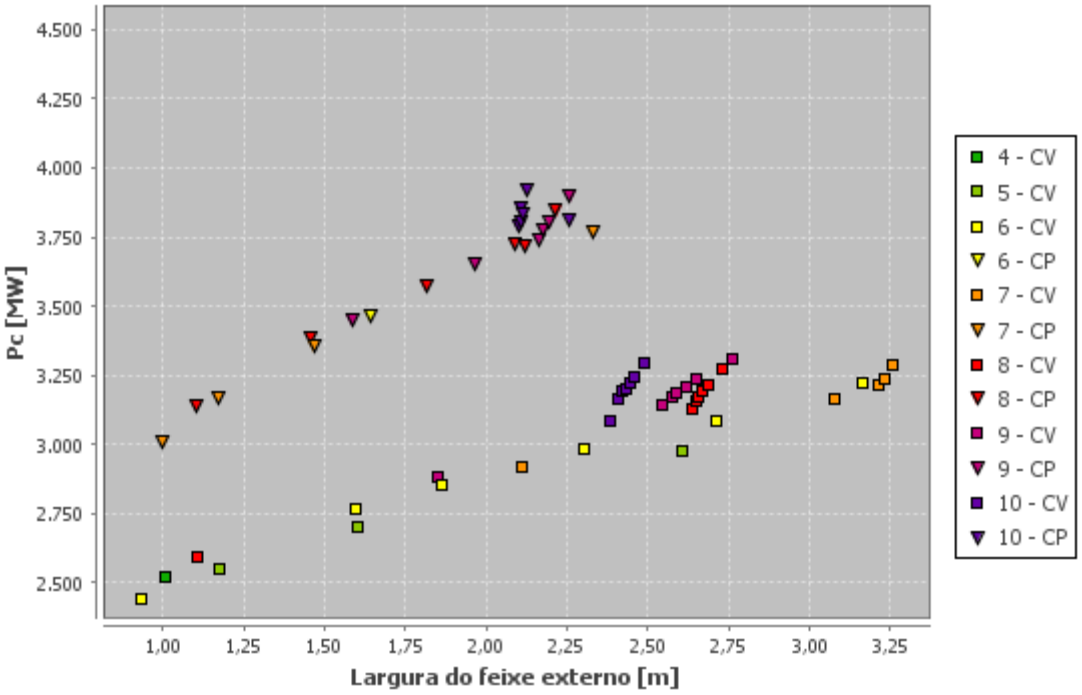

Figura 9.98: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

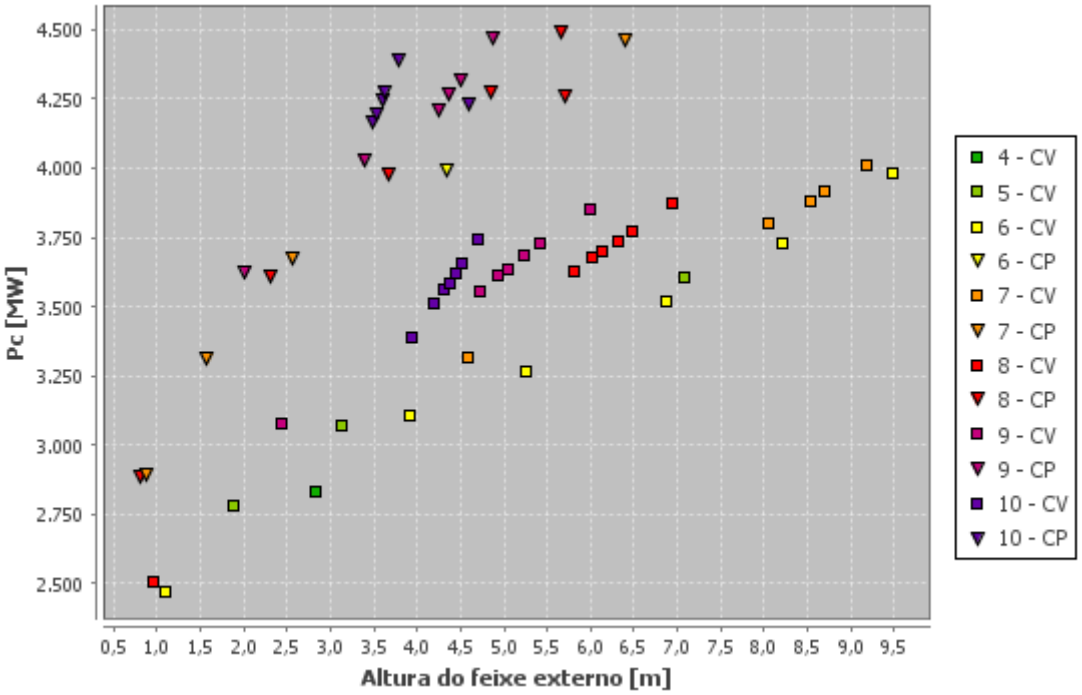

Figura 9.99: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

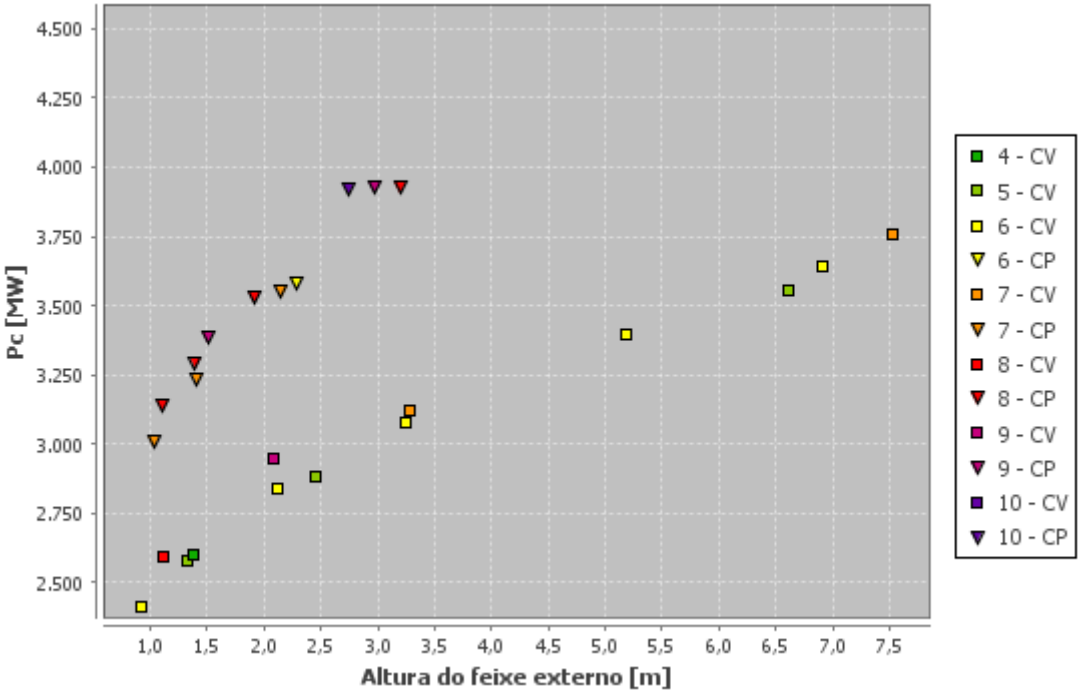

Figura 9.100: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

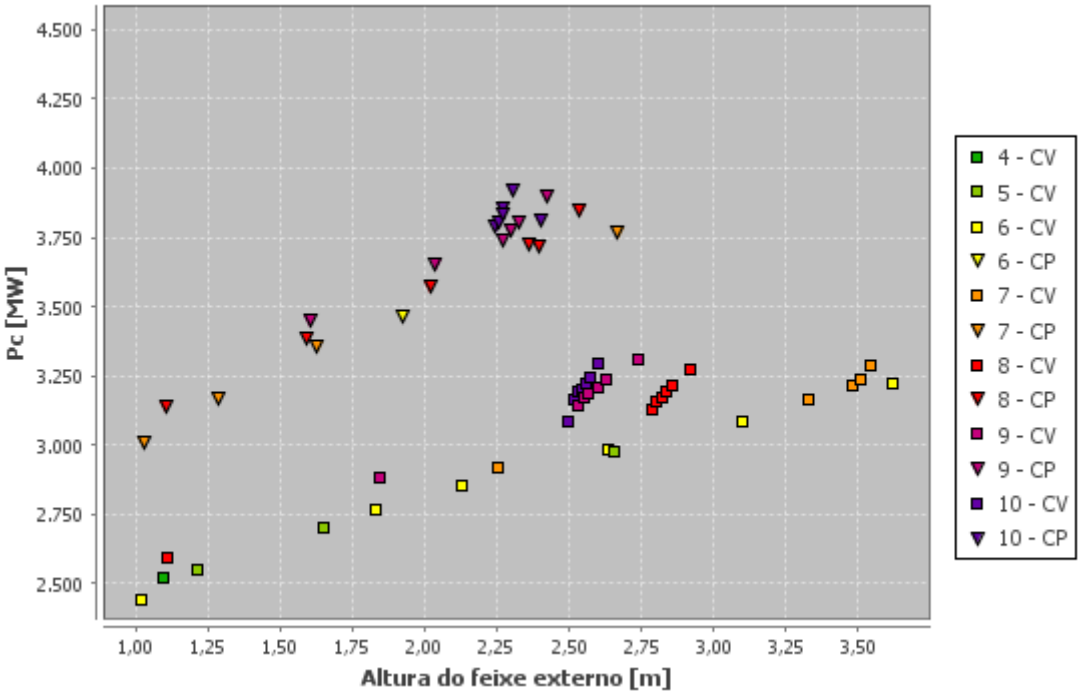

Figura 9.101: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

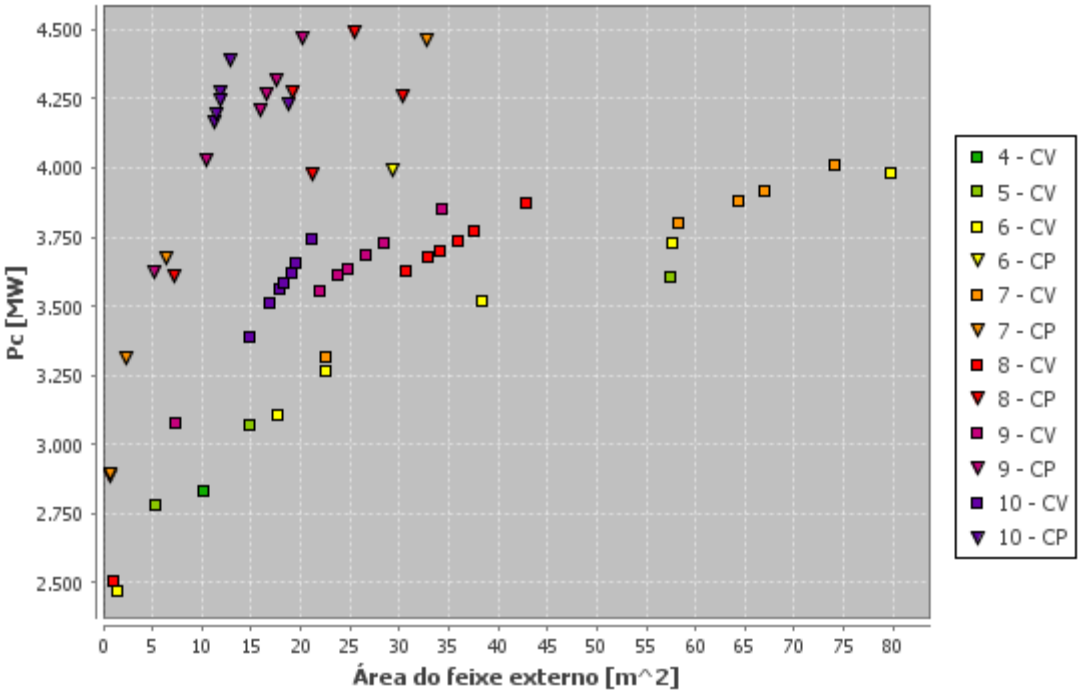

Figura 9.102: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

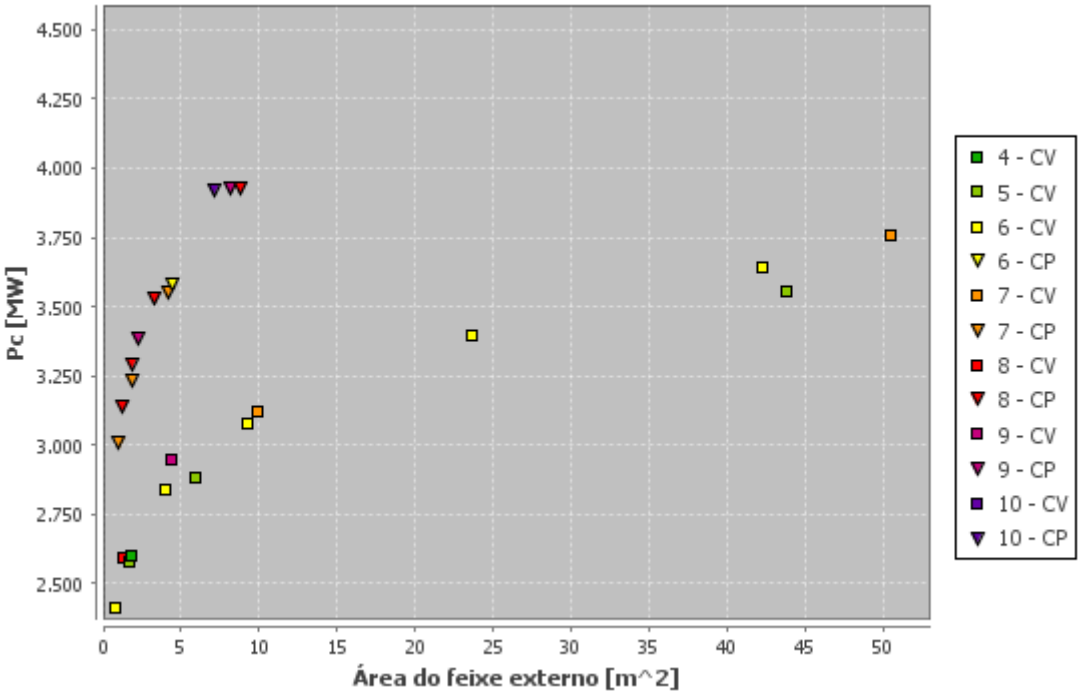

Figura 9.103: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

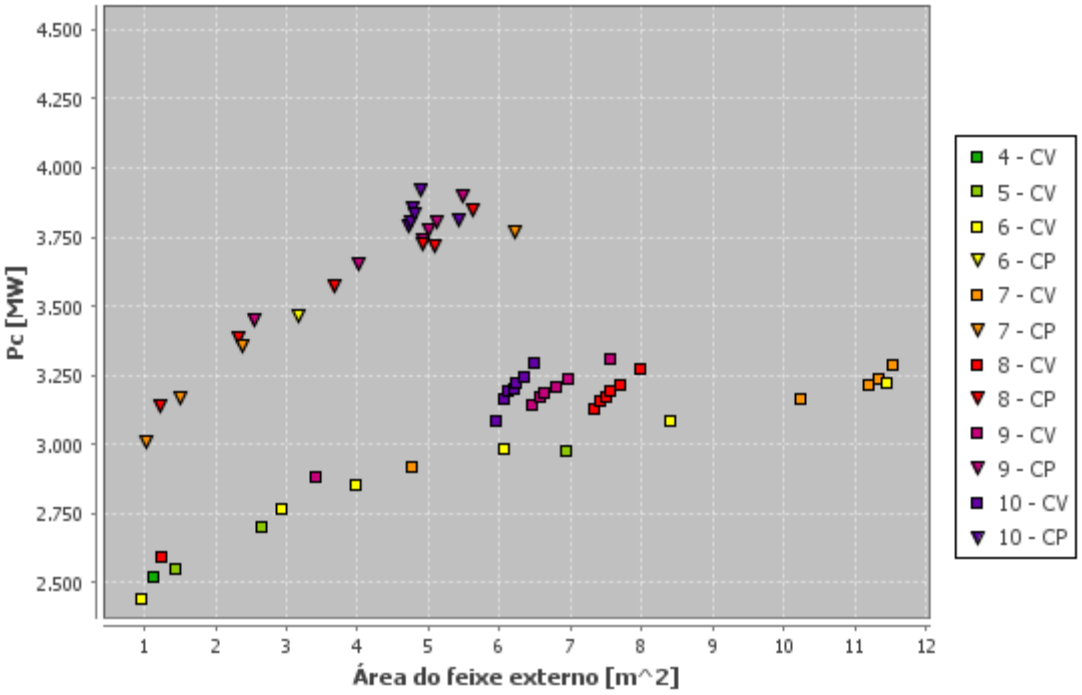

Figura 9.104: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

9.2.3.2- Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

No conjunto de casos resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes observa-se, assim como na otimização da reatância externa, grande dispersão dos pontos no gráfico que relaciona a potência característica e a superfície total condutora dos feixes. A origem de tal dispersão é também aqui a grande variabilidade de casos, resultante da alocação de subcondutores sobre o eixo de simetria vertical para um mesmo número de subcondutores por feixe.

Assim como na otimização sem simetria vertical dos feixes, os patamares de potência característica observados neste conjunto de casos são resultantes da interrupção do processo de otimização pela limitação do número de iterações máximo fixado. Tal conclusão é mais evidente quando se observam os gráficos que mostram os casos detalhados por nível de tensão.

Os comportamentos das relações entre Pc e seção condutora total dos feixes e entre Pc e peso total dos feixes por unidade de comprimento são semelhantes aos observados nos casos de otimização da reatância externa.

A largura dos feixes deste conjunto de casos são, em geral, menor do que a largura dos casos sem simetria vertical dos feixes, observadas a Figura 9.114, a Figura 9.115 e a Figura 6.80, enquanto a altura dos feixes é, em geral, maior do que a altura dos feixes obtidos com a otimização sem a simetria vertical dos feixes, observadas a Figura 9.117, a Figura 9.118 e a Figura 6.83. Tal fato deve-se à variabilidade de casos dada pela inclusão dos subcondutores centrais, a qual promove certa flexibilidade na escolha da relação entre largura e altura dos feixes, sendo necessário considerar que pode haver redução de potência característica, a depender da configuração adotada.

Esta flexibilidade também foi observada no conjunto de casos resultante da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes, sendo que o emprego de configurações com subcondutores centrais se mostrou mais interessante na otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial, destacando-se aquelas com todos os subcondutores dispostos na vertical e aquelas com dois subcondutores na parte superior e outros dois subcondutores na parte inferior dos feixes externos.

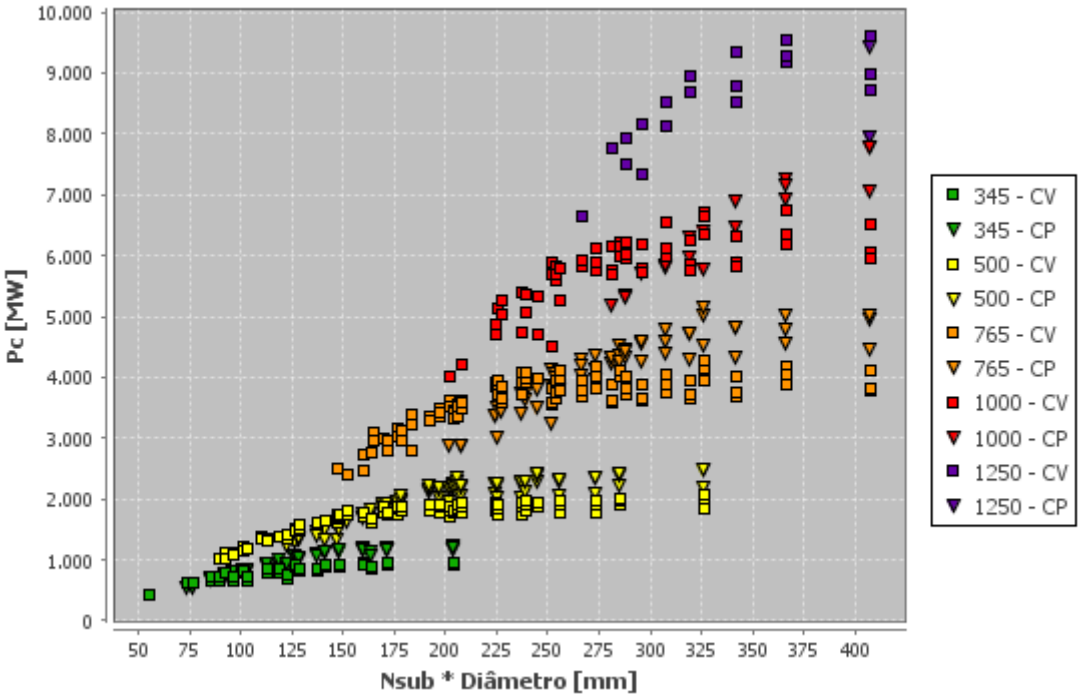

Figura 9.105: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

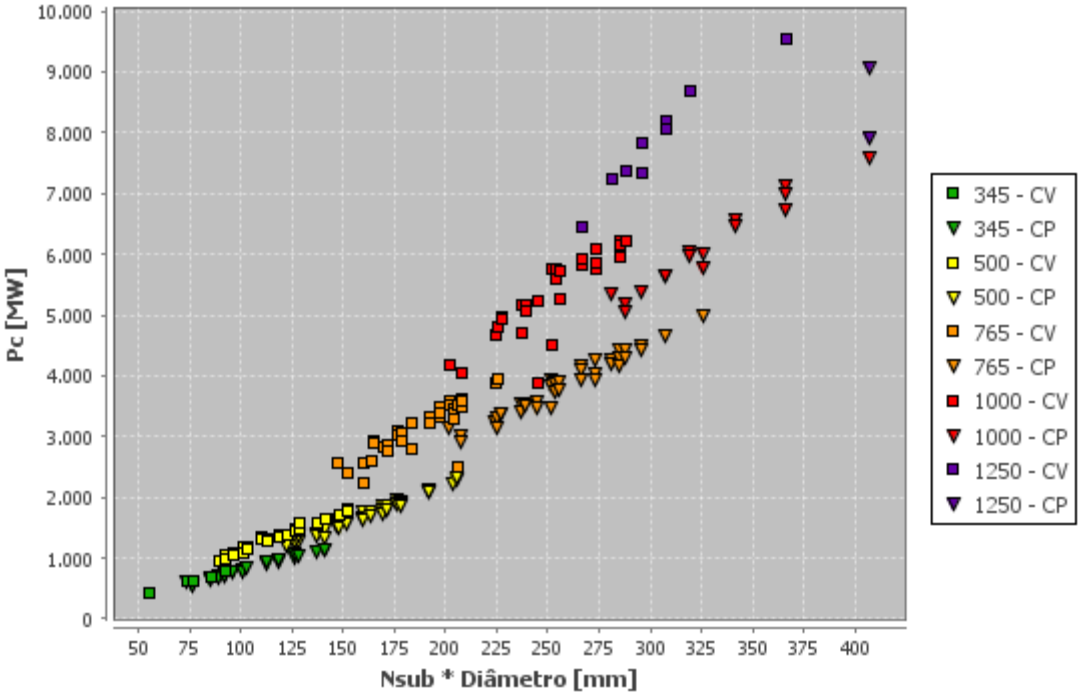

Figura 9.106: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

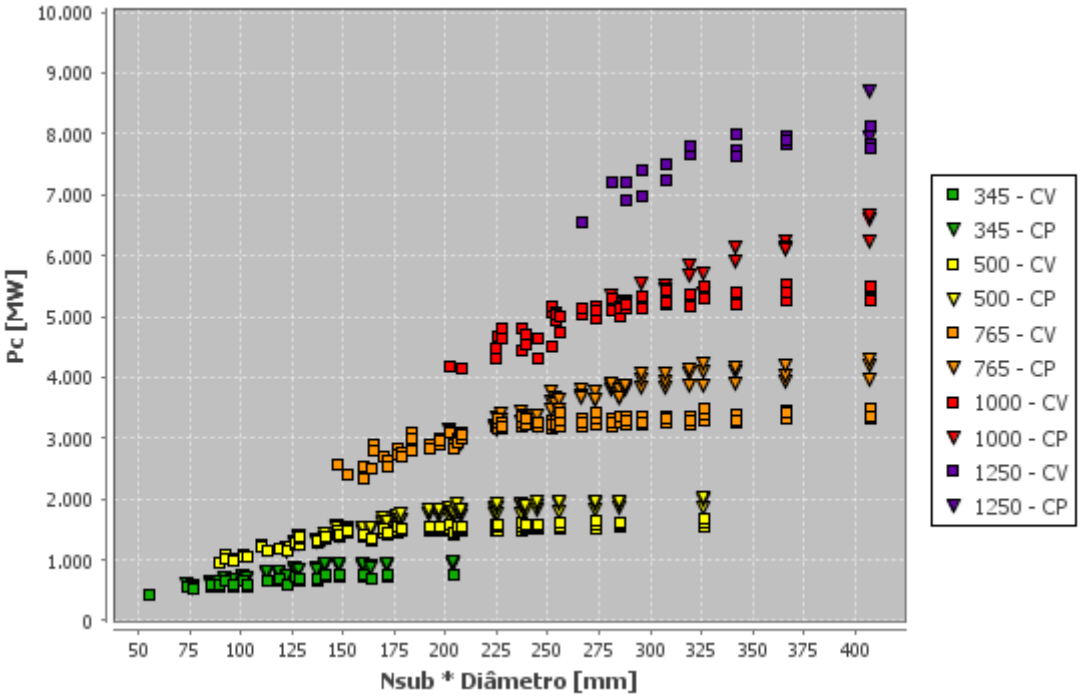

Figura 9.107: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

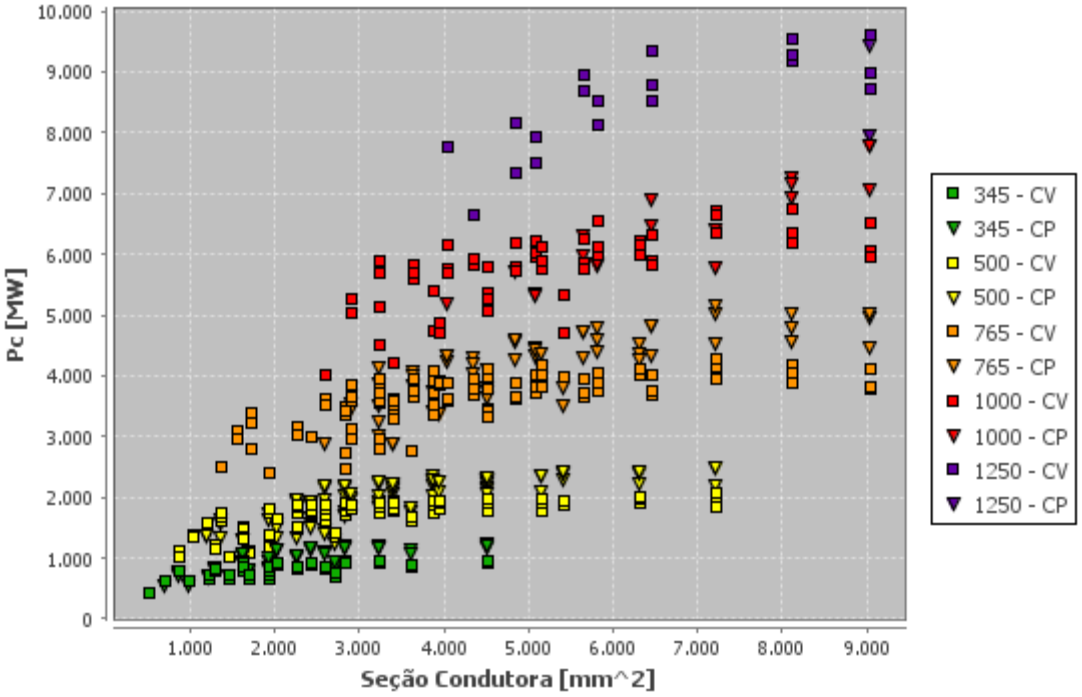

Figura 9.108: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

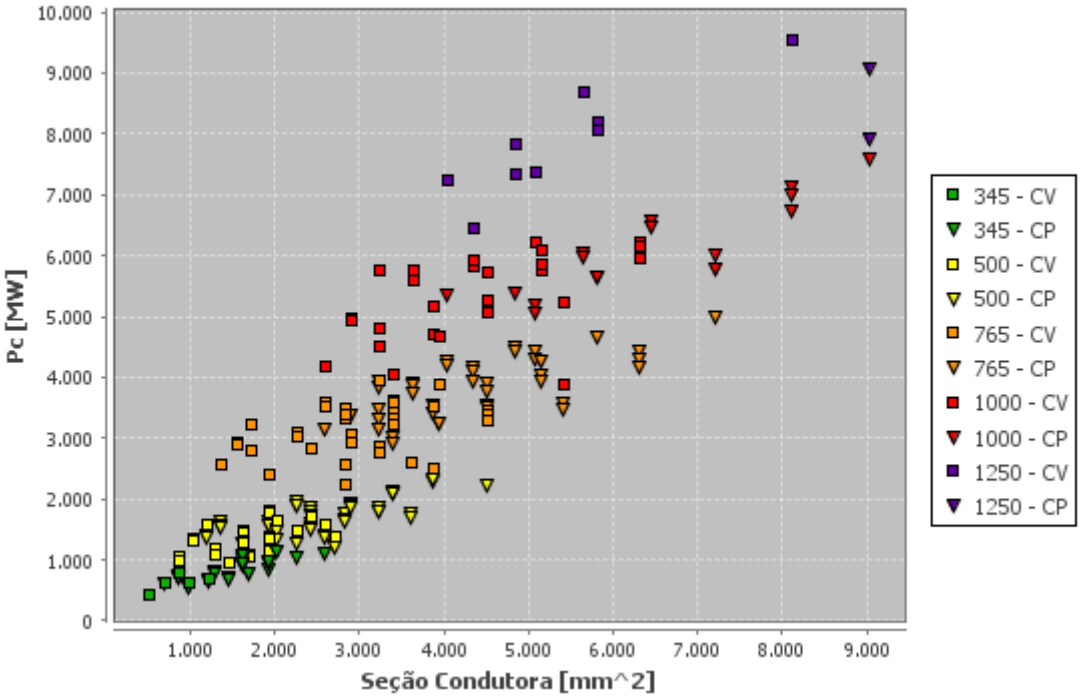

Figura 9.109: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

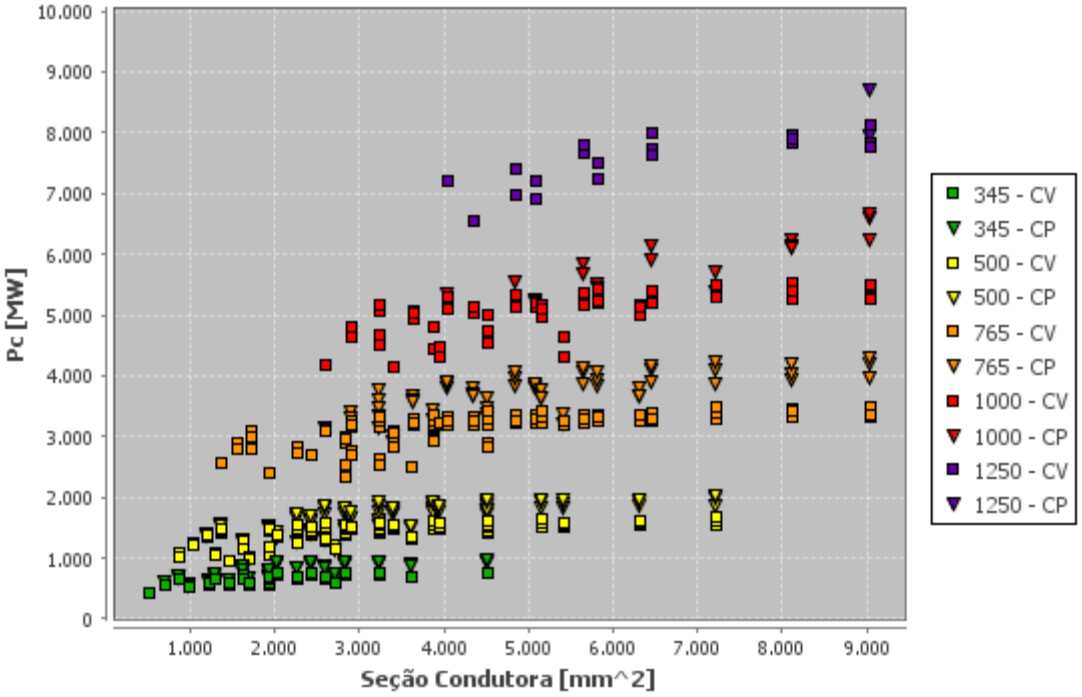

Figura 9.110: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

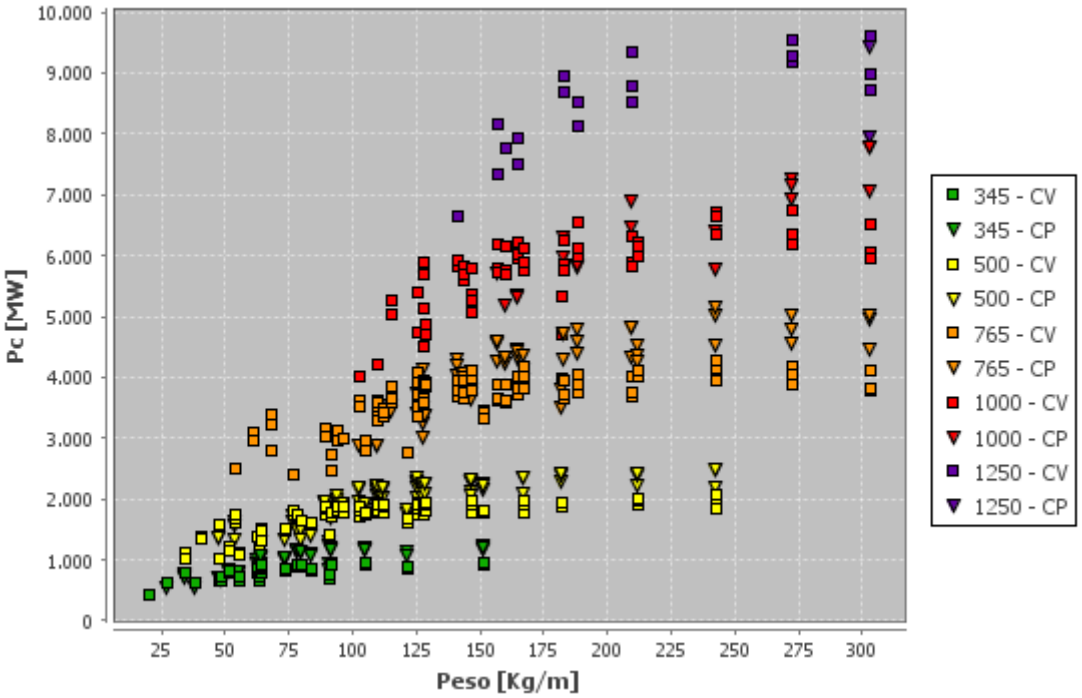

Figura 9.111: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

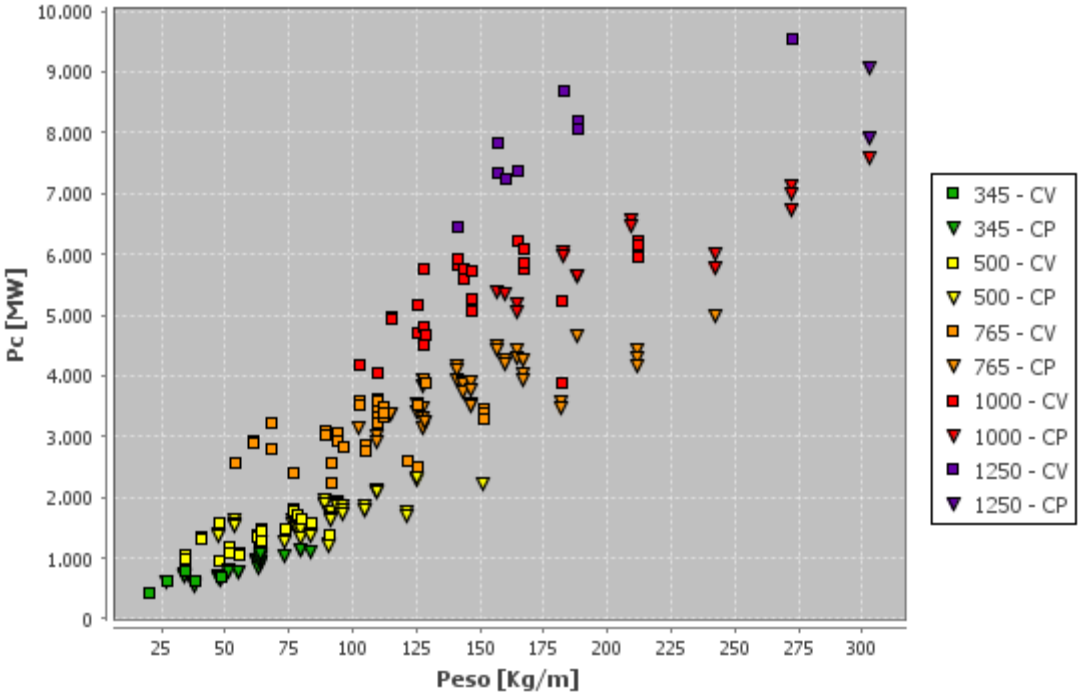

Figura 9.112: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

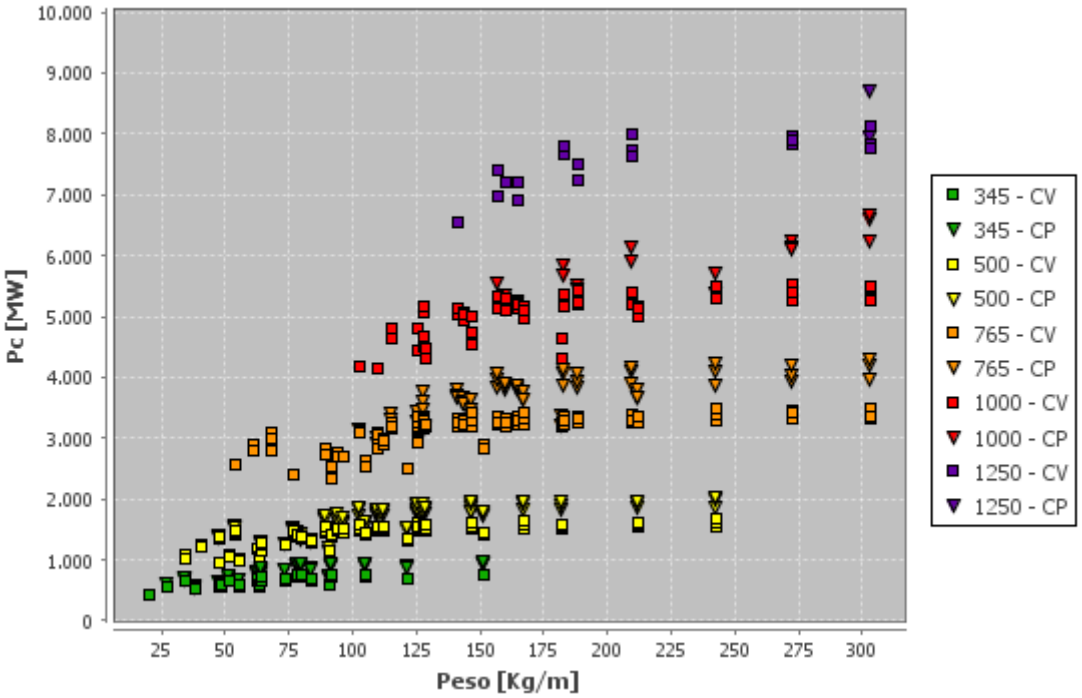

Figura 9.113: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

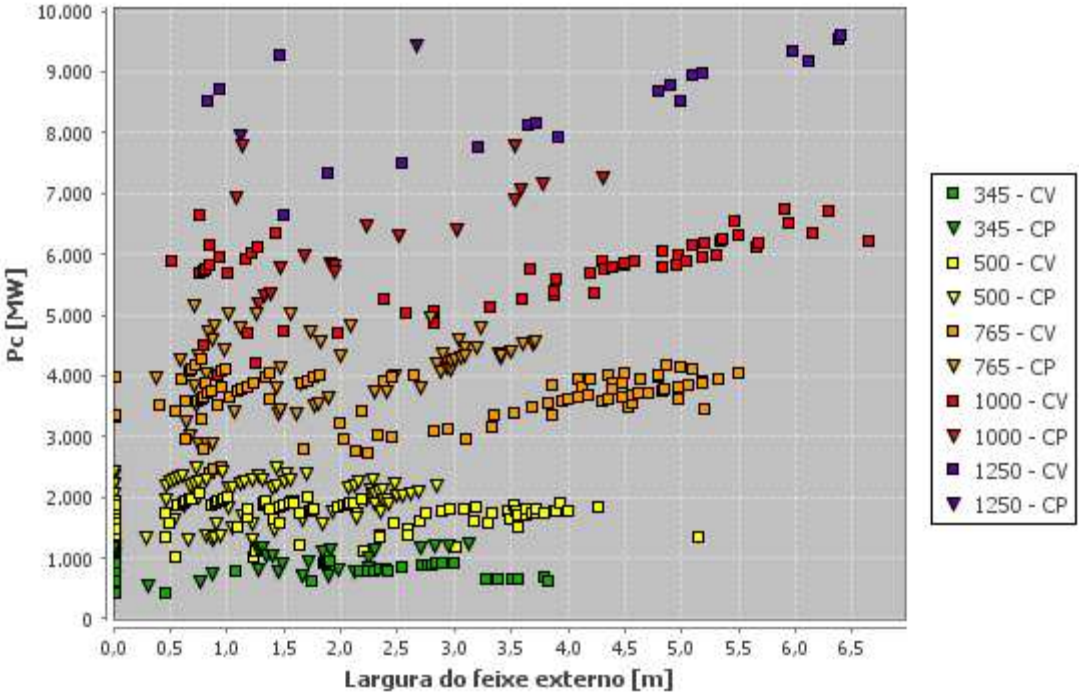

Figura 9.114: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

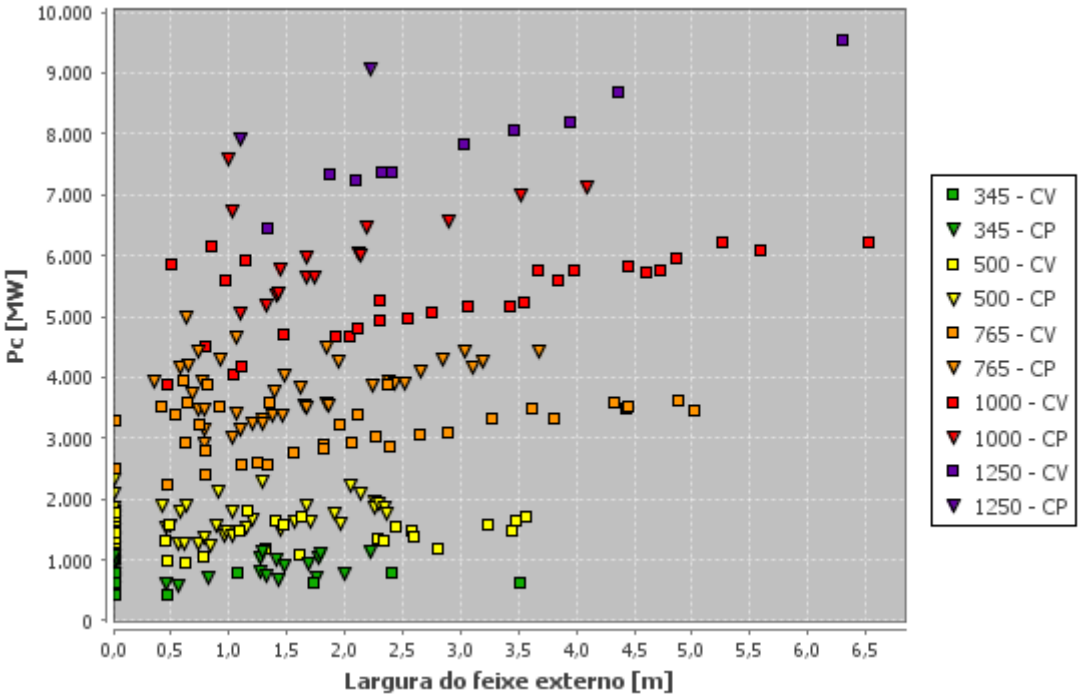

Figura 9.115: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

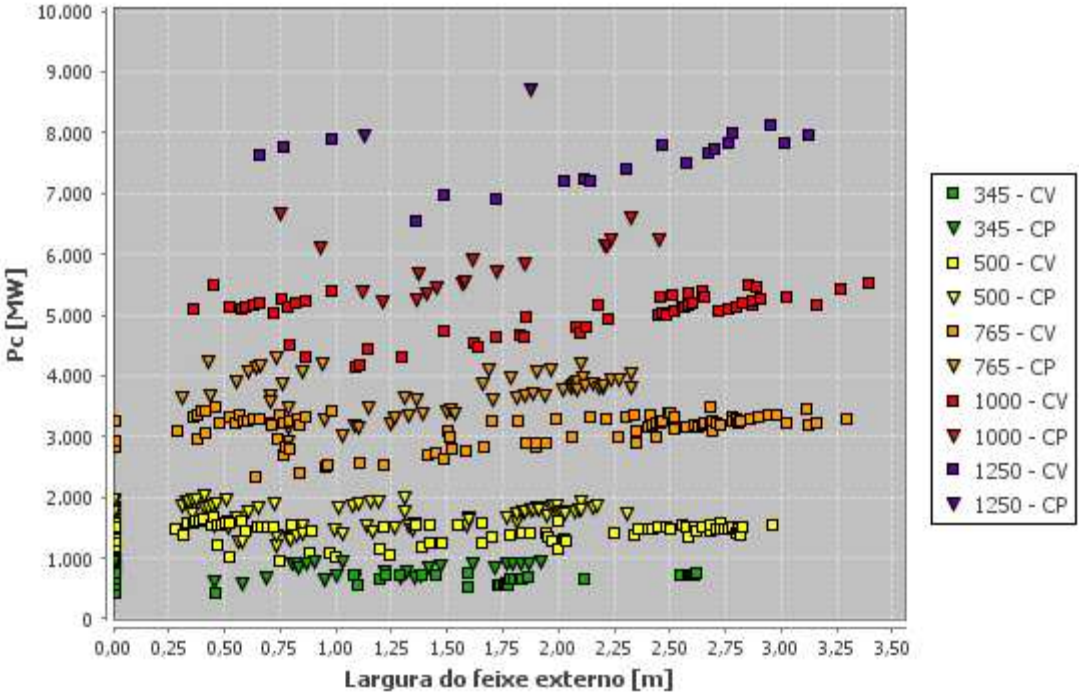

Figura 9.116: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

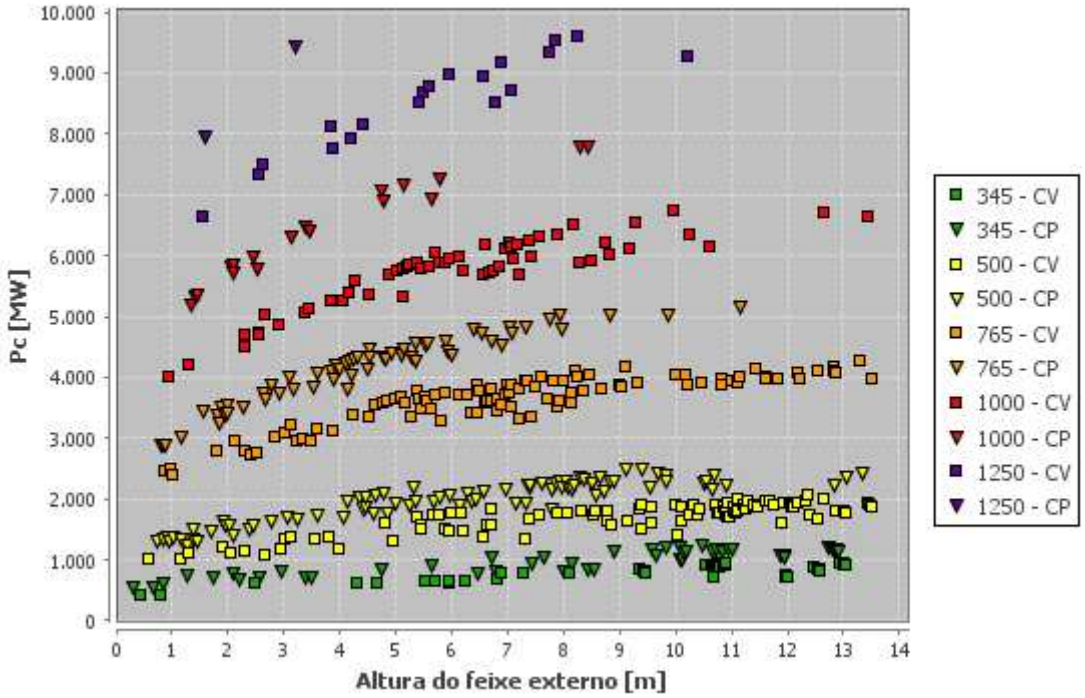

Figura 9.117: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

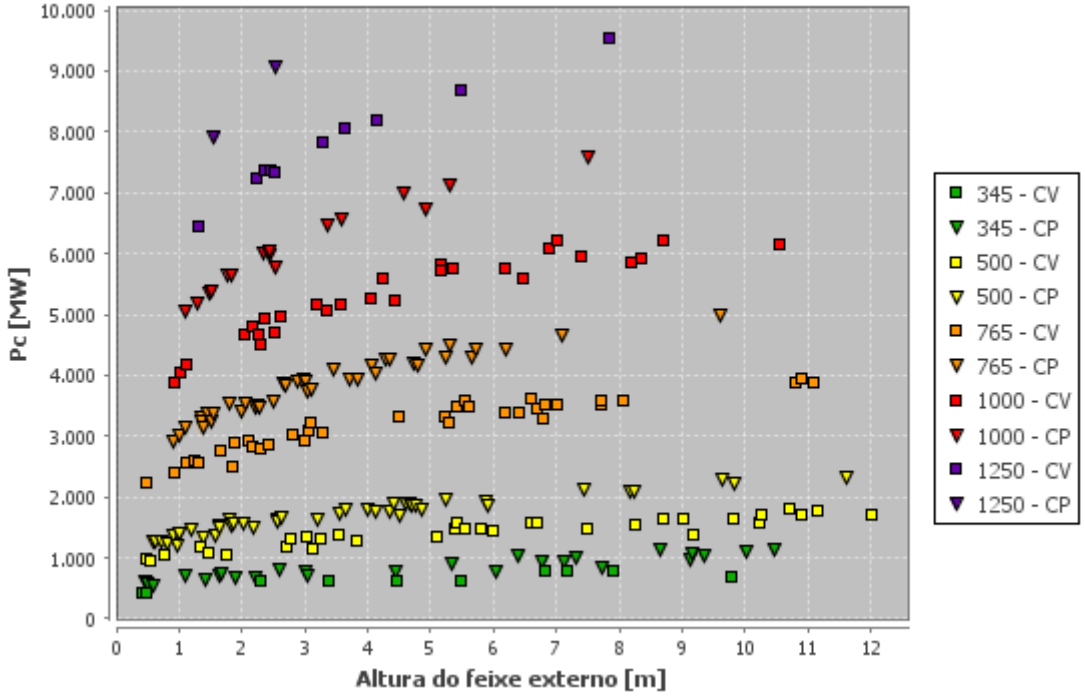

Figura 9.118: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

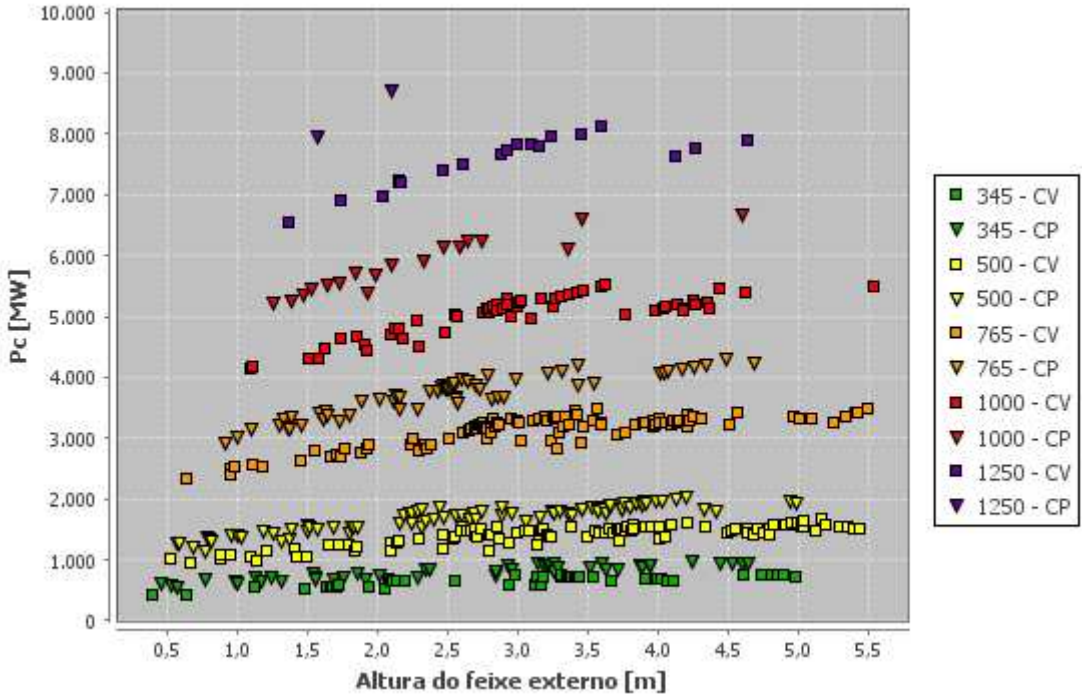

Figura 9.119: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

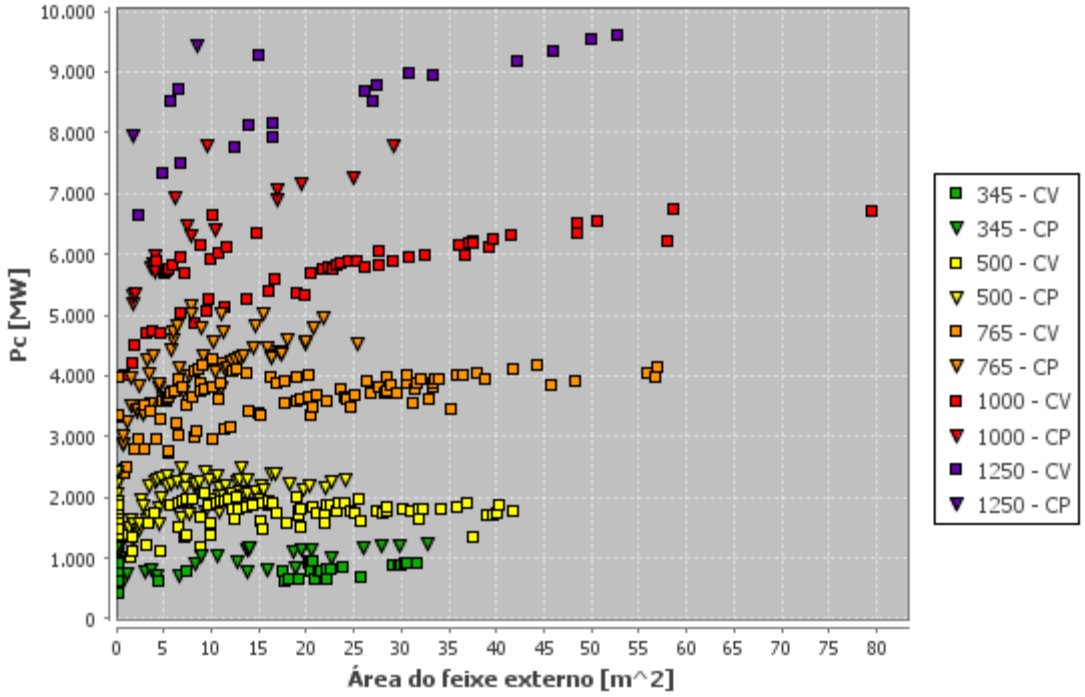

Figura 9.120: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

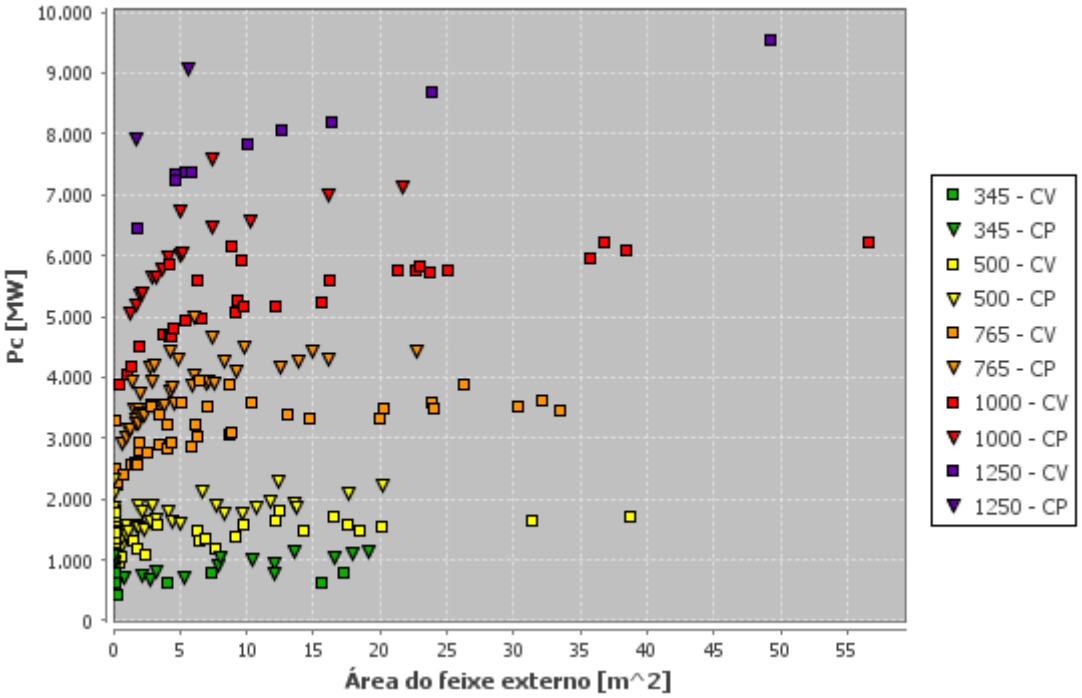

Figura 9.121: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

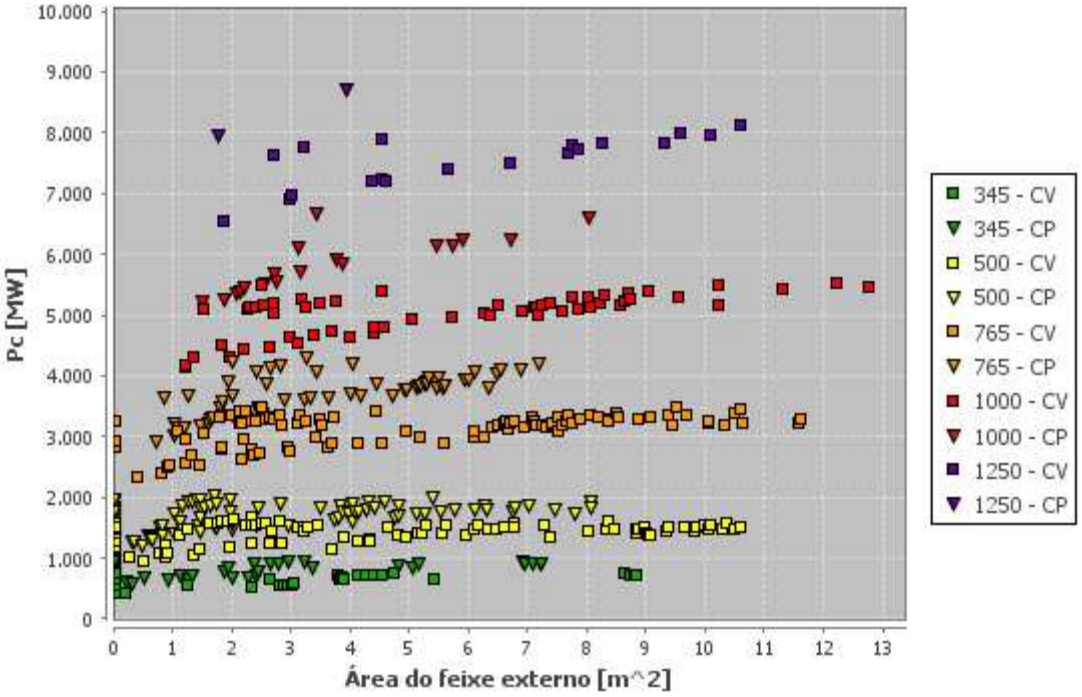

Figura 9.122: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

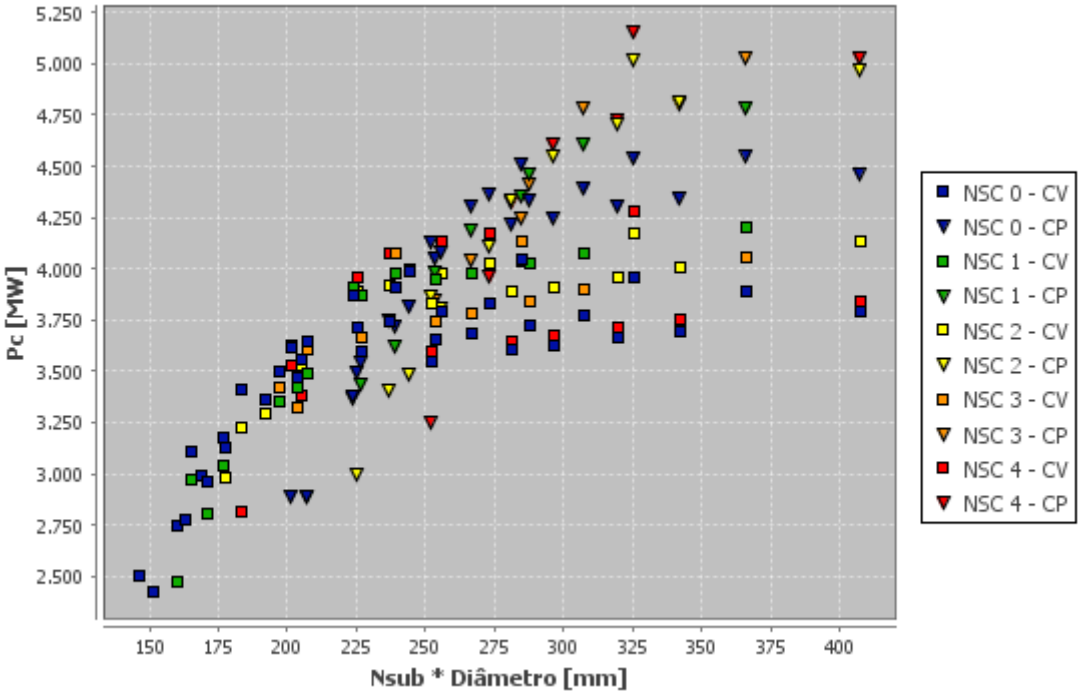

Figura 9.123: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

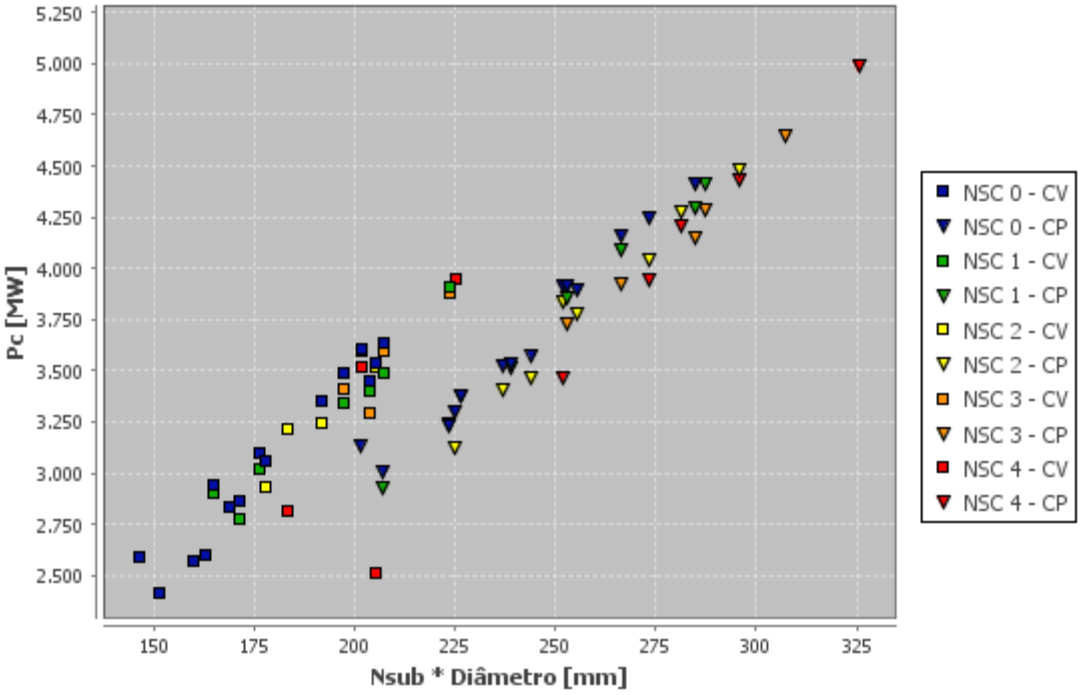

Figura 9.124: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

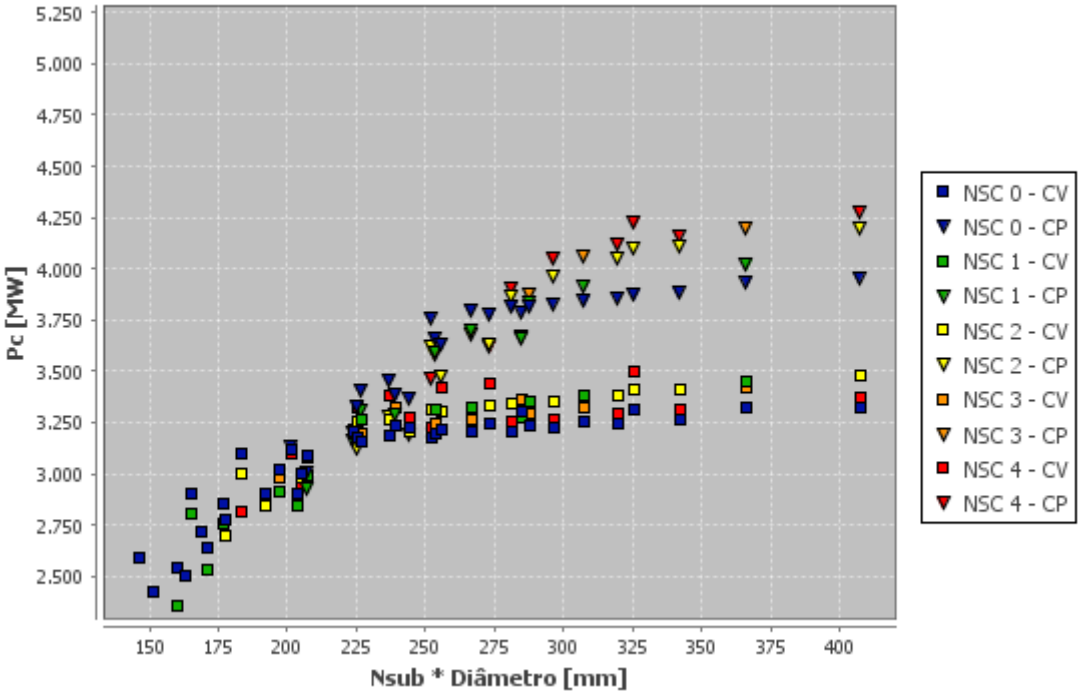

Figura 9.125: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

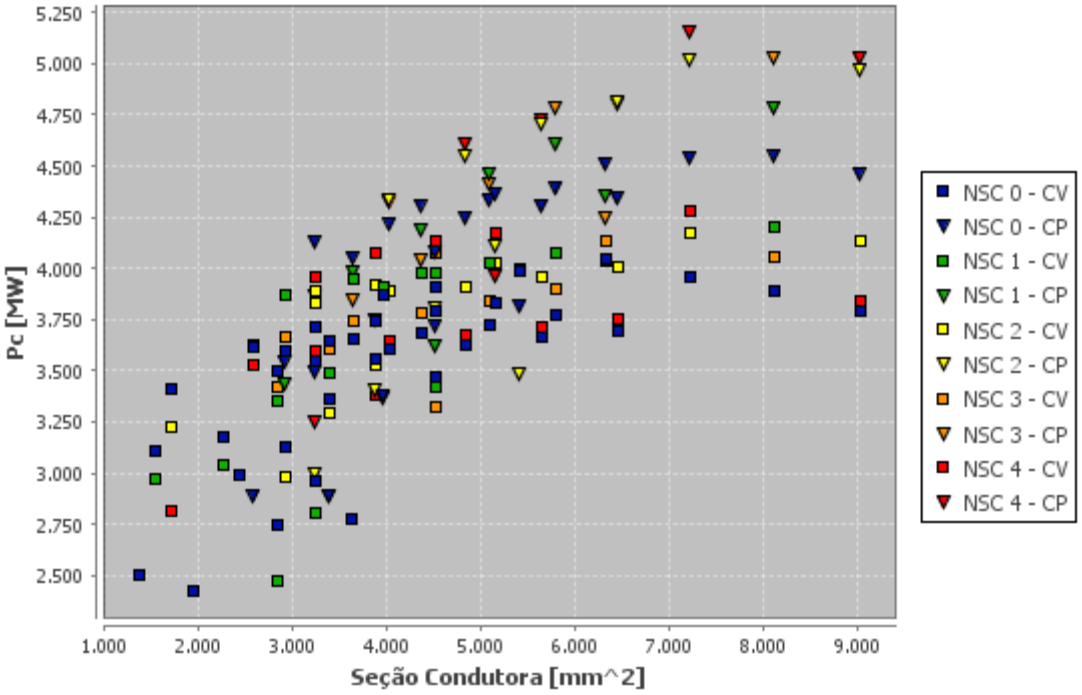

Figura 9.126: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

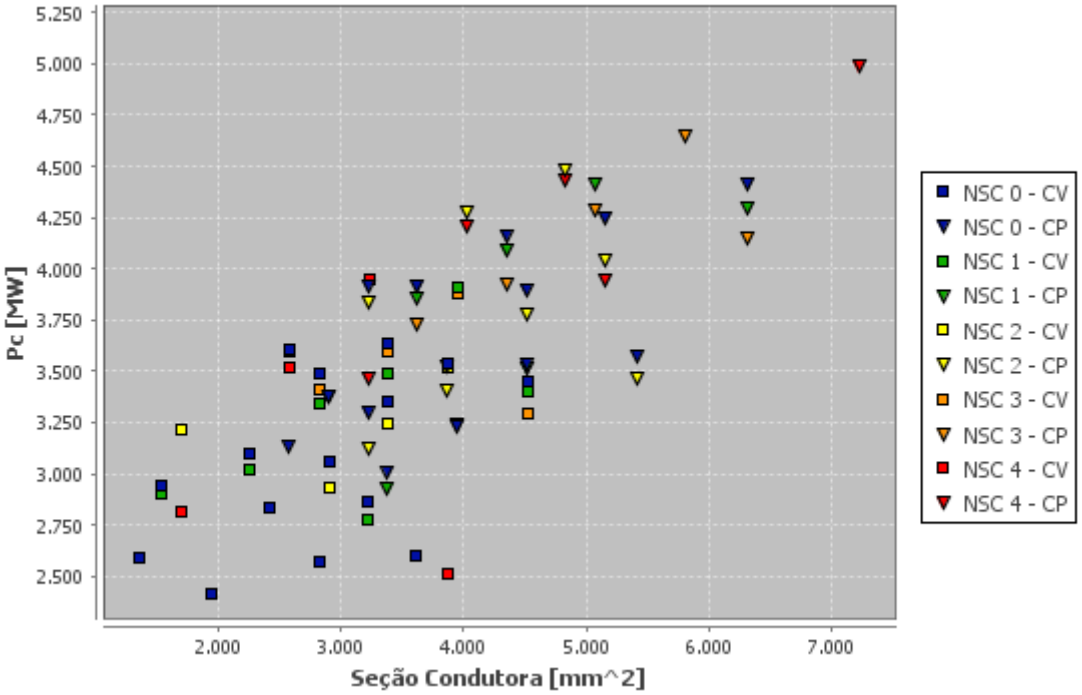

Figura 9.127: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

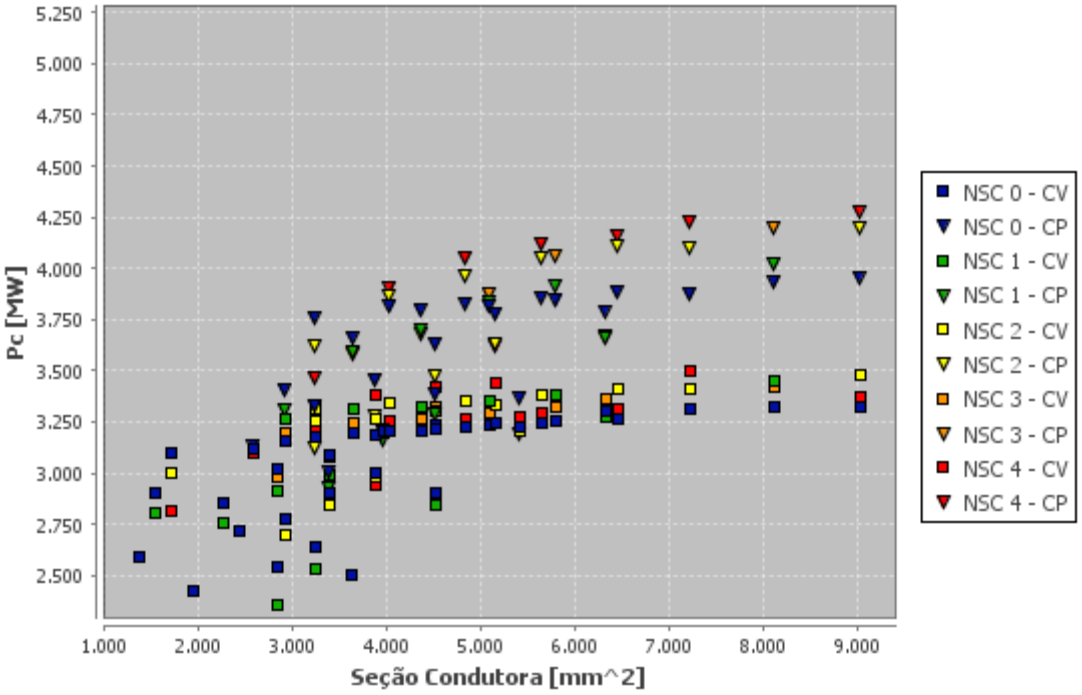

Figura 9.128: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

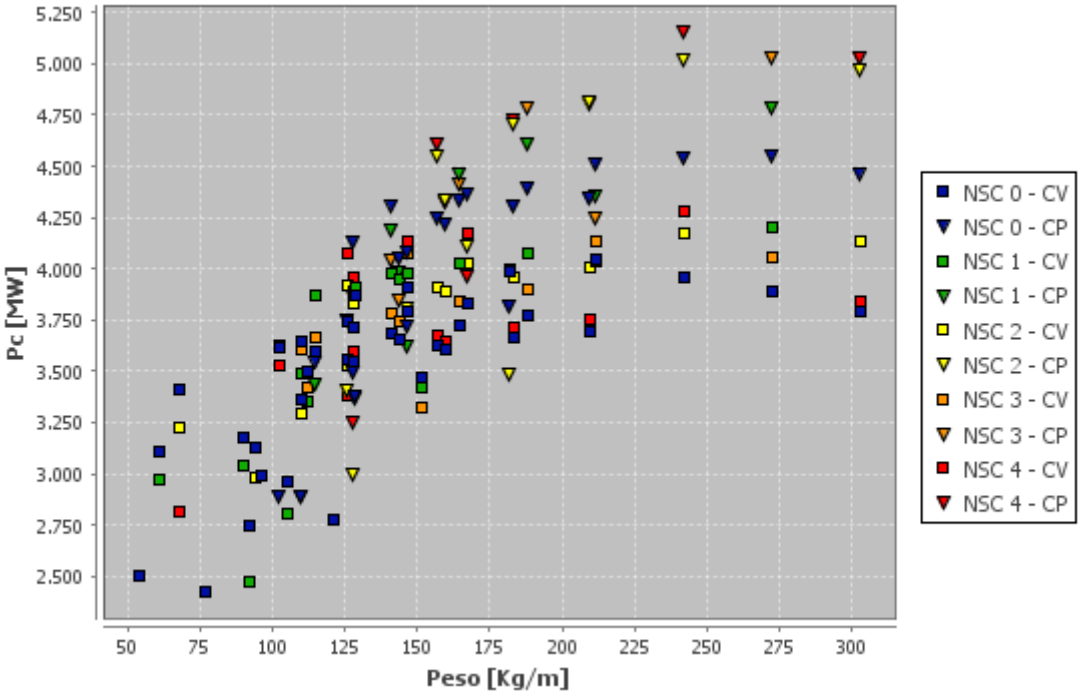

Figura 9.129: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

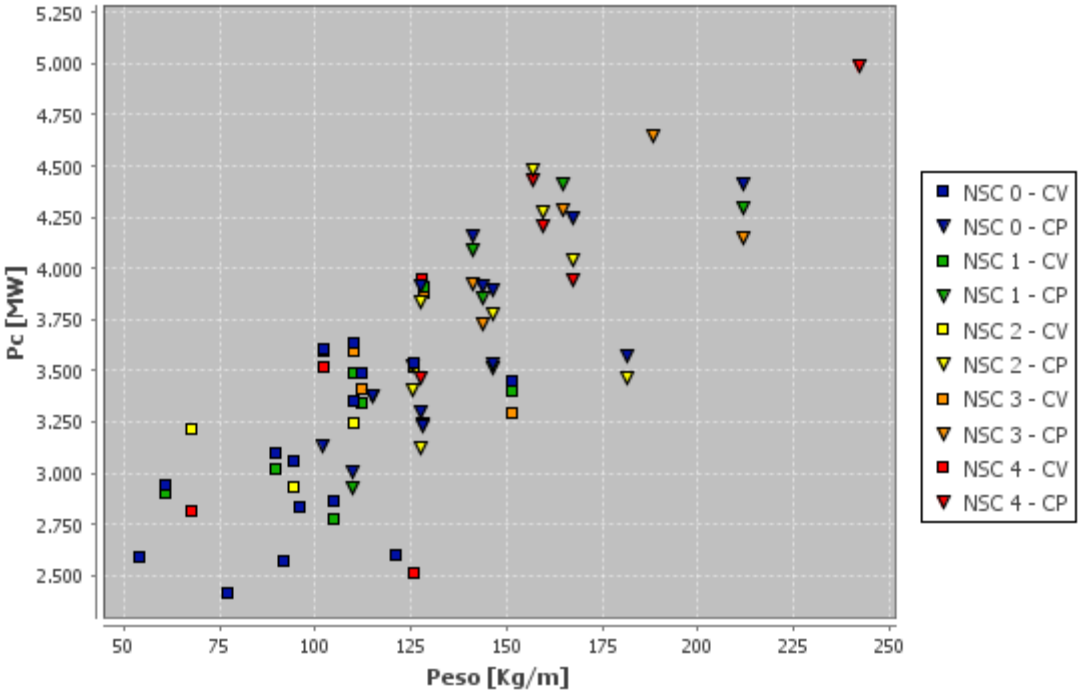

Figura 9.130: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

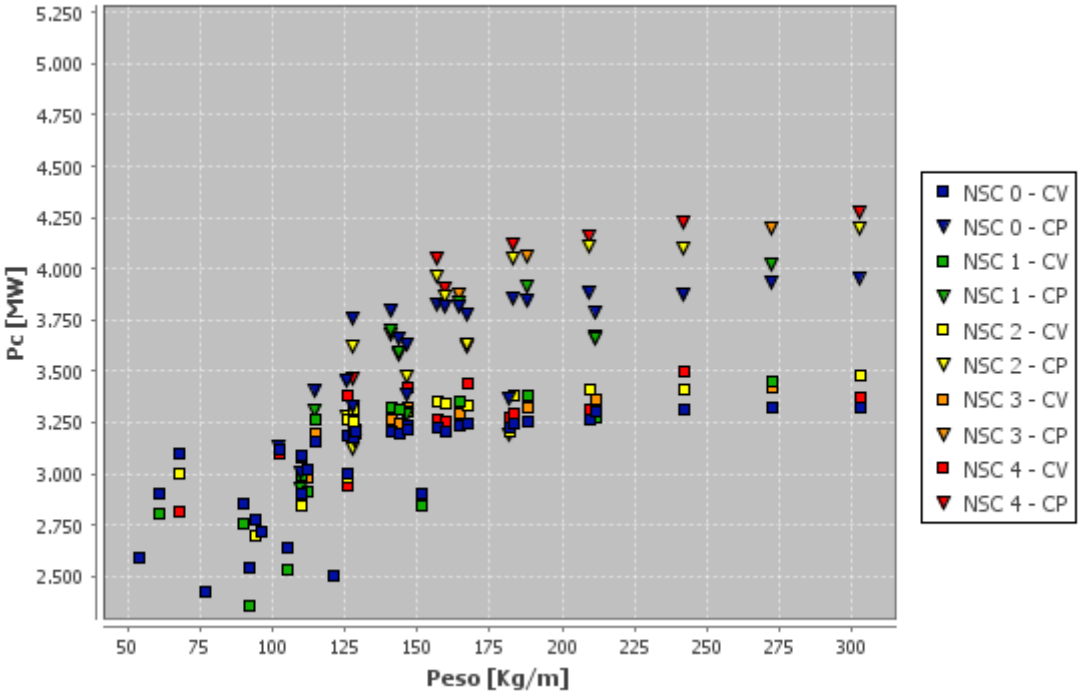

Figura 9.131: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

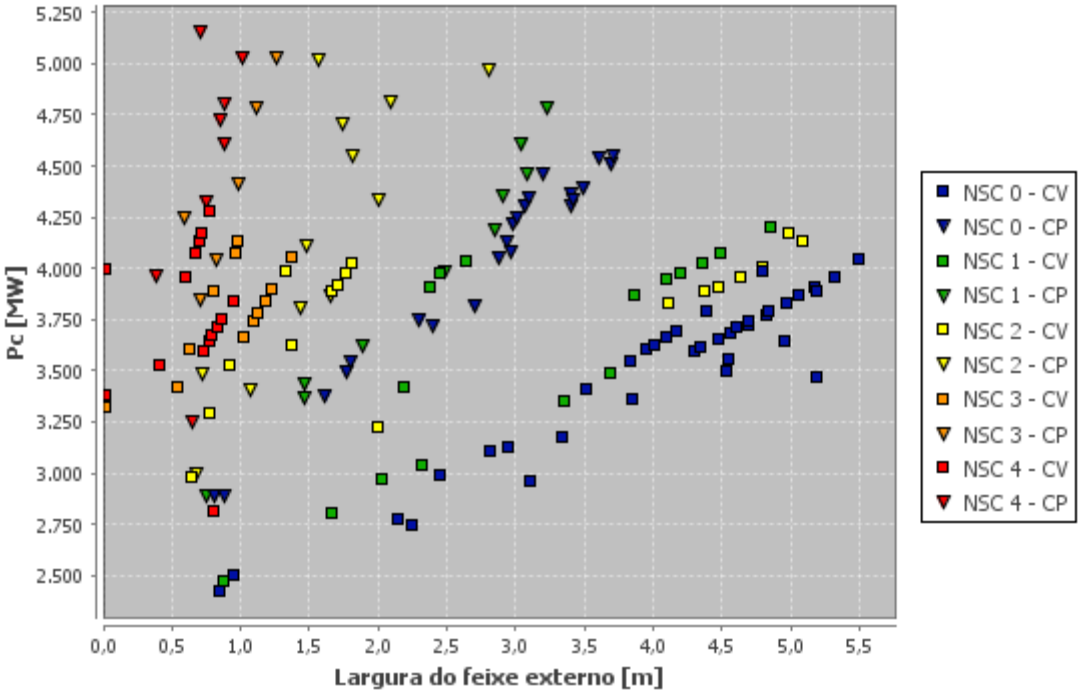

Figura 9.132: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

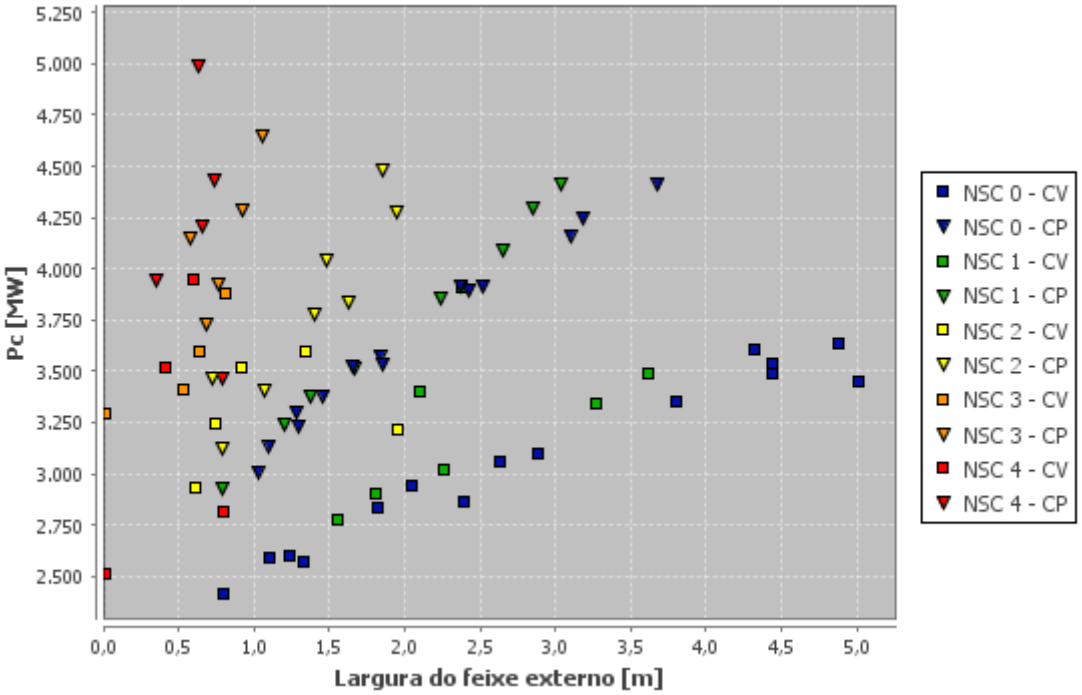

Figura 9.133: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

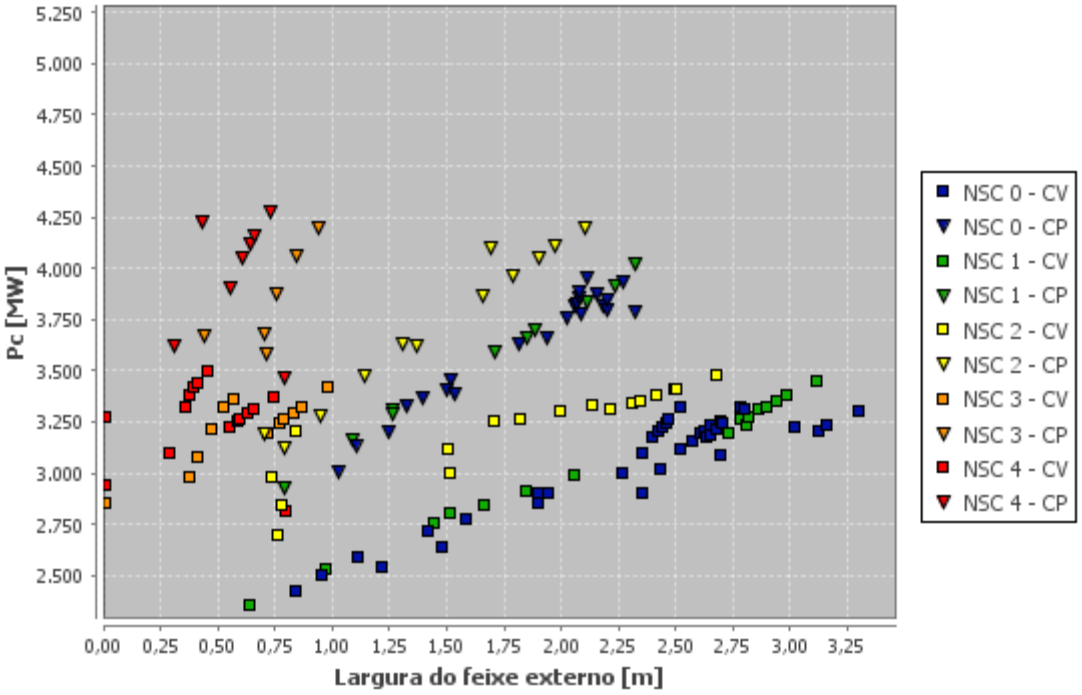

Figura 9.134: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

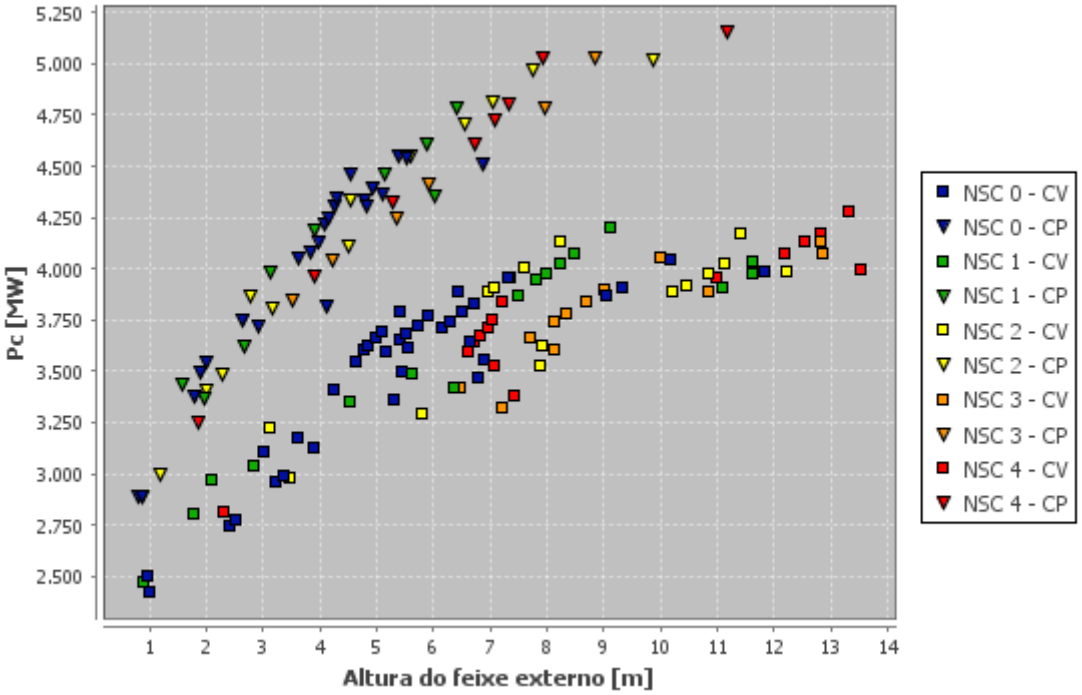

Figura 9.135: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

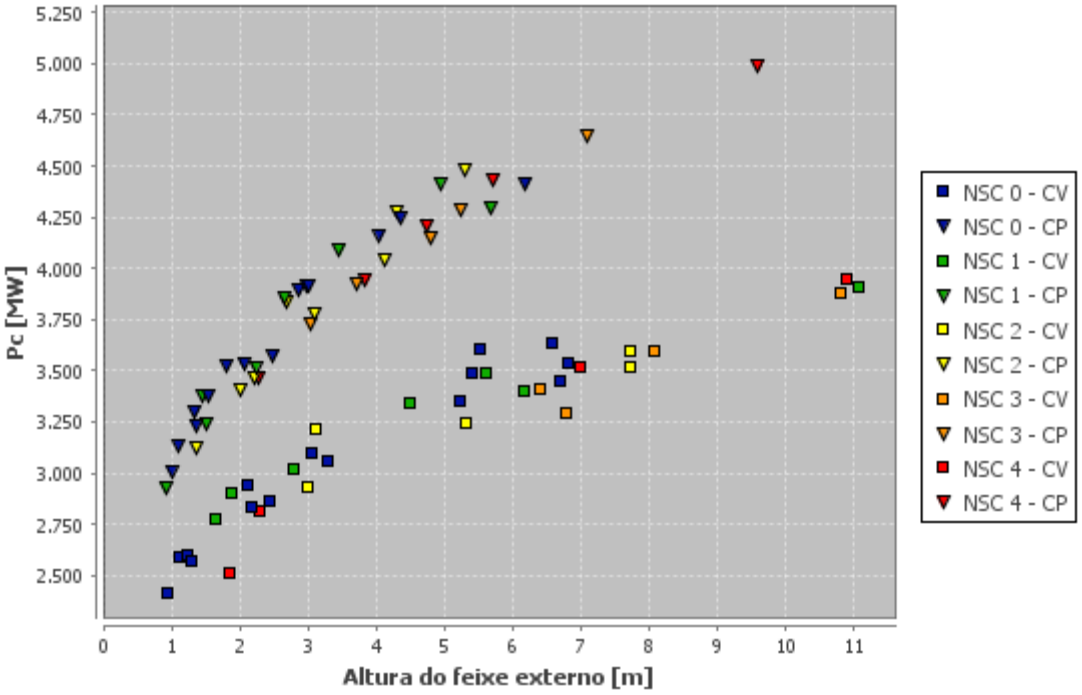

Figura 9.136: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

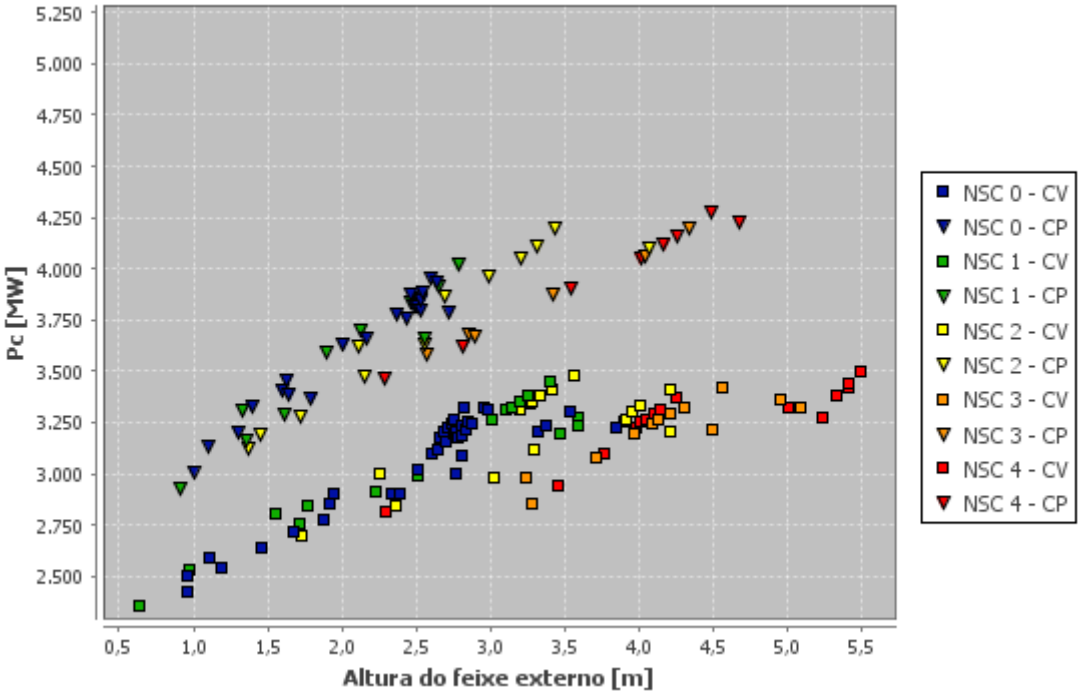

Figura 9.137: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

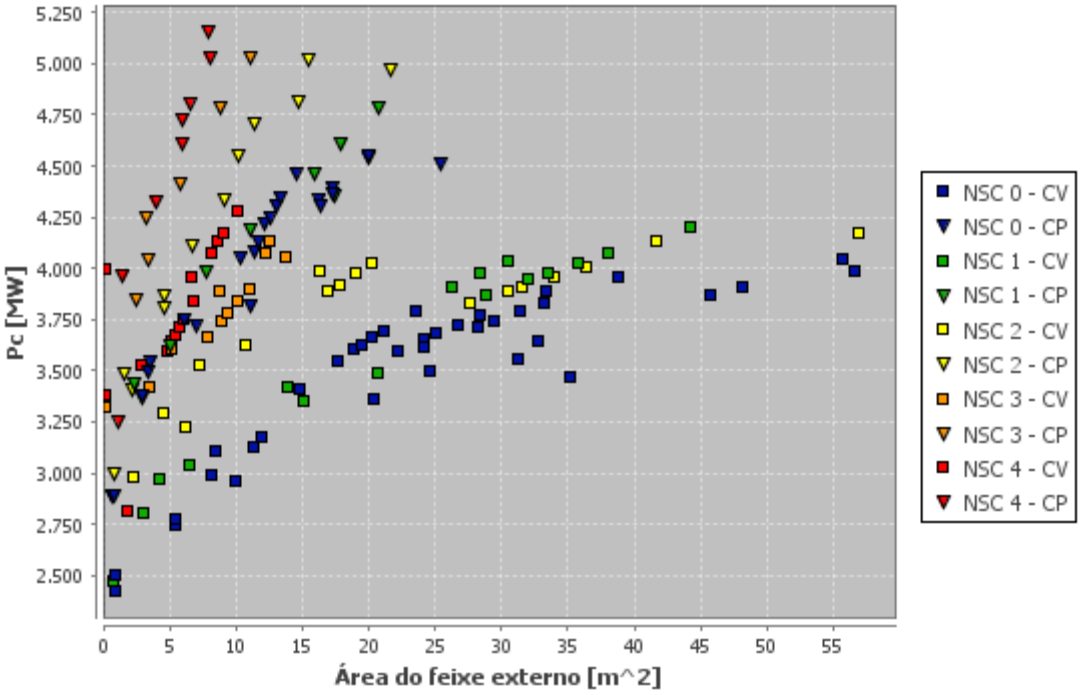

Figura 9.138: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

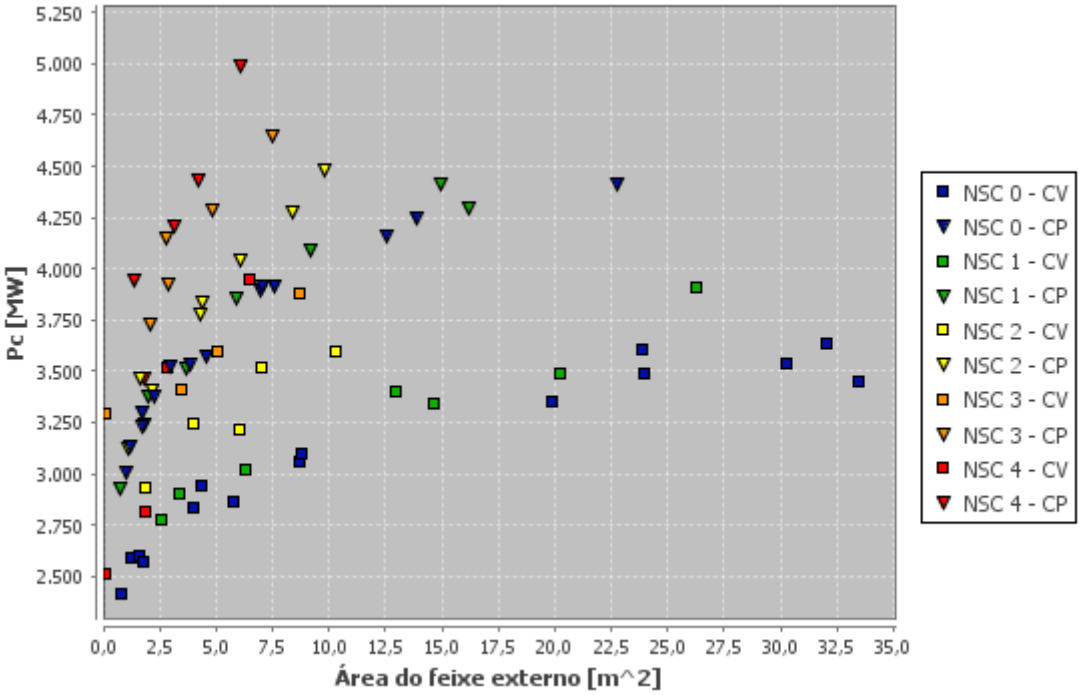

Figura 9.139: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

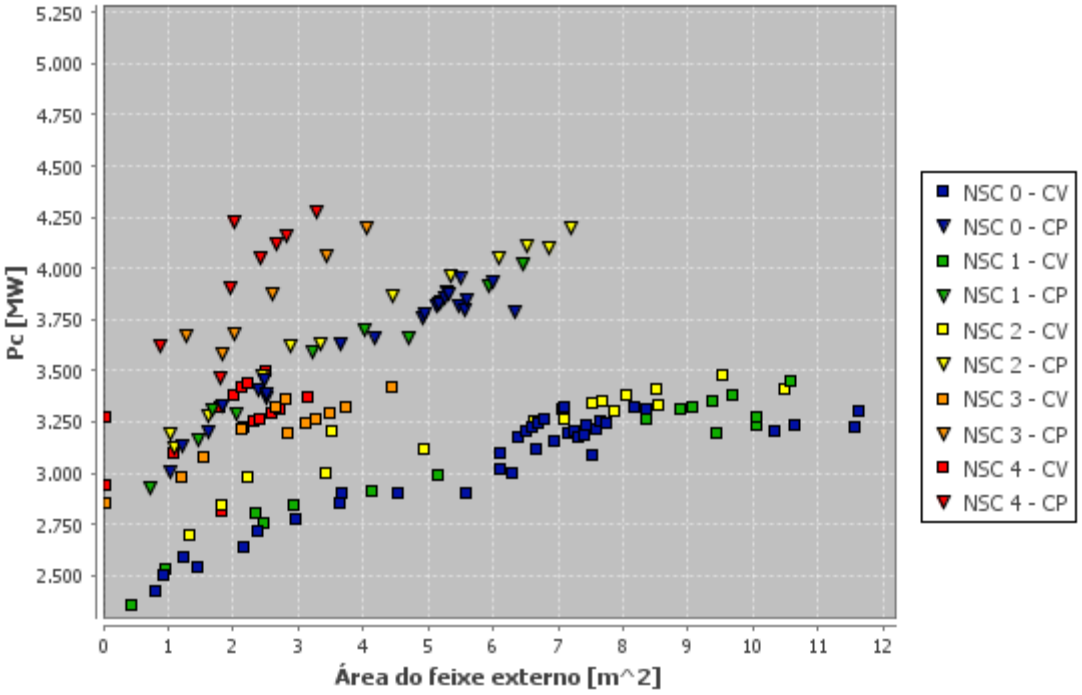

Figura 9.140: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)

CAPÍTULO 10- CONCLUSÕES

A primeira observação que pode ser feita de todo o estudo é o evidente aumento da potência característica que se pode atingir com o emprego de linhas com feixes expandidos e com espaçamento reduzido entre fases, em relação às linhas de transmissão concebidas com feixes regulares e espaçamento convencional entre os subcondutores e distância convencional entre fases. Este fato já foi observado em muitos trabalhos anteriores e inclusive é praticado atualmente no projeto de LPNEs.

Uma abordagem mais precisa, com observação de parâmetros individualizados por subcondutor, evidencia que para todo tipo de linha de transmissão, a disposição ideal (do ponto de vista eletromagnético) dos subcondutores deve ser diferente da disposição convencional. Esta será tão assimétrica quanto maior for o espaçamento entre subcondutores e será ainda mais assimétrica quando se emprega distância de isolamento compacta entre fases. Ambas as situações geram diferenças consideráveis de carregamento entre subcondutores quando dispostos de forma regular.

Por permitirem maior densidade de carga e corrente elétrica, os condutores de maior diâmetro são capazes transmitir maior potência. Além disso, quando se utilizam condutores de diâmetro maior a configuração otimizada atinge densidade de corrente menor e as perdas por efeito Joule são reduzidas. É com os condutores de maior diâmetro que é possível obter uma grande expansão dos feixes fazendo com que o carregamento se aproxime do máximo permitido pelo condutor, enquanto que com subcondutores de menor diâmetro a expansão e o consequente aumento da potência natural da linha ficam limitados.

Quando se emprega menor número de subcondutores, o parâmetro *Kc* passa a predominar e a assimetria do feixe é ainda mais acentuada. Além disso, o feixe central deve ser reduzido em relação aos externos para que a sua maior capacitância mútua seja compensada pela redução da capacitância própria.

Com muitos subcondutores, no entanto, a tendência é que o fator de irregularidade em relação a toda a linha (*Ki* . *Kc*) seja elevado, haja visto que a parcela predominante do fator *Ki* é proporcional ao número de subcondutores menos um. Além disso, com a configuração dos feixes próxima da regular, a distribuição de cargas se torna pouco uniforme. Surge então o compromisso de se utilizar o número de subcondutores que seja suficiente para atender ao nível de tensão

empregado, mas que não seja tão elevado a ponto de comprometer o aproveitamento da superfície dos condutores.

A otimização da impedância característica, apesar de alterar os feixes na direção de máxima elevação da potência característica, leva a feixes com configurações que atingem mais rapidamente a restrição do campo elétrico superficial. Isto porque a distribuição de carga se torna menos uniforme, reduzindo o aproveitamento da superfície dos condutores. Já com a otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial a configuração da linha é direcionada à uniformização do campo elétrico superficial, afastando os valores de máximo campo elétrico do valor limite. A consequência disto é que a linha otimizada com este objetivo terá normalmente maior potência característica, porém com feixes mais expandidos, do que aquela obtida na redução da impedância característica. As configurações obtidas com o objetivo de tornar o campo elétrico superficial uniforme terão também corrente elétrica distribuída mais uniformemente entre os subcondutores.

A execução do método do gradiente projetado altera bastante a trajetória desenvolvida pela otimização da reatância externa. Os subcondutores que absorveram a maior parte do carregamento ao longo do processo irrestrito têm seu campo elétrico superficial rapidamente crescente até que seja atingido o limite da restrição passando a ter sua expansão bloqueada e afetando o deslocamento dos demais subcondutores, sobretudo os mais próximos. A configuração passa então a assumir uma forma com características semelhantes àquelas observadas na otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial, ou seja, tendem à uniformização do carregamento entre os subcondutores. Como a uniformização do campo elétrico superficial é o próprio objetivo da minimização do fator de irregularidade, era esperado e foi constatado que, se os feixes tiverem capacidade suficiente para expansão, o processo irrestrito leva a resultados bastante próximos daqueles obtidos no processo restrito.

De tal abordagem é esperado que a convergência se dê na uniformidade do fator de irregularidade do campo elétrico superficial e, idealmente, fator de irregularidade unitário em todos os subcondutores.

Visto que a restrição irá limitar o máximo carregamento dos condutores, pode-se concluir que, quando não se restringe as dimensões dos feixes, a minimização dos fatores de irregularidade irá fornecer melhores opções do que a primeira. Quando as dimensões dos feixes forem uma importante limitação então pode-se preferir a minimização da reatância externa.

É possível também estabelecer formas pré-definidas para as geometrias limitando o grau de liberdade do processo através de transformações das variáveis de controle (posições dos subcondutores). A transformação aplicada no presente trabalho foi a restrição de simetria vertical dos feixes, com a geração e análise do processo de otimização partindo de configurações que empregam diferentes números de subcondutores alocados sobre o eixo de simetria vertical. Os resultados mostraram que, em geral, as configurações que possuem os subcondutores dos feixes externos todos dispostos verticalmente têm potência característica mais elevadas quando se emprega a otimização da reatância externa. Já com o processo de otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial inclui-se no grupo de configurações otimizadas com elevada potência característica aquelas que possuem dois subcondutores na parte superior e outros dois na parte inferior dos feixes externos.

O resultado do processo de otimização geralmente são formas não-convencionais, o que irá exigir o projeto de equipamentos mecânicos também não-convencionais. Avanços que requerem menor despreendimento da tecnologia atual são o dos feixes expandidos e o das linhas compactas, que já fazem parte da prática de LPNE.

É importante frisar que na prática não se busca, ou não se aceita pela maioria, uma linha com feixes muito assimétricos, mas sim uma solução intermediária, com facilidade de construção e custo razoável. Além disso, um projeto otimizado deve contemplar as possíveis alternativas para o aumento da capacidade de transmissão de potência, tais como a compensação reativa e a operação com condutores sobreaquecidos, em combinação com a otimização dos feixes, e ponderá-los através do custo associado a cada alternativa, buscando a solução economicamente ótima, podendo haver combinação das técnicas. Os custos de instalação e operação (manutenção, perdas, etc.) devem ser levantados e analisados em conjunto para que o projeto da linha de transmissão seja o mais econômico.

O estabelecimento de tecnologias que permitam a implantação de linhas com feixes não-convencionais, especialmente com feixes muito expandidos, irá permitir o melhor uso de condutores com maior diâmetro, necessários em um cenário onde se demanda a transmissão de grandes blocos de potência. A quantificação de tal melhoria foi investigada nesta pesquisa.

10.1 - TRABALHOS FUTUROS

A seguir alguns tópicos com possíveis continuações de pesquisa serão listados:

- Avaliação da influência da transposição na otimização da linha: avaliação da transposição real e da linha não transposta;
- Análise dos esforços mecânicos das estruturas propostas;
- Avaliação das sobretensões transitórias para as linhas propostas comparadas às linhas de mesmo nível de tensão;
- Definição das distâncias de isolamento das novas linhas;
- Avaliação do custo da linhas propostas.

REFERÊNCIAS

[1] Salari, J. C. *Otimização da geometria de feixes de condutores de linhas de transmissão*, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, abril de 1993.

[2] Fuchs, R. D. *Transmissão de energia elétrica: linhas aéreas*, vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora, Itajubá, Escola Federal de Engenharia, 1977.

[3] Sandell, D.H.; Shealy, A.N.; White, H.B., *Bibliography on Bundled Conductors*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.82, no.69, pp.1115-1128, dezembro de 1963.

[4] Thomas, P. H. *Calculation of the High-Tension Line*, 26th Annual Convention of the American Institute of Electrical Engineers, Frontenac, N. Y., junho de 1909.

[5] Thomas, P. H. *Output and Regulation in Long-Distance Lines*, 26th Annual Convention of the American Institute of Electrical Engineers, Frontenac, N. Y., junho de 1909.

[6] Whitehead, J. B. *System of Electrical Transmission*, U. S. Patent n°. 1.078.711, Washington, D. C., EUA, 1910.

[7] Faccioli, G. *Means for Preventing Corona Losses*, U. S. Patent n° 1.190.135, 1911.

[8] Burger, O. *Consideration of Electric Coupling Between Power Plants*, Siemens Z., vol. 2, pp. 248-61, 1922.

[9] Dwight, H. B.; Farmer, E. B. *Double Conductors for Transmission Lines*, AIEE Transactions, vol. 51, pp. 803-08, setembro de 1932.

[10] Clarke, E. *Three-Phase Multiple-Conductor Circuits*, Ibid., pp. 809-20, 1932.

[11] Markt, G.; Mengele, B. *High-Voltage AC Transmission With Bundle Conductors*, E & M, vol. 50, pp. 293-98, 1932.

[12] Markt, G.; Mengele, B. *The Economic Dimensioning of Bundle Conductors*, Ibid., vol. 53, pp. 410-14, 1935.

[13] Prest, J.; Rissone, R. F. *Bundle conductors on grid lines in England and Wales*, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, vol.114, no.12, pp.1873-1887, dezembro de 1967.

[14] Alexandrov, G. N. *Theory of Bundle Conductors*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-88, n. 6, junho de 1969.

[15] Alexandrov, G.N.; Podporkyn, G.V. *Control of the Electric Strength of Long Air Gaps*, Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on , vol.PAS-101, no.11, pp.4395-4398, novembro de 1982.

doi: 10.1109/TPAS.1982.317405
URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4111266&isnumber=4111239

[16] Dan V. V. *A Rational Choice of Bundle Conductors Configuration*, International Symposium on Electrical Insulating Materials, setembro de 1998.

[17] Gomes Jr, S. *Otimização de linhas aéreas de transmissão considerando novas concepções construtivas para os feixes de condutores*, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, novembro de 1995.

[18] Gomes Jr, S.; Portela, C. M.; Fernandes C. *Princípio e Vantagens Referentes à Utilização de LPNE's e Apresentação de Resultados Comparativos*, XIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Florianópolis, SC, Brasil, 1995.

[19] Gomes Jr, S.; Portela, C. M. *Linhas Não Convencionais Com Elevada Capacidade de Transmissão – Análise Paramétrica*, XV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 1999.

[20] Esmeraldo, P.C.V.; Gabaglia, C.P.R.; Aleksandrov, G.N.; Gerasimov, I.A.; Evdokunin, G.N. *A proposed design for the new Furnas 500 kV transmission lines-the High Surge Impedance Loading Line*, Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.14, no.1, pp.278-286, janeiro de 1999.

[21] Amon, J. F.; Gabaglia, C. P. R.; Izycki, M. J.; Tavares, G.; Menezes, R. C. R.; Riera, J. D.; Oliveira, T. T.; Rigueira, A. S.; Dart, F. C.; Silva, J. B. G. F.; Carvalho, M.; Ferreira, L. F. *Otimização de Linha de Transmissão não Convencional de Alta Capacidade em 500 kV*, V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), Belém, PA, Brasil, 22 a 24 de junho de 2009.

[22] Amon, J. F.; Gabaglia, C. P. R.; Izycki, M. J.; Tavares, G.; Menezes, R. C. R.; Riera, J. D.; Oliveira, T. T.; Rigueira, A. S.; Dart, F. C.; Silva, J. B. G. F.; Carvalho, M.; Ferreira, L. F. *Otimização de Linha de Transmissão não Convencional de Alta Capacidade em 500 kV*, XIII ERIAC, Décimo Tercer Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRÉ, Puerto Iguazú, Argentina, 24 a 28 de maio de 2009.

[23] Regis Jr, O.; Dart, F. C.; Cruz, A. L. P. *Avaliação Comparativa das Concepções de Linhas de Potência Natural Elevada em 500 KV Utilizadas no Brasil*, XIII ERIAC, Décimo Tercer Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRÉ, Puerto Iguazú, Argentina, 24 a 28 de maio de 2009.

[24] Leelachanachaipong, S.; Seagar, A.; Nilboworn, S. *Accurate Calculations of Equivalent Diameter for Bundled Three Phase Transmission Lines*, Dept of Electrical Engineering/Telecommunication Rajamangala, University of Technology Srivijaya, Muang Songkhla, Tailândia, 2009.

[25] West, H. J.; Courts, A. L. *Current Distribution Within Asymmetrical UHV Bundles: A Laboratory Confirmation of Analytical Studies*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-95, n. 4, agosto de 1976.

[26] Yu, Y. M. L. *Multiconductor Analysis: Part I - A Study of the Characteristics of EHV Bundled Conductor Transmission Lines*, IEEE Summer Meeting and International Symposium on High Power Testing, Portland, Ore., julho de 1971.

[27] Gabrielle, A. F.; Marchenko, P. P.; Vassell, G. S. *Electrical Constants and Relative Capabilities of Bundled-Conductor Transmission Lines*, IEEE Winter General Meeting, New York, EUA, fevereiro de 1963.

[28] Wei-Gang, H. *Study on Conductor Configuration of 500-kV Chang-Fang Compact Line*, IEEE Transactions on Power Delivery, v. 18, n. 3, julho de 2003.

[29] Subba Rao V. S. *Balancing bundle-conductor transmission-line constants without transpositions*, Proc. IEE, v. 112, n. 5, maio de 1965.

[30] Prest, J.; Rissone, R. F. *Bundle conductors on Grid lines in England and Wales*, Proc. IEE, v. 114, n. 12, dezembro de 1967.

[31] Alexandrov, G.N.; Podporkyn, G.V.; Shevchenko, S.Yu. "*A method for calculating the breakdown voltages of long air gaps in transmission lines: evaluation of the lightning performance of transmission lines using no shield wire*," Properties and Applications of Dielectric Materials, 1988. Proceedings of, Second International Conference on Properties and Applications, vol., no., pp.160-163 vol.1, 12-16 setembro de 1988.
doi: 10.1109/ICPADM.1988.38358
URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=38358&isnumber=1534

[32] Podporkyn, G.V.; , "*Calculating the switching surge critical flashover voltage of phase-to-ground and phase-to-phase bundle conductor gaps*," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.10, no.1, pp.365-373, janeiro de 1995.
doi: 10.1109/61.368377
URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=368377&isnumber=8435

[33] Rizk, F.A.M. *Critical switching impulse breakdown of long bundle-conductor gaps*, Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.11, no.1, pp.373-383, janeiro de 1996.
doi: 10.1109/61.484037
URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=484037&isnumber=10255

[34] Alexandrov, G.N.; Podporkyn, G.V.; Menemenlis, H.; , "*Further Improvement of the Critical Charge Method for the Theoretical Evaluation of the Breakdown Voltage of Conductor Bundle-To-Plane Gaps*," Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on , vol.PAS-99, no.2, pp.687-694, março de 1980.
doi: 10.1109/TPAS.1980.319660
URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4113853&isnumber=4113815

[35] Salari, J.C.; Mpalantinos, A.; Silva, J.I., "*Comparative Analysis of 2- and 3-D Methods for Computing Electric and Magnetic Fields Generated by Overhead Transmission Lines,*" Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.24, no.1, pp.338,344, janeiro de 2009.

doi: 10.1109/TPWRD.2008.923409
URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4518925&isnumber=4729794

[36] Lu, T.; Xiong, G.; Cui, X.; Rao, H.; Wang, Q. *Analysis of Corona Onset Electric Field Considering the Effect of Space Charges*, 14th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation, Chicago, IL, EUA, maio de 2010.

[37] Reichman, J. *Bundled Conductor Voltage Gradient Calculations*, AIEE Winter General Meeting, New York, N. Y., fevereiro de 1959.

[38] Thanassoulis, P.; Comsa, R. P. *Calculation of Maximum Voltage Gradients, Part I: Bundle Conductors*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-90, n. 1, fevereiro de 1971.

[39] Timascheff, A. S. *Equigradient Lines in the Vicinity of Bundle Conductors*, AIEE Fall General Meeting, Chicago, Ill., EUA, outubro de 1962.

[40] Huang, D.; Ruan, J.; Huo, F. *Study on the Electromagnetic Environment of 1000 kV AC Double-Circuit Transmission Lines in China*, Power Systems Conference and Exposition, março de 2009.

[41] Dong-il Lee; Koo-yong Shin; Seong-doo Lee *Technique to decrease the electric field intensity on conductor surface using the asymmetrical-sized conductor bundle*, Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES , abril de 2008.

[42] Miller, C. J. *The Calculation of Radio and Corona Characteristics of Transmission-Line Conductors*, *Power Apparatus and Systems, Part III.* Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, vol.76, no.3, pp.461-472, abril de 1957.

[43] King, S.-Y. *The electric field near bundle conductors*, Proceedings of the IEE - Part C: Monographs, vol.106, no.10, pp.200-206, setembro de 1959.

[44] Portela, C. M. *Um Sistema Computacional de Otimização de Linhas de Transmissão Não Convencionais*, XIV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belém, PA, Brasil, 1997.

[45] Eghbal, M.; Saha, T.K.; Nguyen, M.H.; , *Optimal voltage level and line bundling for transmission lines*, Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2010 20th Australasian , vol., no., pp.1-6, 5-8, dezembro de 2010.

[46] Ma Wei-ming. *The power characteristic of 500 kV large power compact over head transmission line*, TENCON '93. Proceedings on, Computer, Communication, Control and Power Engineering.1993 IEEE Region 10 Conference, vol., no.0, pp.461-463 vol.5, 19-21 outubro de 1993.

[47] Kron, G. *Tensors for Circuits*, Dover Publications Inc., New York, 1959.

[48] Southwire Company; *ACSR - Aluminum Conductor. Steel Reinforced Bare*, Catálogo, Carrollton, Ga. 30119, editado em 19 de abril de 2012, acessado em 4 de junho de 2012. URL: http://www.southwire.com/products/ProductCatalog.htm.

[49] Carson, J. R. *Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return*, Bell System Technical Journal, pp 539-554, outubro de 1926.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CÁLCULO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

A.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar as formulações para cálculo da impedância longitudinal e da capacitância transversal de uma linha de transmissão aérea.

Inicialmente é apresentada a formulação da impedância longitudinal da linha composta por: impedância interna, resultante da resistência elétrica e do fluxo magnético concatenado no interior do condutor; e indutância externa, resultante do fluxo magnético concatenado no exterior do condutor. À indutância externa será acrescida a contribuição do efeito do solo com condutividade finita. Ao analisar o efeito da indutância interna vemos que ocorre a concentração de corrente elétrica na superfície do condutor quando conduzindo corrente alternada. Esse efeito resulta na redução do aproveitamento da área efetiva de condução e, consequentemente, no aumento da resistência elétrica. Tal fenômeno é chamado de efeito pelicular. A indutância mútua é formulada a partir do fluxo magnético concatenado entre dois condutores.

Em seguida será apresentada a capacitância de um condutor. A esta capacitância será adicionado o efeito da presença do solo ideal, resultando na chamada capacitância própria do condutor. A capacitância mútua é obtida pelo equacionamento do campo elétrico entre dois condutores.

A condutância de dispersão e a condutância devida ao efeito coroa não serão objetos de estudo.

Para simplificar os cálculos são adotadas as seguintes aproximações, salvo quando especificado o contrário:

- Os condutores são considerados cilindros perfeitos, infinitamente longos e paralelos entre si e ao solo;
- No cálculo da reatância externa o solo é considerado um plano infinito e condutor ideal, com permeabilidade magnética igual à do vácuo ($\mu = \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}\ H/m$);
- No cálculo da contribuição na impedância longitudinal do solo, ele é considerado um plano infinito com condutividade finita;

A.2 - IMPEDÂNCIA INTERNA

Este tópico trata da impedância interna de um condutor cilíndrico conduzindo corrente alternada. Pelas distâncias envolvidas e o raio do condutor pode-se considerar que o condutor se encontra muito afastado dos demais condutores e do solo. A formulação é feita relacionando o fluxo magnético transversal com o campo elétrico longitudinal em seu interior.

Os condutores encordoados podem ser construídos com alma de aço ou liga metálica, cuja função é de sustentação mecânica. Tais materiais têm resistividade elétrica elevada se comparada à do alumínio, comumente empregado como material condutor. Portanto, a corrente elétrica que passa pelo material de sustentação mecânica será desprezada. Sendo assim, para o cálculo da condução de corrente considera-se que o condutor é um cilindro oco, com raio externo igual ao raio do condutor e raio interno igual ao raio do material de sustentação.

A Figura A.1 mostra as dimensões do condutor, o campo elétrico e o campo magnético presentes no interior do condutor quando há condução de corrente elétrica. O raio externo está representado por r_1 e o raio interno está representado por r_0.

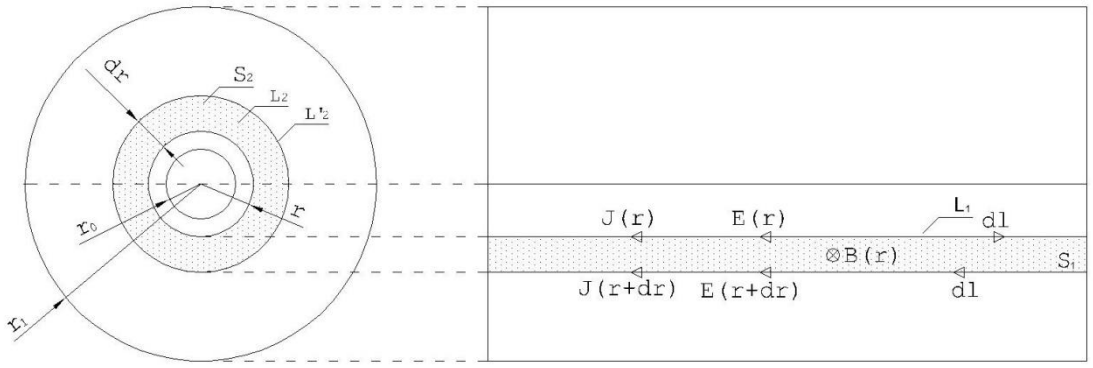

Figura A.1 - Dimensões representadas nos cortes transversal e longitudinal do condutor cilíndrico.

À distância r do centro do condutor estão representados:

$H(r)$: intensidade de campo magnético.

$E(r)$: intensidade de campo elétrico.

A região demarcada entre r e $r+dr$ forma um cilindro oco de espessura dr. O corte transversal deste cilindro tem seção dada pela região S_2. O corte longitudinal do cilindro forma a região S_1.

Seja L_1 a curva que encerra a região S_1, aplicando a Lei de Lenz sobre a região S_1 temos:

$$\oint_{L_1} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -j \cdot \omega \cdot \oint_{S_1} \vec{B} \cdot d\vec{s} \qquad \textbf{(A.1)}$$

Em uma extensão do condutor com comprimento de dimensão unitária temos, para o campo elétrico:

$$\oint_{L_1} \vec{E} \cdot d\vec{l} = E(r+dr) - E(r) \qquad \textbf{(A.2)}$$

E para o campo magnético:

$$\oint_{S_1} \vec{B} \cdot d\vec{s} = -B(r) \cdot dr \qquad \textbf{(A.3)}$$

Resultando na relação:

$$E(r+dr) - E(r) = j \cdot \omega \cdot B(r) \cdot dr \qquad \textbf{(A.4)}$$

Substituindo a permeabilidade magnética do condutor μ e rearranjando a equação tem-se:

$$\frac{E(r+dr) - E(r)}{dr} = j \cdot \omega \cdot \mu \cdot H(r) \qquad \textbf{(A.5)}$$

Assumindo $dr \to 0$ tem-se:

$$\frac{\partial E(r)}{\partial r} = j \cdot \omega \cdot \mu \cdot H(r) \qquad \textbf{(A.6)}$$

Isolando $H(r)$ na equação:

$$H(r) = -\frac{j}{\omega \cdot \mu} \frac{\partial E(r)}{\partial r} \qquad \textbf{(A.7)}$$

Da Lei de Ampère podemos afirmar que a diferença entre a corrente elétrica encerrada pela curva $L_2^{'}$ e aquela encerrada pela curva L_2 resulta na corrente que passa pela região S_2, algebricamente:

$$\oint_{L_2^{'}} \vec{H} \cdot d\vec{l} - \oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_{S_2} \vec{J} \cdot d\vec{s} \qquad \textbf{(A.8)}$$

O campo magnético sobre a curva L_2 é constante, resultando em:

$$\oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H(r) \qquad \textbf{(A.9)}$$

E sobre a curva $L_2^{'}$:

$$\oint_{L_2^{'}} \vec{H} \cdot d\vec{l} = 2 \cdot \pi \cdot (r + dr) \cdot H(r + dr) \qquad \textbf{(A.10)}$$

Assumindo a densidade de corrente constante sobre a região S_2 e voltando a (A.8), para $dr << r$, temos:

$$2 \cdot \pi \cdot (r + dr) \cdot H(r + dr) - 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H(r) = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot J(r) \qquad \textbf{(A.11)}$$

Que pode ser reescrita na forma:

$$r \cdot \frac{H(r+dr) - H(r)}{dr} + H(r+dr) = r \cdot J(r) \qquad \textbf{(A.12)}$$

E para $dr \to 0$:

$$r \cdot \frac{\partial H(r)}{\partial r} + H(r) = r \cdot J(r) \qquad \textbf{(A.13)}$$

A densidade de corrente $J(r)$ pode então ser escrita em função do campo elétrico e da condutividade do material condutor, σ:

$$r \cdot \frac{\partial H(r)}{\partial r} + H(r) = r \cdot \sigma \cdot E(r) \qquad \textbf{(A.14)}$$

E substituindo (A.7) em (A.14) resulta na equação diferencial:

$$-\frac{j}{\omega \cdot \mu} \cdot \left[r \cdot \frac{\partial^2 E(r)}{\partial r^2} + \frac{\partial E(r)}{\partial r} \right] - r \cdot \sigma \cdot E(r) = 0 \qquad \textbf{(A.15)}$$

Que pode ser reescrita como:

$$r \cdot \frac{\partial^2 E(r)}{\partial r^2} + \frac{\partial E(r)}{\partial r} - j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma \cdot r \cdot E(r) = 0 \qquad \textbf{(A.16)}$$

Seja $\rho = r \cdot \sqrt{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma}$, podemos reescrever a equação diferencial na forma:

$$\rho^2 \cdot \frac{d^2 E}{d\rho^2} + \rho \cdot \frac{dE}{d\rho} - \rho^2 \cdot E = 0 \qquad \textbf{(A.17)}$$

Cuja solução é dada por:

$$E(\rho) = C_1 \cdot I_0(\rho) + C_2 \cdot K_0(\rho) \tag{A.18}$$

Onde I_0 e K_0 são funções de Bessel modificadas de primeira e segunda ordem, respectivamente.

Voltando à expressão para o campo magnético, obtida em (A.7):

$$H(r) = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot \mu} \cdot \frac{\partial E(r)}{\partial r} \tag{A.19}$$

E substituindo o campo elétrico obtido em (A.18) chega-se a:

$$H(\rho) = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot \mu} \cdot \left[C_1 \cdot I_1(\rho) - C_2 \cdot K_1(\rho)\right] \cdot \frac{d\rho}{dr} \tag{A.20}$$

Substituindo a derivada de ρ em relação a r temos:

$$H(\rho) = \sqrt{\frac{\sigma}{j \cdot \omega \cdot \mu}} \cdot \left[C_1 \cdot I_1(\rho) - C_2 \cdot K_1(\rho)\right] \tag{A.21}$$

Sendo o campo magnético nulo para $r = r_0$, ou seja, para

$$\rho_0 = r_0 \cdot \sqrt{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma} \tag{A.22}$$

Tem-se:

$$H(\rho_0) = \sqrt{\frac{\sigma}{j \cdot \omega \cdot \mu}} \cdot \left[C_1 \cdot I_1(\rho_0) - C_2 \cdot K_1(\rho_0)\right] = 0 \tag{A.23}$$

Portanto:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{K_1(\rho_0)}{I_1(\rho_0)} \tag{A.24}$$

A corrente total conduzida pode ser calculada pela Lei de Ampère sobre a curva que encerra toda a seção do condutor, ou seja, a circunferência de raio r_1 cujo centro coincide com o centro do condutor. Seja:

$$\rho_1 = r_1 \cdot \sqrt{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma} \tag{A.25}$$

Teremos então que:

$$I = \oint_L H(\rho_1) \cdot d\vec{l} \tag{A.26}$$

O campo magnético é constante sobre a curva L, resultando em:

$$I = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot H(\rho_1) \tag{A.27}$$

Substituindo nesta equação, o campo magnético obtido na (A.21) tem-se:

$$I = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{j \cdot \omega \cdot \mu}} \cdot [C_1 \cdot I_1(\rho_1) - C_2 \cdot K_1(\rho_1)] \tag{A.28}$$

Da (A.18) podemos calcular o campo elétrico sobre a superfície do condutor:

$$E(\rho_1) = C_1 \cdot I_0(\rho_1) + C_2 \cdot K_0(\rho_1) \tag{A.29}$$

A relação entre o campo elétrico longitudinal na superfície exterior do condutor e a corrente I será a impedância interna do condutor por unidade de comprimento, representada por Z_{int}.

$$Z_{\text{int}} = R_{\text{int}} + j \cdot X_{\text{int}} = \frac{C_1 \cdot I_0(\rho_1) + C_2 \cdot K_0(\rho_1)}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{j \cdot \omega \cdot \mu}} \cdot [C_1 \cdot I_1(\rho_1) - C_2 \cdot K_1(\rho_1)]} \qquad \textbf{(A.30)}$$

Substituindo a (A.24) e simplificando temos a expressão que representa uma das possíveis definições da impedância interna do condutor:

$$Z_{\text{int}} = R_{\text{int}} + j \cdot X_{\text{int}} = \sqrt{\frac{j \cdot \omega \cdot \mu}{\sigma}} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1} \cdot \frac{I_0(\rho_1) \cdot K_1(\rho_0) + K_0(\rho_1) \cdot I_1(\rho_0)}{I_1(\rho_1) \cdot K_1(\rho_0) - I_1(\rho_0) \cdot K_1(\rho_1)} \qquad \textbf{(A.31)}$$

A.3 - REATÂNCIA EXTERNA

Seja um condutor cilíndrico ideal (de condutividade infinita) de comprimento infinito, cujo corte transversal está representado na Figura A.2. Considere que o condutor esteja conduzindo uma corrente elétrica *I*. Aplicando a Lei de Ampère sobre a curva fechada *L* que encerra o condutor tem-se:

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = I \qquad \textbf{(A.32)}$$

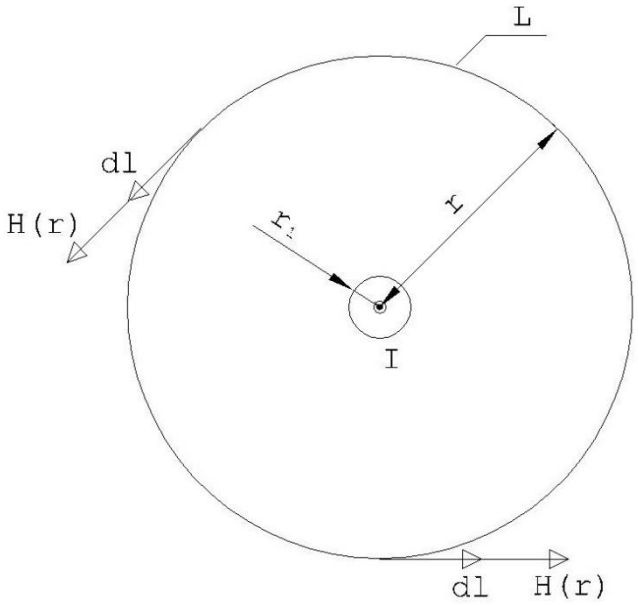

Figura A.2 - Campo magnético gerado em torno do condutor.

Se *L* é uma curva circular de raio *r* concêntrica com o condutor então a intensidade do campo magnético em *L* será constante e dada por:

$$H(r) = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \tag{A.33}$$

Como consequência direta a densidade de fluxo magnético vale:

$$B(r) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \tag{A.34}$$

O fluxo magnético por unidade de comprimento no interior do anel de raio *r* e espessura $dr \to 0$, mostrado na Figura A.3, será dado por:

$$d\varphi = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot dr \tag{A.35}$$

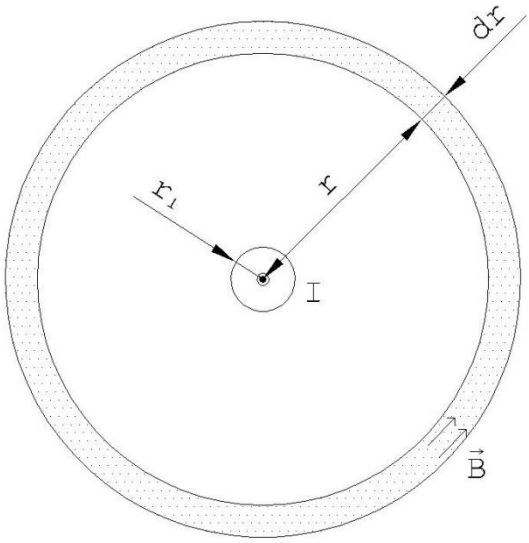

Figura A.3 - Campo magnético no corte transversal de um condutor cilíndrico.

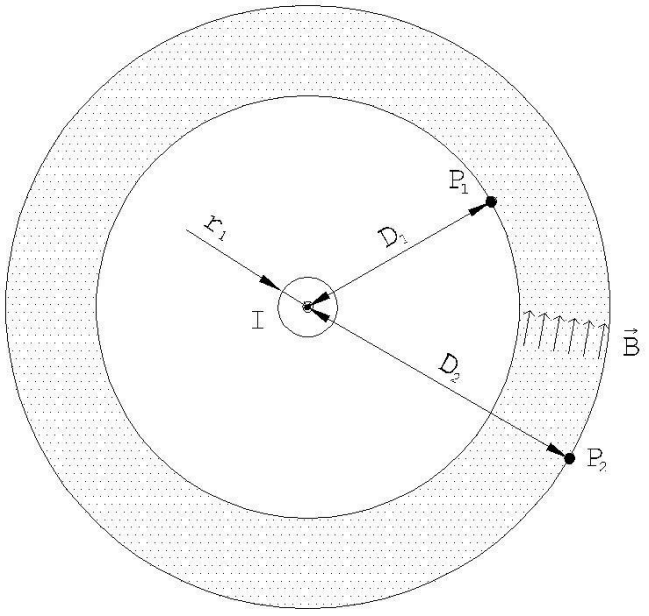

Figura A.4 - Indutância entre dois pontos no corte transversal de um condutor cilíndrico.

O fluxo magnético total por unidade de comprimento do cabo, entre dois pontos quaisquer externos ao condutor, P_1 e P_2, mostrados na Figura A.4, será:

$$\varphi_{1,2} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot dr = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{D_1}^{D_2} \frac{1}{r} \cdot dr \qquad \textbf{(A.36)}$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(r)\Big|_{D_1}^{D_2} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right) \quad \textbf{(A.37)}$$

A razão entre o fluxo magnético por unidade de comprimento induzido e a corrente elétrica no condutor fornece a indutância por unidade de comprimento do condutor entre os pontos P_1 e P_2, dada por:

$$L_{1,2} = \frac{\varphi_{1,2}}{I} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right) \quad \textbf{(A.38)}$$

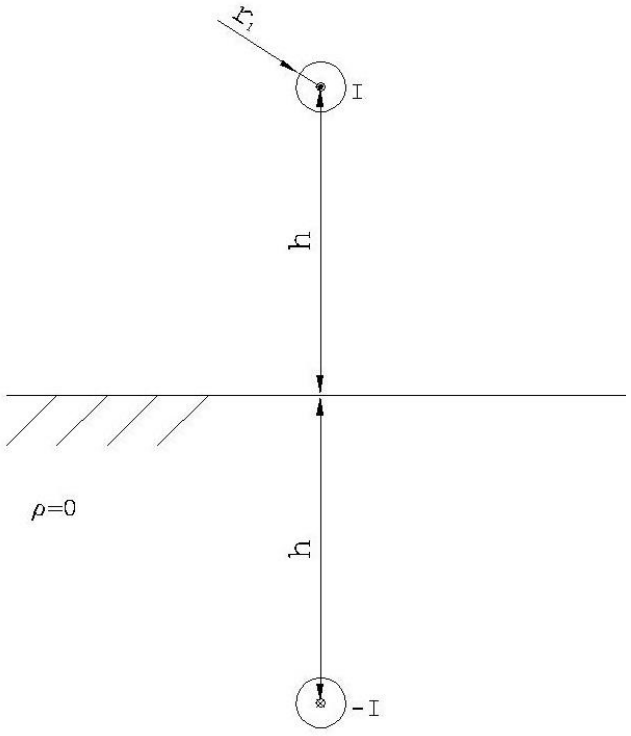

Figura A.5 - Condutor cilíndrico conduzindo corrente *I* sobre o solo ideal. A imagem representa o retorno da corrente pelo solo.

Considere que o condutor esteja disposto paralelamente sobre o solo e, supondo o solo como um plano infinito e condutor ideal, este terá em si uma corrente induzida que pode ser representada pela a imagem do condutor, ou seja, cuja distância abaixo do solo é igual à altura do condutor em relação ao solo e cuja corrente tem sentido oposto àquela do condutor. Esta configuração é mostrada na Figura A.5. A indutância entre o condutor e o solo, chamada de

indutância própria do condutor, pode ser calculada em função da soma do fluxo magnético provocado pelo condutor e o fluxo magnético provocado pela imagem do condutor, resultando em:

$$L = L_{r_1,solo}^{(i)} + L_{r_1,solo}^{(i')} = \frac{\varphi_{r_1,solo}^{(i)}}{I} - \frac{\varphi_{r_1,solo}^{(i')}}{I} \quad \textbf{(A.39)}$$

Ou seja, a indutância por unidade de comprimento será:

$$L = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{h}{r_1}\right) - \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{h}{2 \cdot h}\right) \quad \textbf{(A.40)}$$

Simplificando a equação chegamos a:

$$L = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{r_1}\right) \quad \textbf{(A.41)}$$

E a reatância externa própria por unidade de comprimento do condutor será:

$$X_{ext} = j \cdot \omega \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{r_1}\right) \quad \textbf{(A.42)}$$

A.4 - REATÂNCIA EXTERNA MÚTUA

Estendendo a formulação de indutância entre dois pontos pode-se determinar a indutância entre dois condutores. Assim como na seção anterior, os dois condutores são considerados cilindros infinitos dispostos paralelamente sobre o solo (plano e condutor infinito). Tal configuração é mostrada na Figura A.6.

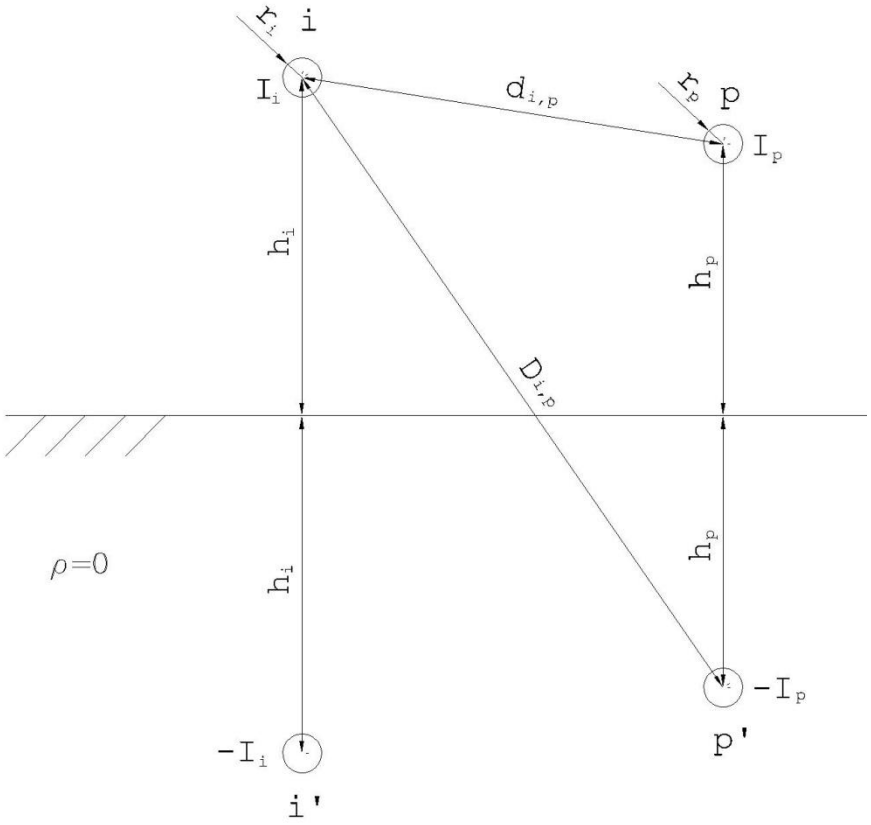

Figura A.6 - Dois condutores conduzindo corrente sobre o solo ideal. As imagens representam o retorno das correntes pelo solo.

A indutância entre os dois condutores será a razão entre o fluxo magnético induzido entre eles e a corrente que passa pelo condutor. A esta indutância é acrescentado o efeito da presença do solo, como um plano infinito condutor ideal. Tal efeito é representado pelas imagens dos condutores. Note que, assumindo I_i e I_p com mesmo sentido, o fluxo magnético provocado pela corrente I_p tem sentido contrário ao fluxo magnético provocado pela corrente I_i. Além disso, a corrente que passa pela imagem do condutor p irá provocar um fluxo magnético de mesmo sentido que aquele provocado pela corrente I_i.

Tomando o condutor i como referência tem-se:

$$L_{i,p} = L^{(p)}_{r_i,d_{i,p}} + L^{(p')}_{r_i,D_{i,p}} = -\frac{\varphi^{(p)}_{r_i,d_{i,p}}}{I_p} + \frac{\varphi^{(p')}_{r_i,D_{i,p}}}{I_p} \qquad \textbf{(A.43)}$$

Aplicando a formulação da indutância por unidade de comprimento entre dois pontos, dada por (A.38) tem-se:

$$L_{i,p} = -\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\ln\left(\frac{d_{i,p}}{r_i}\right)+\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\ln\left(\frac{D_{i,p}}{r_i}\right) \quad \textbf{(A.44)}$$

$$L_{i,p} = \frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}}\right) \quad \textbf{(A.45)}$$

A reatância externa mútua por unidade de comprimento entre eles será:

$$X_{ext\ i,p} = j\cdot\omega\cdot\frac{\mu_0}{2\cdot\pi}\cdot\ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}}\right) \quad \textbf{(A.46)}$$

A.5 - IMPEDÂNCIA DEVIDO AO EFEITO DO SOLO REAL

A reatância externa foi calculada considerando-se que o solo possui condutividade elétrica infinita e permissividade elétrica nula. Carson [49] reduziu esta simplificação ao adotar em sua formulação um solo com condutividade elétrica finita e uniforme, adicionando o termo de correção à impedância longitudinal entre os condutores *i* e *p*, definido por:

$$Z_{solo\ i,p} = \frac{\mu_0}{\pi}\cdot\omega\cdot\int_0^{\infty}\left(\sqrt{\xi^2+j}-\xi\right)\cdot e^{-\left(h_i^{'}+h_p^{'}\right)\xi}\cdot\cos\left(y_{i,p}^{'}\cdot\xi\right)\cdot d\xi \quad \textbf{(A.47)}$$

Onde:

$$h_i^{'} = h_i\cdot\sqrt{\alpha} \quad \textbf{(A.48)}$$

$$h_p^{'} = h_p\cdot\sqrt{\alpha} \quad \textbf{(A.49)}$$

$$y'_{i,p} = y_{i,p} \cdot \sqrt{\alpha} \tag{A.50}$$

Sendo:

$$\alpha = \frac{\mu_0 \cdot \omega}{\rho} \tag{A.51}$$

Onde ρ é a resistividade do solo em $\Omega \cdot m$.

A impedância devido ao efeito do solo pode ser reduzida à expressão:

$$Z_{solo\ i,p} = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \omega \cdot J\left(h'_i + h'_p, y'_{i,p}\right) \tag{A.52}$$

Onde:

$$J(\eta,\zeta) = \int_0^{\infty} \left(\sqrt{\xi^2 + j} - \xi\right) \cdot e^{-\eta \cdot \xi} \cdot \cos(\zeta \cdot \xi) \cdot d\xi \tag{A.53}$$

Seja:

$$\delta = \sqrt{\eta^2 + \zeta^2} \tag{A.54}$$

$$\theta = a\tan\left(\frac{\zeta}{\eta}\right) \tag{A.55}$$

O ângulo θ representa o ângulo formado, no corte transversal representado na Figura A.7, entre a linha vertical que passa pelo condutor *i* e a linha que cruza o condutor *i* e a imagem do condutor *p* e δ a distância entre o condutor *i* e a imagem do condutor *p*.

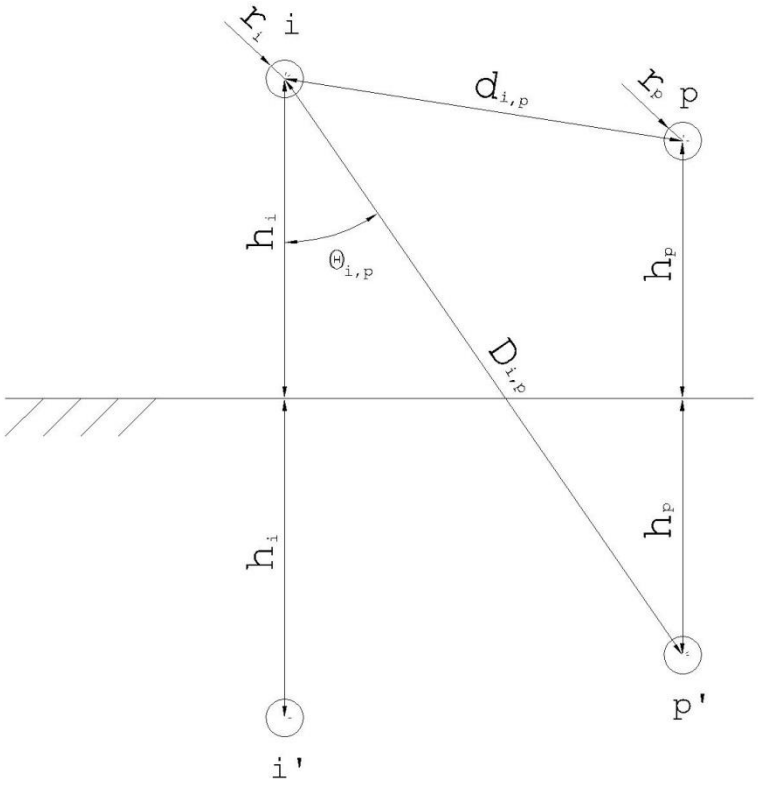

Figura A.7 - Condutores i e p sobre o solo.

Representando a função J na forma complexa:

$$J = P + j \cdot Q \tag{A.56}$$

Onde P e Q são funções séries de termos função de δ e θ [49].

$$P = \frac{\pi}{8} \cdot (1 - s_4) + \frac{1}{2} \cdot \left(\ln \frac{2}{\delta} - \gamma \right) \cdot s_2 + \frac{1}{2} \cdot \theta \cdot s_2' - \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_1 + \frac{1}{2} \cdot \sigma_2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_3 \tag{A.57}$$

$$Q = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \cdot \left(\ln \frac{2}{\delta} - \gamma \right) \cdot (1 - s_4) - \frac{1}{2} \cdot \theta \cdot s_4' + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_1 - \frac{\pi}{8} \cdot s_2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_3 - \frac{1}{2} \cdot \sigma_4 \tag{A.58}$$

Onde:

$$\gamma \cong 0{,}577215566490153286... \text{ (constante de Euler)} \tag{A.59}$$

$$s_2 = \frac{1}{1!\cdot 2!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \cdot \cos(2\cdot\theta) - \frac{1}{3!\cdot 4!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^6 \cdot \cos(6\cdot\theta) + ... \tag{A.60}$$

$$s_2^{'} = \frac{1}{1!\cdot 2!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \cdot sen(2\cdot\theta) - \frac{1}{3!\cdot 4!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^6 \cdot sen(6\cdot\theta) + ... \tag{A.61}$$

$$s_4 = \frac{1}{2!\cdot 3!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^4 \cdot \cos(4\cdot\theta) - \frac{1}{4!\cdot 5!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^8 \cdot \cos(8\cdot\theta) + ... \tag{A.62}$$

$$s_4^{'} = \frac{1}{2!\cdot 3!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^4 \cdot sen(4\cdot\theta) - \frac{1}{4!\cdot 5!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^8 \cdot sen(8\cdot\theta) + ... \tag{A.63}$$

$$\sigma_1 = \frac{\delta\cdot\cos(\theta)}{3} - \frac{\delta^5\cdot\cos(5\cdot\theta)}{3^2\cdot 5^2\cdot 7} + \frac{\delta^9\cdot\cos(9\cdot\theta)}{3^2\cdot 5^2\cdot 7^2\cdot 9^2\cdot 11} - ... \tag{A.64}$$

$$\sigma_2 = \left(1+\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\right)\cdot\frac{1}{1!\cdot 2!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^2\cdot\cos(2\cdot\theta) - \left(1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}-\frac{1}{8}\right)\cdot\frac{1}{3!\cdot 4!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^6\cdot\cos(6\cdot\theta)+... \tag{A.65}$$

$$\sigma_4 = \left(1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}-\frac{1}{6}\right)\cdot\frac{1}{2!\cdot 3!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^4\cdot\cos(4\cdot\theta) - \left(1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}-\frac{1}{10}\right)\cdot\frac{1}{4!\cdot 5!}\cdot\left(\frac{\delta}{2}\right)^8\cdot\cos(8\cdot\theta)+... \tag{A.66}$$

As séries anteriores são rapidamente convergentes.

Para $\delta \le \frac{1}{4}$ obtêm-se as expressões aproximadas:

$$P = \frac{\pi}{8} - \frac{1}{3\cdot\sqrt{2}}\cdot\delta\cdot\cos(\theta) + \frac{\delta^2}{16}\cdot\cos(2\cdot\theta)\cdot\left(0{,}6728+\ln\frac{2}{\delta}\right) + \frac{\delta^2}{16}\cdot\theta\cdot sen(2\cdot\theta) \tag{A.67}$$

$$Q = -0{,}0386 + \frac{1}{2} \cdot \ln\frac{2}{\delta} + \frac{1}{3 \cdot \sqrt{2}} \cdot \delta \cdot \cos(\theta) \tag{A.68}$$

Para $\delta > 5$ podem usar-se as seguintes expressões aproximadas:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(\theta)}{\delta} - \frac{\cos(2 \cdot \theta)}{\delta^2} + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(3 \cdot \theta)}{\delta^3} + \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(5 \cdot \theta)}{\delta^5} + \frac{5}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(7 \cdot \theta)}{\delta^7} + \ldots \tag{A.69}$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(\theta)}{\delta} - \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(3 \cdot \theta)}{\delta^3} + \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(5 \cdot \theta)}{\delta^5} - \frac{5}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(7 \cdot \theta)}{\delta^7} + \ldots \tag{A.70}$$

E para $\delta > 10$ as expressões:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(\theta)}{\delta} - \frac{\cos(\theta)}{\delta^2} \tag{A.71}$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(\theta)}{\delta} \tag{A.72}$$

A.6 - ADMITÂNCIA TRANSVERSAL

Seja um condutor cilíndrico infinito submetido à tensão *V*. Este condutor estará carregado com uma densidade linear de carga q ao longo de sua extensão. A carga do condutor tem distribuição sobre sua superfície, no entanto, considerar que a carga esteja localizada no centro do condutor não nos leva a uma aproximação grosseira. Esta carga irá gerar um campo elétrico radial $\vec{E}$ no entorno do condutor. Tal configuração é mostrada na Figura A.8.

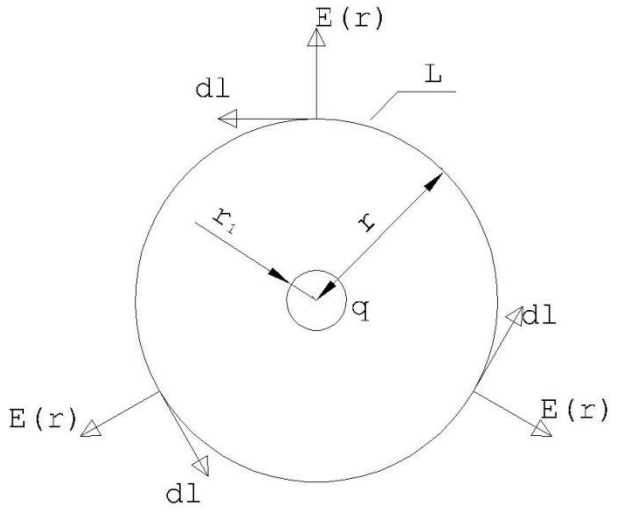

Figura A.8 - Condutor cilíndrico energizado com densidade linear de carga *q*. A curva *L* é concêntrica ao cilindro.

A curva *L* é circular e concêntrica com o condutor. Aplicando a Lei de Gauss sobre uma superfície cilíndrica, de extensão unitária e cujo corte transversal é dado pela curva L, tem-se:

$$\oint_L \vec{D} \cdot d\vec{l} = \oint_L \vec{E} \cdot \varepsilon_0 \cdot d\vec{l} = q \qquad \textbf{(A.73)}$$

Por simetria podemos afirmar que o campo elétrico sobre a curva *L* é constante e igual a:

$$E(r) = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r} \qquad \textbf{(A.74)}$$

Haverá então uma diferença de potencial entre dois pontos quaisquer P_1 e P_2, localizados às distâncias D_1 e D_2 do centro do condutor, mostrados na Figura A.9.

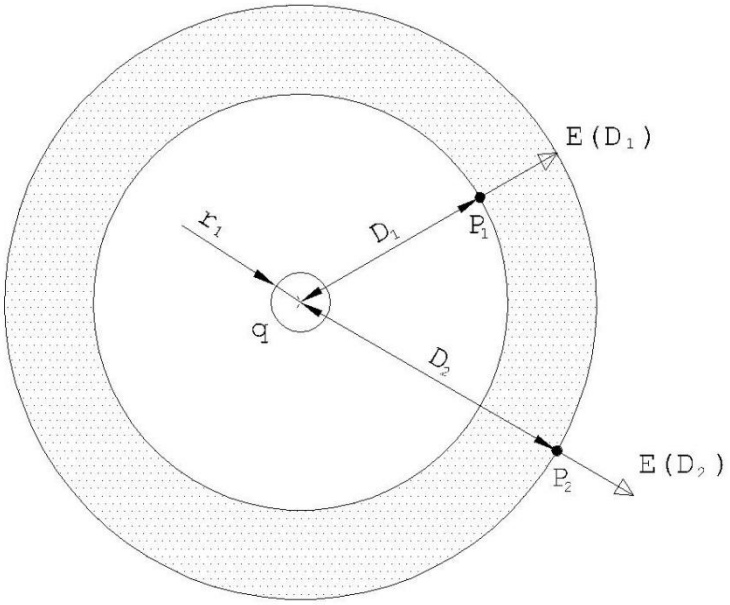

Figura A.9 - Capacitância entre dois pontos devida à presença do condutor cilíndrico carregado com densidade linear de carga *q*.

A diferença de potencial entre os pontos P_1 e P_2 pode ser calculada como:

$$V_{1,2} = \int_{D_1}^{D_2} E(r) \cdot dr = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r} \cdot dr \qquad \textbf{(A.75)}$$

Resolvendo a integral tem-se:

$$V_{1,2} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln(r)\Big|_{D_1}^{D_2} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\ln(D_2) - \ln(D_1)\right] \qquad \textbf{(A.76)}$$

$$V_{1,2} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right) \qquad \textbf{(A.77)}$$

Assim, a capacitância por unidade de comprimento entre esses pontos será:

$$C_{1,2} = \frac{q}{V_{1,2}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)} \qquad \textbf{(A.78)}$$

Considere agora o condutor disposto paralelamente ao solo a uma altura *h*, conforme mostra a Figura A.10.

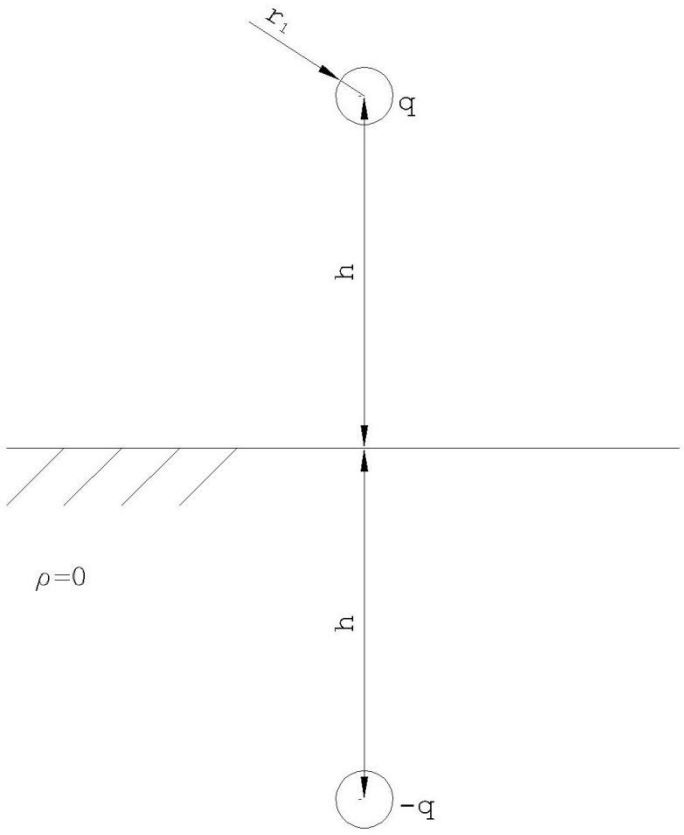

Figura A.10 - Condutor energizado disposto sobre o solo.

A diferença de potencial entre o condutor e o solo pode ser calculada como:

$$V_{r_1,solo} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{h}{r_1}\right) \qquad \textbf{(A.79)}$$

Incluindo agora o efeito do solo como um plano infinito e condutor ideal e aplicando o método das imagens, conforme mostrado na Figura A.11, o potencial entre o condutor e o solo será:

$$V = V^{(i)}_{r_1,solo} + V^{(i')}_{r_1,solo} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{h}{r_1}\right) - \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{h}{2 \cdot h}\right) \qquad \textbf{(A.80)}$$

$$V = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{r_1}\right) \qquad \textbf{(A.81)}$$

Finalmente, a capacitância por unidade de comprimento entre o condutor e o solo, chamada de capacitância própria, será dada por:

$$C = \frac{q}{V} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{2 \cdot h}{r_1}\right)} \qquad \textbf{(A.82)}$$

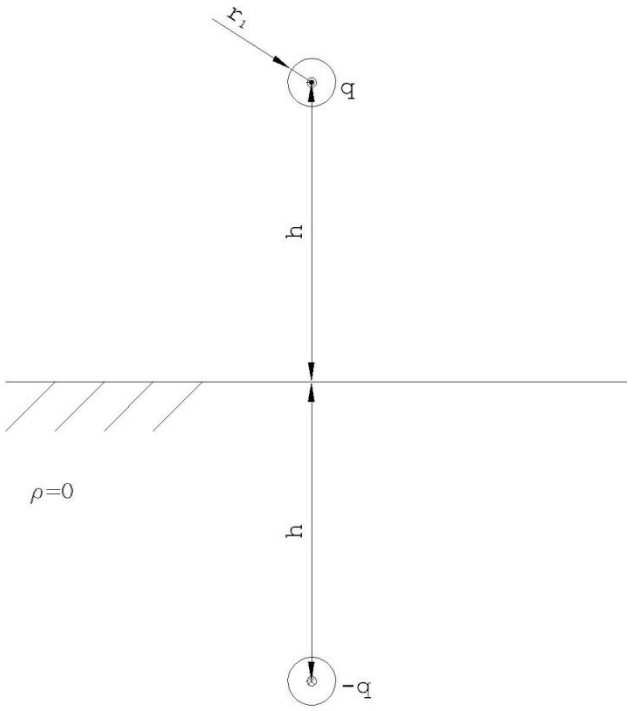

Figura A.11 - Condutor cilíndrico carregado com densidade linear de carga *q* sobre o solo ideal. A imagem representa a carga induzida no solo.

Para um condutor *i* qualquer a admitância transversal por unidade de comprimento, desprezando-se os efeitos de condutância, pode ser expressa como:

(A.83)

$$Y = j \cdot \omega \cdot C = j \cdot \omega \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{2 \cdot h_i}{r_i}\right)}$$

A.7 - ADMITÂNCIA TRANSVERSAL MÚTUA

Considerando agora dois condutores energizados, paralelos ao solo, teremos a configuração mostrada na Figura A.12.

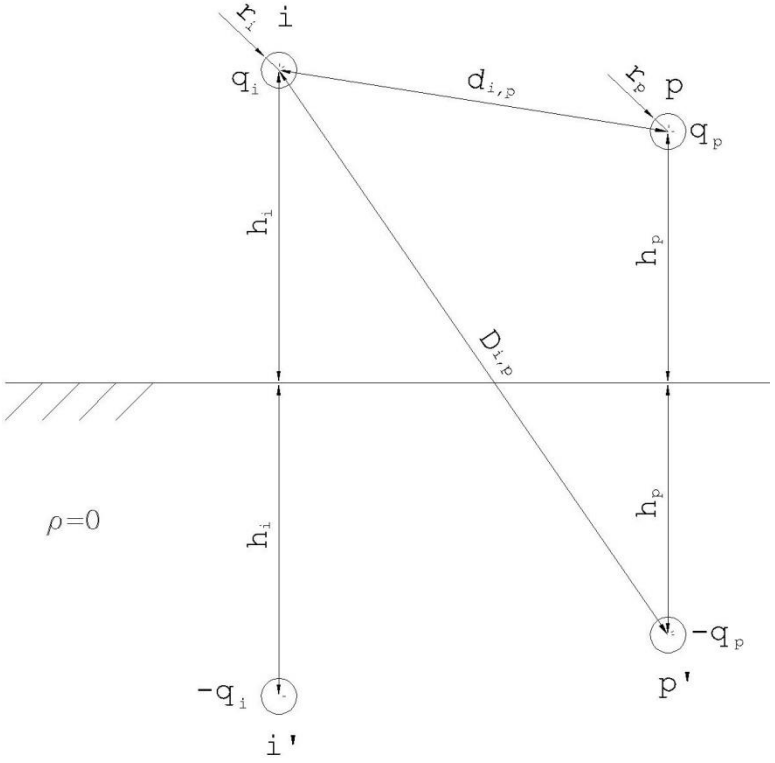

Figura A.12 - Dois condutores energizados sobre o solo ideal. As imagens representam as cargas induzidas no solo.

O potencial entre os dois condutores causado pela presença da carga q_p somado ao potencial causado pela imagem do condutor p resulta em:

$$V_{i,p}^{(p)} = V_{r_i,d_{i,p}}^{(p)} + V_{r_i,D_{i,p}}^{(p')} \qquad \textbf{(A.84)}$$

Lembrando que o campo elétrico provocado pela carga q_p tem sentido oposto àquele provocado pela carga q_i ao longo da menor curva que une as superfícies dos dois condutores. A imagem do condutor p irá provocar campo elétrico de mesmo sentido que aquele da carga q_i.

A diferença de potencial entre os dois condutores, provocada pela carga q_p será:

$$V_{i,p}^{(p)} = -\frac{q_p}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\ln\left(\frac{d_{i,p}}{r_i}\right)+\frac{q_p}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\ln\left(\frac{D_{i,p}}{r_i}\right) \qquad \textbf{(A.85)}$$

Simplificando a expressão tem-se:

$$V_{i,p}^{(p)} = \frac{q_p}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\left[\ln\left(\frac{r_i}{d_{i,p}}\right)+\ln\left(\frac{D_{i,p}}{r_i}\right)\right] \qquad \textbf{(A.86)}$$

$$V_{i,p}^{(p)} = \frac{q_p}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}}\right) \qquad \textbf{(A.87)}$$

A capacitância por unidade de comprimento entre os dois condutores, chamada de capacitância mútua, considerando a presença do solo ideal será então dada por:

$$C_{i,p} = \frac{q_p}{V_{i,p}^{(p)}} = \frac{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}{\ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}}\right)} \qquad \textbf{(A.88)}$$

A capacitância por unidade de comprimento entre os condutores, provocada pela carga q_i, calculada tomando como referência o condutor p terá o mesmo valor da capacitância obtida em (A.88).

$$C_{i,p} = C_{p,i} \qquad \textbf{(A.89)}$$

A admitância por unidade de comprimento entre os dois condutores será então dada por:

$$Y_{i,p} = -j \cdot \omega \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}}\right)} \qquad \textbf{(A.90)}$$

APÊNDICE B - CÁLCULO MATRICIAL DE PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHA DE TRANSMISSÃO COM CONDUTORES EM FEIXE

B.1 - INTRODUÇÃO

Os parâmetros de linha foram apresentados na forma escalar e calculados para um condutor (ou feixe) individualmente, no caso de parâmetros próprios, ou entre dois condutores (ou feixes), no caso de parâmetros mútuos. Neste capítulo serão apresentados os parâmetros elétricos como relações matriciais entre tensões e correntes, mais comumente usados na prática quando é necessária uma análise detalhada do comportamento da linha.

B.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS LONGITUDINAIS NA FORMA MATRICIAL

A queda de tensão longitudinal em um condutor *i* qualquer inserido em um sistema com *n* condutores, é dada na forma fasorial por:

$$\Delta \dot{V}_i = Z_{i,1} \cdot \dot{I}_1 + \ldots + Z_{i,p} \cdot \dot{I}_p + \ldots + Z_{i,i} \cdot \dot{I}_i + \ldots + Z_{i,n} \cdot \dot{I}_n \qquad \textbf{(B.1)}$$

Onde $Z_{i,p}$ é a impedância longitudinal mútua por unidade de comprimento entre o condutor *i* e o condutor *p*, com $i \neq p$, e $Z_{i,i}$ é a impedância própria por unidade de comprimento do condutor *i*.

As impedâncias mútuas são resultado das reatâncias mútuas, cuja expressão é dada em (A.46), e da aplicação da correção do solo, dada em (A.47). As impedâncias próprias são compostas pela impedância interna, dada em (A.31), reatância externa, dada em (A.42) e pela correção do solo, dada em (A.47).

Aplicando a expressão (B.1) a cada um dos *n* condutores do sistema, pode-se escrever o sistema de equações, mostrado na forma matricial em (B.2).

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{V}_1 \\ \vdots \\ \Delta\dot{V}_i \\ \vdots \\ \Delta\dot{V}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 & \cdots & Z_{1,i} & \cdots & Z_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Z_{i,1} & \cdots & Z_{i,i} & \cdots & Z_{i,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n,1} & \cdots & Z_{n,i} & \cdots & Z_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \vdots \\ \dot{I}_i \\ \vdots \\ \dot{I}_n \end{bmatrix} \qquad \textbf{(B.2)}$$

B.3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS TRANSVERSAIS NA FORMA MATRICIAL

Em um condutor *i* qualquer inserido em um sistema com *n* condutores energizados, o potencial elétrico pode ser calculado a partir das expressões (A.81) e (A.87), resultando na forma fasorial em:

$$\dot{V}_i = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\left[\ln\left(\frac{D_{i,1}}{d_{i,1}}\right)\cdot\dot{Q}_1 + \ldots + \ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}}\right)\cdot\dot{Q}_p + \ldots + \ln\left(\frac{2\cdot h_i}{r_i}\right)\cdot\dot{Q}_i + \ldots + \ln\left(\frac{D_{i,n}}{d_{i,n}}\right)\cdot\dot{Q}_n\right] \qquad \textbf{(B.3)}$$

Escrevendo a expressão (B.3) para cada um dos *n* condutores, na forma matricial tem-se:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \vdots \\ \dot{V}_i \\ \vdots \\ \dot{V}_n \end{bmatrix} = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\begin{bmatrix} \ln\left(\frac{2\cdot h_1}{r_1}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{D_{1,i}}{d_{1,i}}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{D_{1,n}}{d_{1,n}}\right) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \ln\left(\frac{D_{i,1}}{d_{i,1}}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{2\cdot h_i}{r_i}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{D_{i,n}}{d_{i,n}}\right) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \ln\left(\frac{D_{n,1}}{d_{n,1}}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{D_{n,i}}{d_{n,i}}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{2\cdot h_n}{r_n}\right) \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} \dot{Q}_1 \\ \vdots \\ \dot{Q}_i \\ \vdots \\ \dot{Q}_n \end{bmatrix} \qquad \textbf{(B.4)}$$

Reduzindo a expressão (B.4) à forma compacta tem-se:

$$[\dot{V}] = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot[P]\cdot[\dot{Q}] \qquad \textbf{(B.5)}$$

Onde [*P*] é a matriz dos coeficientes de potencial de Maxwell, cujos elementos são:

$$P_{i,p} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{D_{i,p}}{d_{i,p}}\right), \text{ para } i \neq p \text{ , e} \quad \textbf{(B.6)}$$

$$P_{i,i} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h_i}{r_i}\right), \text{ para } i = p \quad \textbf{(B.7)}$$

Escrevendo (B.5) na forma inversa tem-se:

$$[\dot{Q}] = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot [P]^{-1} \cdot [\dot{V}] \quad \textbf{(B.8)}$$

A equação (B.8) estabelece a relação de carga elétrica por unidade de comprimento em função da tensão, que corresponde à matriz de capacitâncias do sistema:

$$[C] = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot [P]^{-1} \quad \textbf{(B.9)}$$

A corrente transversal em um condutor qualquer *i*, na forma fasorial é expressa por:

$$\dot{I}_{ti} = j \cdot \omega \cdot \dot{Q}_i \quad \textbf{(B.10)}$$

Expressando o vetor de correntes na forma matricial compacta tem-se:

$$[\dot{I}_t] = j \cdot \omega \cdot [\dot{Q}] \quad \textbf{(B.11)}$$

Substituindo (B.8) em (B.11) vem que:

$$[\dot{I}_t] = j \cdot \omega \cdot 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot [P]^{-1} \cdot [\dot{V}] \quad \textbf{(B.12)}$$

Ou em função das capacitâncias:

$$[\dot{I}_t] = j \cdot \omega \cdot [C] \cdot [\dot{V}] \qquad \textbf{(B.13)}$$

A relação entre o vetor das correntes transversais e o vetor das tensões nos condutores fornece a matriz das admitâncias transversais por unidade de comprimento:

$$[Y] = j \cdot \omega \cdot [C] \qquad \textbf{(B.14)}$$

Existem ainda efeitos de condutância que compõem a parte real da admitância transversal, mas no presente trabalho a admitância será considerada puramente capacitiva.

B.4 - REDUÇÃO DOS PARÂMETROS DE LINHA DE TRANSMISSÃO A UM ELEMENTO TRIFÁSICO

Linhas de transmissão trifásicas compostas por condutores em feixe têm naturalmente valores de tensão e corrente específicos para cada condutor. O equacionamento destas grandezas em um sistema matricial será de ordem $3n \times 3n$. Com a inclusão dos cabos pára-raios a matriz será de ordem $(3n + n_{PR}) \times (3n + n_{PR})$, onde n_{PR} é o número de cabos pára-raios na linha. É necessário estabelecer condições de contorno para que o modelo matemático da linha seja compatível com restante do sistema elétrico, representado em um sistema de ordem 3×3, seja no domínio das fases ou no domínio dos modos. O número 3 representa o número de fases; em um sistema polifásico este valor seria alterado para o novo valor do número de fases do sistema, mantendo-se os procedimentos de cálculo.

Duas condições de contorno são estabelecidas: a condição de contorno das tensões e a condição de contorno das correntes. A primeira resulta da hipótese de que os subcondutores são curto-circuitados pelos espaçadores colocados entre distâncias longitudinais muito curtas e, portanto, podem ser considerados no mesmo potencial elétrico. A segunda condição de contorno diz que a corrente de uma fase é igual à soma das correntes de todos os subcondutores do feixe.

Estabelecidas as condições de contorno, o sistema matricial que relaciona as grandezas longitudinais será modificado até que assuma a forma trifásica, relacionando as grandezas longitudinais de fase. As etapas para redução do modela da linha a um elemento trifásico incluem: o condicionamento da matriz de impedâncias longitudinais e a redução da matriz condicionada.

B.5 - CONDICIONAMENTO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS

Conhecidos os parâmetros elétricos por unidade de comprimento, dados na forma da matriz primitiva, as condições de contorno são aplicadas para se obter uma representação do sistema que relacione as tensões e correntes de fase.

O condicionamento da matriz primitiva consiste em aplicar as condições de contorno das tensões e das correntes de forma que o sistema resultante seja formado pela relação entre tensões e correntes de fase.

Na condição de contorno das tensões considera-se que os condutores de uma fase têm quedas de tensão longitudinal idênticas entre si e cujos valores correspondem aos valores de fase. Algebricamente, tem-se para a fase *a*:

$$\Delta\dot{V}_{a_1} = \ldots \Delta\dot{V}_{a_i} = \ldots = \Delta\dot{V}_{a_n} = \Delta\dot{V}_a \qquad \textbf{(B.15)}$$

A condição de contorno das correntes afirma que as correntes de fase são formadas pela soma das correntes conduzidas por seus subcondutores, ou seja:

$$\dot{I}_a = \sum_{i=1}^{n} \dot{I}_{a_i} \qquad \textbf{(B.16)}$$

B.5.1 - Aplicação da condição de contorno das tensões

Seja a queda de tensão no condutor a_1 dada por:

$$\Delta\dot{V}_{a_1} = \Delta\dot{V}_a = Z_{a_1,a_1}\dot{I}_{a_1} + Z_{a_1,b_1}\dot{I}_{b_1} + Z_{a_1,c_1}\dot{I}_{c_1} + ... + Z_{a_1,a_n}\dot{I}_{a_n} + Z_{a_1,b_n}\dot{I}_{b_n} + Z_{a_1,c_n}\dot{I}_{c_n} \quad \textbf{(B.17)}$$

E a queda de tensão em um condutor qualquer a_i dada por:

$$\Delta\dot{V}_{a_i} = \Delta\dot{V}_a = Z_{a_i,a_1}\dot{I}_{a_1} + Z_{a_i,b_1}\dot{I}_{b_1} + Z_{a_i,c_1}\dot{I}_{c_1} + ... + Z_{a_i,a_n}\dot{I}_{a_n} + Z_{a_i,b_n}\dot{I}_{b_n} + Z_{a_i,c_n}\dot{I}_{c_n} \quad \textbf{(B.18)}$$

Por subtração das equações tem-se:

$$\begin{aligned}&\left(Z_{a_i,a_1} - Z_{a_1a_1}\right)\dot{I}_{a_1} + \left(Z_{a_i,b_1} - Z_{a_1b_1}\right)\dot{I}_{b_1} + \left(Z_{a_i,c_1} - Z_{a_1,c_1}\right)\dot{I}_{c_1} + ... + \\ &\left(Z_{a_i,a_n} - Z_{a_1,a_n}\right)\dot{I}_{a_n} + \left(Z_{a_i,b_n} - Z_{a_1,b_n}\right)\dot{I}_{b_n} + \left(Z_{a_i,c_n} - Z_{a_1,c_n}\right)\dot{I}_{c_n} = 0\end{aligned} \quad \textbf{(B.19)}$$

Ou seja,

$$\sum_{p\in T}\left(Z_{a_i,p} - Z_{a_1,p}\right)\dot{I}_p = 0 \quad \textbf{(B.20)}$$

Onde T é o conjunto de todos os condutores da linha de transmissão.

A aplicação das condições de contorno das tensões é feita subtraindo-se das equações correspondentes à tensão nos condutores de cada fase, a equação da tensão no condutor de referência (representado pelo índice 1). A subtração é feita para todo o sistema de equações, exceto para os condutores de referência. Para a fase *a* tem-se:

$$Z'_{a_ip} = \begin{cases} Z_{a_i,p} & i = 1 \\ Z_{a_i,p} - Z_{a_1,p} & i > 1 \end{cases} \quad \textbf{(B.21)}$$

Como resultado o sistema de equações modificado apresenta o vetor de tensões contendo os valores de fase nas equações correspondentes aos condutores de referência e zero nas demais equações, permitindo, assim, a aplicação da redução de Kron.

$$\Delta\dot{V} = \left[\Delta\dot{V}_a \quad \Delta\dot{V}_b \quad \Delta\dot{V}_c \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0\right]^T \tag{B.22}$$

A matriz de impedâncias terá todas as suas linhas modificadas exceto pelas linhas correspondentes aos condutores de referência.

B.5.2 - Aplicação da condição de contorno das correntes

A queda de tensão em um condutor *p* qualquer pode ser expressa da seguinte forma:

$$\begin{aligned}\Delta\dot{V}_p &= Z_{p,a_1}\dot{I}_{a_1} + Z_{p,b_1}\dot{I}_{b_1} + Z_{p,c_1}\dot{I}_{c_1} + \cdots \\ &+ Z_{p,a_i}\dot{I}_{a_i} + Z_{p,b_i}\dot{I}_{b_i} + Z_{p,c_i}\dot{I}_{c_i} \cdots \\ &+ Z_{p,a_n}\dot{I}_{a_n} + Z_{p,b_n}\dot{I}_{b_n} + Z_{p,c_n}\dot{I}_{c_n}\end{aligned} \tag{B.23}$$

Somando e subtraindo o elemento $Z_{pa_1}I_{a_i}$ de (B.23) tem-se:

$$\begin{aligned}\Delta\dot{V}_p &= Z_{p,a_1}\left(\dot{I}_{a_1} + \dot{I}_{a_i}\right) + Z_{p,b_1}\dot{I}_{b_1} + Z_{p,c_1}\dot{I}_{c_1} + \ldots \\ &+ \left(Z_{p,a_i} - Z_{p,a_1}\right)\dot{I}_{a_i} + Z_{p,b_i}\dot{I}_{b_i} + Z_{p,c_i}\dot{I}_{c_i} \cdots \\ &+ Z_{p,a_n}\dot{I}_{a_n} + Z_{p,b_n}\dot{I}_{b_n} + Z_{p,c_n}\dot{I}_{c_n}\end{aligned} \tag{B.24}$$

Seguindo o mesmo procedimento para os demais condutores da fase a, tem-se:

$$\Delta\dot{V}_p = Z_{p,a_1}\left(\dot{I}_{a_1} + \sum_{i=2}^{n}\dot{I}_{a_i}\right) + Z_{p,b_1}\dot{I}_{b_1} + Z_{p,c_1}\dot{I}_{c_1} + \ldots$$
$$+ \sum_{i=2}^{n}\left[\left(Z_{p,a_i} - Z_{p,a_1}\right)\dot{I}_{a_i}\right] + Z_{p,b_i}\dot{I}_{b_i} + Z_{p,c_i}\dot{I}_{c_i} \cdots \quad \textbf{(B.25)}$$
$$+ Z_{p,b_n}\dot{I}_{b_n} + Z_{p,c_n}\dot{I}_{c_n}$$

Aplicando a condição de contorno das correntes em (B.25) tem-se:

$$\Delta\dot{V}_p = Z_{p,a_1}\dot{I}_a + Z_{p,b_1}\dot{I}_{b_1} + Z_{p,c_1}\dot{I}_{c_1} + \ldots$$
$$+ \sum_{i=2}^{n_s}\left[\left(Z_{p,a_i} - Z_{p,a_1}\right)\dot{I}_{a_i}\right] + Z_{p,b_i}\dot{I}_{b_i} + Z_{p,c_i}\dot{I}_{c_i} \cdots \quad \textbf{(B.26)}$$
$$+ Z_{p,b_n}\dot{I}_{b_n} + Z_{p,c_n}\dot{I}_{c_n}$$

Aplicando modificação análoga para as demais fases tem-se:

$$\Delta\dot{V}_p = Z_{p,a_1}\dot{I}_a + Z_{p,b_1}\dot{I}_b + Z_{p,c_1}\dot{I}_c + \ldots$$
$$+ \sum_{i=2}^{n}\left[\left(Z_{p,a_i} - Z_{p,a_1}\right)\dot{I}_{a_i} + \left(Z_{p,b_i} - Z_{p,b_1}\right)\dot{I}_{b_i} + \left(Z_{p,c_i} - Z_{p,c_1}\right)\dot{I}_{c_i}\right] \quad \textbf{(B.27)}$$

Aplicando a modificação dada por (B.27) a todas as equações do sistema, o vetor das correntes sofrerá modificação tal que os valores de fase estejam multiplicando as impedâncias relativas aos respectivos condutores de referência.

$$\dot{I} = \left[\dot{I}_a \quad \dot{I}_b \quad \dot{I}_c \quad \dot{I}_{a_2} \quad \dot{I}_{b_2} \quad \dot{I}_{c_2} \quad \cdots \quad \dot{I}_{a_n} \quad \dot{I}_{b_n} \quad \dot{I}_{c_n}\right]^T \quad \textbf{(B.28)}$$

Por sua vez cada coluna da matriz de impedâncias será modificada pela subtração da impedância correspondente ao condutor de referência de sua respectiva fase, exceto pelas colunas que correspondem aos condutores referência.

$$Z'_{p,a_i} = \begin{cases} Z_{p,a_i} & i = 1 \\ Z_{p,a_i} - Z_{p,a_1} & i > 1 \end{cases} \quad \textbf{(B.29)}$$

A matriz de impedâncias terá todas as suas colunas modificadas exceto pelas colunas correspondentes aos condutores de referência.

B.6 - REDUÇÃO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS CONDICIONADA

Em um sistema de equações lineares, qualquer equação cujo respectivo valor no vetor independente seja igual a zero pode ser suprimida pela aplicação da redução de Kron. Dessa forma, a matriz de impedâncias longitudinais trifásica condicionada pode ser reduzida a um sistema de dimensão 3×3 que relaciona as correntes e tensões de fase.

A redução de Kron é realizada modificando-se, a cada etapa, os elementos da matriz da seguinte forma:

$$Z_{p,q}^{k-1} = Z_{p,q}^{k} - \frac{Z_{p,k}^{k} \cdot Z_{k,q}^{k}}{Z_{k,k}^{k}} \quad \textbf{(B.30)}$$

Os índices superiores indicam a ordem da matriz reduzida, ou seja, a matriz $[Z^{k-1}]$ é obtida aplicando-se a eliminação da linha e coluna *k* através da redução de Kron da matriz $[Z^{k}]$.

A expressão (B.30) permite destacar que a matriz reduzida à dimensão *k*-1 é função de dois termos distintos, o primeiro corresponde a um recorte da matriz condicionada de mesma ordem da matriz reduzida. O segundo termo é função apenas de outro recorte da matriz condicionada, constituído do vetor que contém as impedâncias mútuas que relacionam o condutor *k* aos demais condutores e do valor da impedância própria do condutor *k*.

B.7 - CONSIDERAÇÃO SOBRE OS CABOS PÁRA-RAIOS NA REDUÇÃO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS

B.7.1 - Cabos pára-raios continuamente aterrados

Estando os cabos pára-raios aterrados continuamente, os mesmos estarão sujeitos à queda de tensão nula, assim, a relação entre quedas de tensão e correntes longitudinais nas fases e nos cabos pára-raios, considerando que existam dois cabos pára-raios, pode ser escrita como:

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{V}_a \\ \Delta\dot{V}_b \\ \Delta\dot{V}_c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{aPR_1} & Z_{aPR_2} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bPR_1} & Z_{bPR_2} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cPR_1} & Z_{cPR_2} \\ Z_{PR_1a} & Z_{PR_1b} & Z_{PR_1c} & Z_{PR_1PR_1} & Z_{PR_1PR_2} \\ Z_{PR_2a} & Z_{PR_2b} & Z_{PR_2c} & Z_{PR_2PR_1} & Z_{PR_2PR_2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \\ \dot{I}_{PR_1} \\ \dot{I}_{PR_2} \end{bmatrix} \quad \textbf{(B.31)}$$

A equação (B.31) satisfaz a condição suficiente para a aplicação da redução de Kron, que irá incorporar a influência dos cabos pára-raios sobre as fases. O mesmo procedimento pode ser aplicado sobre a matriz primitiva (aquela onde cada linha representa as grandezas longitudinais dos subcondutores) e para qualquer número de cabos pára-raios.

B.7.2 - Cabos pára-raios isolados

Os cabos pára-raios isolados não conduzem corrente e, portanto, não induzem queda de tensão sobre os subcondutores. A equação (B.32) ilustra esta condição para uma linha com dois cabos pára-raios:

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{V}_a \\ \Delta\dot{V}_b \\ \Delta\dot{V}_c \\ \Delta\dot{V}_{PR_1} \\ \Delta\dot{V}_{PR_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{aPR_1} & Z_{aPR_2} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bPR_1} & Z_{bPR_2} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cPR_1} & Z_{cPR_2} \\ Z_{PR_1a} & Z_{PR_1b} & Z_{PR_1c} & Z_{PR_1PR_1} & Z_{PR_1PR_2} \\ Z_{PR_2a} & Z_{PR_2b} & Z_{PR_2c} & Z_{PR_2PR_1} & Z_{PR_2PR_2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \textbf{(B.32)}$$

Haverá tensão induzida sobre os cabos pára-raios, mas sua influência sobre os condutores é nula. A conclusão é a mesma qualquer que seja o número de cabos pára-raios. Desta forma a matriz de impedância reduzida será formada somente pelos elementos de fase.

B.8 - REDUÇÃO DA MATRIZ DE ADMITÂNCIAS TRANSVERSAIS

A redução da matriz de admitâncias transversais por unidade de comprimento a um elemento trifásico é feita assumindo-se as mesmas condições de contorno descritas pelas equações (B.15) e (B.16), porém referindo-se às tensões e correntes transversais, conforme mostram as equações (B.33) e (B.34):

$$\dot{V}_{a_1} = \ldots \dot{V}_{a_i} = \ldots = \dot{V}_{a_n} = \dot{V}_a \qquad \textbf{(B.33)}$$

$$\dot{I}_{t\,a} = \sum_{i=1}^{n} \dot{I}_{t\,a_i} \qquad \textbf{(B.34)}$$

Tomando a equação referente à corrente transversal por unidade de comprimento do condutor a_1 dada no sistema matricial mostrado pela equação (B.13) tem-se:

$$\dot{I}_{t\,a_1} = Y_{a_1,a_1}\dot{V}_{a_1} + Y_{a_1,b_1}\dot{V}_{b_1} + Y_{a_1,c_1}\dot{V}_{c_1} + \ldots + Y_{a_1,a_n}\dot{V}_{a_n} + Y_{a_1,b_n}\dot{V}_{b_n} + Y_{a_1,c_n}\dot{V}_{c_n} \qquad \textbf{(B.35)}$$

A aplicação da condição de contorno das tensões irá resultar na seguinte expressão:

$$\dot{I}_{t\,a_1} = \left(Y_{a_1,a_1} + \ldots + Y_{a_1,a_n}\right)\dot{V}_a + \left(Y_{a_1,b_1} + \ldots + Y_{a_1,b_n}\right)\dot{V}_b + \left(Y_{a_1,c_1} + \ldots + Y_{a_1,c_n}\right)\dot{V}_c \qquad \textbf{(B.36)}$$

Ou seja, a admitância transversal por unidade de comprimento equivalente entre cada condutor e cada um dos feixes da linha será a soma das admitâncias transversais por unidade de comprimento entre o condutor e todos os condutores do respectivo feixe.

A aplicação da condição de contorno das correntes resulta na equação da corrente total por fase:

$$\begin{aligned}\dot{I}_{t\,a} = &\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{a_i,a_1}+\ldots+Y_{a_i,a_n}\right)\dot{V}_a+\cdots\\ &\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{a_i,b_1}+\ldots+Y_{a_i,b_n}\right)\dot{V}_b+\cdots\\ &\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{a_i,c_1}+\ldots+Y_{a_i,c_n}\right)\dot{V}_c\end{aligned} \qquad \textbf{(B.37)}$$

Portanto, a admitância transversal por unidade de comprimento equivalente entre fases será a soma das admitâncias por unidade de comprimento entre os condutores das respectivas fases. Algebricamente:

$$Y_{ap} = \sum_{i=1}^{n}\left(Y_{a_i,p_1}+\ldots+Y_{a_i,p_n}\right) \qquad \textbf{(B.38)}$$

$$Y_{bp} = \sum_{i=1}^{n}\left(Y_{b_i,p_1}+\ldots+Y_{b_i,p_n}\right) \qquad \textbf{(B.39)}$$

$$Y_{cp} = \sum_{i=1}^{n}\left(Y_{c_i,p_1}+\ldots+Y_{c_i,p_n}\right) \qquad \textbf{(B.40)}$$

Onde *p* representa uma fase qualquer e o elemento trifásico é dado por:

$$\begin{bmatrix}\dot{I}_{t\,a}\\ \dot{I}_{t\,b}\\ \dot{I}_{t\,c}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}Y_{aa} & Y_{ab} & Y_{ac}\\ Y_{ba} & Y_{bb} & Y_{bc}\\ Y_{ca} & Y_{cb} & Y_{cc}\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}\dot{V}_a\\ \dot{V}_b\\ \dot{V}_c\end{bmatrix} \qquad \textbf{(B.41)}$$

B.9 - CONSIDERAÇÃO SOBRE OS CABOS PÁRA-RAIOS NA REDUÇÃO DA MATRIZ DE ADMITÂNCIAS TRANSVERSAIS

B.9.1 - Cabos pára-raios continuamente aterrados

Com cabos pára-raios aterrados haverá indução de carga elétrica sobre os mesmos devido à energização dos condutores. No equacionamento da relação entre tensão e carga elétrica nos condutores devem ser incluídas as equações referentes aos cabos pára-raios. Para dois cabos pára-raios tem-se:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} & P_{aPR_1} & P_{aPR_2} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} & P_{bPR_1} & P_{bPR_2} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{ca} & P_{cPR_1} & P_{cPR_2} \\ P_{PR_1a} & P_{PR_1b} & P_{PR_1c} & P_{PR_1PR_1} & P_{PR_1PR_2} \\ P_{PR\,a} & P_{PR\,b} & P_{PR\,c} & P_{PR_2PR_1} & P_{PR_2PR_2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{Q}_a \\ \dot{Q}_b \\ \dot{Q}_c \\ \dot{Q}_{PR_1} \\ \dot{Q}_{PR_2} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(B.42)}$$

Onde P_{ip} é um elemento da matriz de potenciais de Maxwell e é calculado conforme mostra a equação (B.4).

Na inversão da matriz de potenciais, que a menos de constantes irá resultar na matriz de capacitâncias, o efeito dos cabos pára-raios estará implícito nas capacitâncias.

$$\begin{bmatrix} \dot{Q}_a \\ \dot{Q}_b \\ \dot{Q}_c \\ \dot{Q}_{PR_1} \\ \dot{Q}_{PR_2} \end{bmatrix} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \begin{bmatrix} C_{aa} & C_{ab} & C_{ac} & C_{aPR_1} & C_{aPR_2} \\ C_{ba} & C_{bb} & C_{bc} & C_{bPR_1} & C_{bPR_2} \\ C_{ca} & C_{cb} & C_{ca} & C_{cPR_1} & C_{cPR_2} \\ C_{PR_1a} & C_{PR_1b} & C_{PR_1c} & C_{PR_1PR_1} & C_{PR_1PR_2} \\ C_{PR\,a} & C_{PR\,b} & C_{PR\,c} & C_{PR_2PR_1} & C_{PR_2PR_2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(B.43)}$$

Como a tensão sobre os cabos pára-raios é nula, a capacitância mútua destes com os condutores não terá efeito sobre os mesmos. Desta forma, a matriz de capacitância considerando o efeito de cabos pára-raios aterrados é formada somente pelos elementos de fase.

B.9.2 - Cabos pára-raios isolados

Os cabos pára-raios isolados estarão descarregados e, portanto, não induzem tensão sobre os condutores.

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \\ \dot{V}_{PR_1} \\ \dot{V}_{PR_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} & P_{aPR_1} & P_{aPR_2} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} & P_{bPR_1} & P_{bPR_2} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{ca} & P_{cPR_1} & P_{cPR_2} \\ P_{PR_1a} & P_{PR_1b} & P_{PR_1c} & P_{PR_1PR_1} & P_{PR_1PR_2} \\ P_{PRa} & P_{PRb} & P_{PRc} & P_{PR_2PR_1} & P_{PR_2PR_2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{Q}_a \\ \dot{Q}_b \\ \dot{Q}_c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \textbf{(B.44)}$$

Haverá tensão induzida sobre os cabos pára-raios, mas sua influência sobre a carga elétrica das fases é nula. A matriz de capacitância reduzida aos elementos de fase é obtida considerando somente os elementos de fase da matriz de potenciais de Maxwell ([P]).

B.10 - TRANSPOSIÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

As torres de transmissão de extra-alta tensão geralmente têm simetria em relação a um plano vertical, no entanto, as posições relativas das fases externas entre si e em relação à fase interna são bastante diferentes. Esta configuração resulta em uma impedância longitudinal mútua entre fases externas diferente da impedância longitudinal mútua entre uma fase externa e a fase interna. Operando nesta condição, a linha de transmissão irá gerar ao longo de sua extensão um desequilíbrio entre as tensões e correntes nas fases. Nas linhas longas (acima de 250 km) este desequilíbrio é prejudicial à operação da linha e deve ser corrigido.

A técnica usual para a correção deste efeito é a transposição da linha de transmissão em trechos, mostrada na Figura B.1.

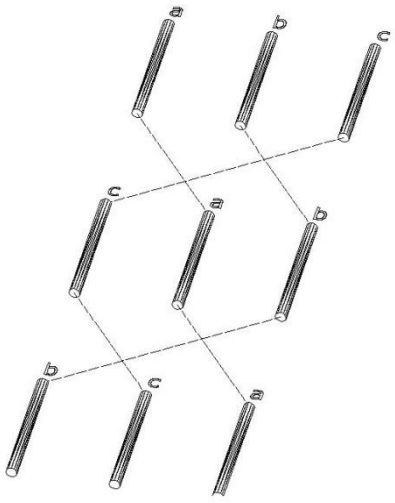

Figura B.1 - Transposição de fases, usual para correção do desequilíbrio de parâmetros elétricos.

A transposição consiste na troca de posição das fases em determinados pontos de sua extensão repetindo a configuração a cada três trechos de transposição. Assim, as três fases são alocadas em cada uma das três posições por um terço da extensão da linha alternando, assim, suas impedâncias próprias e mútuas por unidade de comprimento. Como o trecho de transposição é muito menor do que o comprimento de onda da tensão de operação pode-se assumir que, para a operação em regime permanente, as impedâncias mútuas e as próprias terão igual valor para todas as fases. O valor desta impedância será a média dos valores apresentados em cada trecho da transposição, conforme equacionado em (B.46) e em (B.47).

A partir da matriz de impedâncias longitudinais por fase, dada por:

$$[Z]=\begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(B.45)}$$

São definidas as impedâncias própria e mútua da linha transposta como:

$$Z_P = \frac{Z_{aa} + Z_{bb} + Z_{cc}}{3} \qquad \textbf{(B.46)}$$

$$Z_M = \frac{Z_{ab} + Z_{ac} + Z_{bc}}{3} \qquad \textbf{(B.47)}$$

Resultando na matriz de impedâncias longitudinais transposta:

$$\left[Z_{transp}\right]=\begin{bmatrix} Z_P & Z_M & Z_M \\ Z_M & Z_P & Z_M \\ Z_M & Z_M & Z_P \end{bmatrix} \quad \textbf{(B.48)}$$

A matriz dada em (B.48) representa um comportamento equilibrado da linha de transmissão, ou seja, as tensões e correntes medidas nos terminais da linha não irão apresentar desequilíbrio na operação em regime permanente.

No caso da matriz de admitância a transposição irá resultar no equilíbrio de carga, ou seja, os elementos da matriz de potenciais de Maxwell ([P]) são obtidos de forma análoga à (B.46) e (B.47). A matriz de capacitância transposta ($[C_t]$) é obtida pela inversão da matriz [P].

APÊNDICE C - PARÂMETROS ELÉTRICOS EM MODOS DE COMPONENTES SIMÉTRICAS

Através de componentes simétricas pode-se representar a operação da linha em regime equilibrado através da análise do modo de sequência positiva. Assim, é possível representar em um elemento escalar a impedância característica e, por consequência, a potência característica de sequência positiva, cuja maximização é o objetivo do presente trabalho.

C.1 - MODOS DE COMPONENTES SIMÉTRICAS

As componentes simétricas permitem que grandezas de fase desbalanceadas sejam representadas por conjuntos de componentes simétricas balanceadas.

Considere o operador *a* definido como a rotação de um fasor em 120° no sentido anti-horário. Este operador é representado pelo complexo unitário:

$$a = 1\angle 120° = 1 \cdot e^{j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}} = -\frac{1}{\sqrt{2}} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \qquad \textbf{(C.1)}$$

Se a operação for aplicada duas vezes resulta em:

$$a^2 = 1\angle 240° = 1 \cdot e^{j \cdot \frac{4 \cdot \pi}{3}} = -\frac{1}{\sqrt{2}} - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \qquad \textbf{(C.2)}$$

E aplicada três vezes resulta na rotação de um ciclo completo:

$$a^3 = 1\angle 360° = 1 \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi} = 1 + j \cdot 0 \qquad \textbf{(C.3)}$$

As correntes de sequência positiva podem ser escritas com base nos operadores definidos:

$$\dot{I}_a^+ = I_a^+ \angle 0° = \dot{I}_a^+ \quad \textbf{(C.4)}$$

$$\dot{I}_b^+ = I_a^+ \angle 240° = a^2 \cdot \dot{I}_a^+ \quad \textbf{(C.5)}$$

$$\dot{I}_c^+ = I_a^+ \angle 120° = a \cdot \dot{I}_a^+ \quad \textbf{(C.6)}$$

Com sentido inverso de rotação das fases, as correntes de sequência negativa são:

$$\dot{I}_a^- = I_a^- \angle 0° = \dot{I}_a^- \quad \textbf{(C.7)}$$

$$\dot{I}_b^- = I_a^- \angle 120° = a \cdot \dot{I}_a^- \quad \textbf{(C.8)}$$

$$\dot{I}_c^- = I_a^- \angle 120° = a^2 \cdot \dot{I}_a^- \quad \textbf{(C.9)}$$

E para a sequência zero tem-se:

$$\dot{I}_a^0 = I_a^0 \angle 0° = \dot{I}_a^0 \quad \textbf{(C.10)}$$

$$\dot{I}_b^0 = I_a^0 \angle 0° = \dot{I}_a^0 \quad \textbf{(C.11)}$$

$$\dot{I}_c^0 = I_a^0 \angle 0° = \dot{I}_a^0 \quad \textbf{(C.12)}$$

Baseando-se nesta representação, fasores trifásicos podem ser decompostos em três sistemas balanceados:

- Componentes de sequência positiva, composto por três fasores de mesma amplitude defasados de 120° no sentido horário – a b c;
- Componentes de sequência negativa, composto por três fasores de mesma amplitude defasados de 120° no sentido anti-horário – a c b;
- Componentes de sequência zero, composto por três fasores de mesma amplitude e mesma fase.

As correntes de fase podem então ser representadas por suas componentes simétricas:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_a^+ + \dot{I}_a^- + \dot{I}_a^0 \quad \textbf{(C.13)}$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_b^+ + \dot{I}_b^- + \dot{I}_b^0 \quad \textbf{(C.14)}$$

$$\dot{I}_c = \dot{I}_c^+ + \dot{I}_c^- + \dot{I}_c^0 \quad \textbf{(C.15)}$$

Tomando a fase *a* como referência tem-se:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_a^+ + \dot{I}_a^- + \dot{I}_a^0 \quad \textbf{(C.16)}$$

$$\dot{I}_b = a^2 \cdot \dot{I}_a^+ + a \cdot \dot{I}_a^- + \dot{I}_a^0 \quad \textbf{(C.17)}$$

$$\dot{I}_c = a \cdot \dot{I}_a^+ + a^2 \cdot \dot{I}_a^- + \dot{I}_a^0 \quad \textbf{(C.18)}$$

E na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_a^0 \\ \dot{I}_a^+ \\ \dot{I}_a^- \end{bmatrix} \quad \textbf{(C.19)}$$

A matriz de transformação entre componentes de fase e componentes simétricas é conhecida como matriz de transformada em componentes de sequência ou matriz transformada de Fortescue:

$$\left[T_{seq}\right] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad \textbf{(C.20)}$$

Escrevendo (C.19) na forma compacta tem-se:

$$\left[\dot{I}_{abc}\right] = \left[T_{seq}\right] \cdot \left[\dot{I}_{012}\right] \quad \textbf{(C.21)}$$

E a relação inversa dada por:

$$\left[\dot{I}_{012}\right] = \left[T_{seq}\right]^{-1} \cdot \left[\dot{I}_{abc}\right] \quad \textbf{(C.22)}$$

Sendo o operador de transformação inversa dado por:

$$\left[T_{seq}\right]^{-1} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad \textbf{(C.23)}$$

Ou seja:

$$\dot{I}_a^0 = \frac{1}{3} \cdot \left(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c \right) \quad \textbf{(C.24)}$$

$$\dot{I}_a^+ = \frac{1}{3} \cdot \left(\dot{I}_a + a \cdot \dot{I}_b + a^2 \cdot \dot{I}_c \right) \quad \textbf{(C.25)}$$

$$\dot{I}_a^- = \frac{1}{3} \cdot \left(\dot{I}_a + a^2 \cdot \dot{I}_b + a \cdot \dot{I}_c \right) \quad \textbf{(C.26)}$$

A transformação das tensões é semelhante, na forma matricial compacta podemos representá-la por:

$$[V_{abc}] = [T_{seq}] \cdot [V_{012}] \quad \textbf{(C.27)}$$

E sua operação inversa por:

$$[V_{012}] = [T_{seq}]^{-1} \cdot [V_{abc}] \quad \textbf{(C.28)}$$

Das relações entre tensões e correntes de fase vem que:

$$[V_{abc}] = [Z_{abc}] \cdot [I_{abc}] \quad \textbf{(C.29)}$$

Aplicando a transformação de tensões e correntes:

$$[T_{seq}] \cdot [V_{012}] = [Z_{abc}] \cdot [T_{seq}] \cdot [I_{012}] \quad \textbf{(C.30)}$$

De forma que fica definida a relação matricial em componentes de sequência:

$$[V_{012}] = [T_{seq}]^{-1} \cdot [Z_{abc}] \cdot [T_{seq}] \cdot [I_{012}] \quad \textbf{(C.31)}$$

Resultando na definição da matriz de impedâncias em componentes de sequência:

$$[Z_{012}] = [T_{seq}^{-1}] \cdot [Z_{abc}] \cdot [T_{seq}] \quad \textbf{(C.32)}$$

Supondo que a linha seja transposta para a frequência fundamental. A matriz $[Z_{abc}]$ será:

$$[Z_{abc}] = \begin{bmatrix} Z_P & Z_M & Z_M \\ Z_M & Z_P & Z_M \\ Z_M & Z_M & Z_P \end{bmatrix} \quad \textbf{(C.33)}$$

Aplicando a transformação em componentes simétricas tem-se:

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} Z_P + 2 \cdot Z_M & 0 & 0 \\ 0 & Z_P - Z_M & 0 \\ 0 & 0 & Z_P - Z_M \end{bmatrix} \quad \textbf{(C.34)}$$

Portanto as componentes simétricas da impedância longitudinal são:

$$Z^0 = Z_P + 2 \cdot Z_M \quad \textbf{(C.35)}$$

$$Z^+ = Z_P - Z_M \quad \textbf{(C.36)}$$

$$Z^- = Z_P - Z_M \quad \textbf{(C.37)}$$

Ao se realizar a transformação das componentes de fase para as componentes simétricas, deixam de haver elementos mútuos na matriz de impedâncias, ou seja, não há interação entre os circuitos de componentes simétricas e eles podem ser analisados separadamente.

Observando a equação anterior verificamos que foi realizada uma transformação linear onde os valores de impedância em componentes de sequência correspondem aos autovalores e a matriz transformada [T_{seq}] é formada pelos autovetores correspondentes.

Quando alimentada por um sinal trifásico equilibrado, a linha de transmissão idealmente transposta estará transmitindo potência apenas no modo de sequência positiva.

C.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS DISTRIBUÍDOS

Considere um trecho curto de uma linha monofásica, ou a representação de um modo de propagação como, por exemplo, de sequência positiva. O trecho é dado em um ponto x da linha e seu comprimento é representado por Δx. Os parâmetros longitudinal $Z \cdot \Delta x$ e transversal $Y \cdot \Delta x$ são representados por elementos concentrados, conforme mostra a Figura C.1.

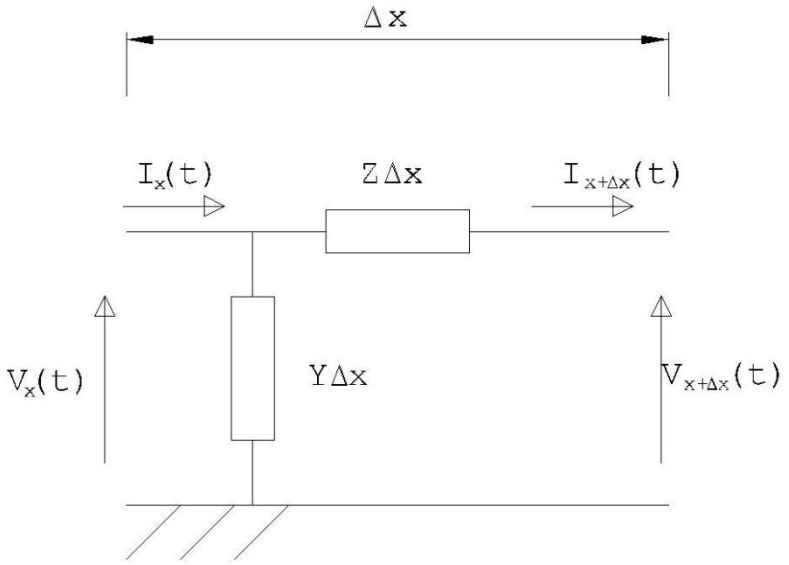

Figura C.1 - Elemento longitudinal curto de uma linha monofásica.

A variação de tensão longitudinal é dada, na forma fasorial, por:

$$\dot{V}(x+\Delta x)-\dot{V}(x)=-Z\cdot\Delta x\cdot\dot{I}(x) \quad \textbf{(C.38)}$$

E a variação de corrente transversal é dada por:

$$\dot{I}(x+\Delta x)-\dot{I}(x)=-Y\cdot\Delta x\cdot\dot{V}(x) \quad \textbf{(C.39)}$$

Rearranjando (C.38) e (C.39) tem-se:

$$\frac{\dot{V}(x+\Delta x)-\dot{V}(x)}{\Delta x}=-Z\cdot\dot{I}(x) \quad \textbf{(C.40)}$$

$$\frac{\dot{I}(x+\Delta x)-\dot{I}(x)}{\Delta x}=-Y\cdot\dot{V}(x) \quad \textbf{(C.41)}$$

Fazendo $\Delta x\to 0$ tem-se:

$$\frac{\partial\dot{V}(x)}{\partial x}=-Z\cdot\dot{I}(x) \quad \textbf{(C.42)}$$

$$\frac{\partial\dot{I}(x)}{\partial x}=-Y\cdot\dot{V}(x) \quad \textbf{(C.43)}$$

Em um trecho muito pequeno da linha pode-se assumir que *V* e *I* não variam com *t*, logo:

$$\frac{d\dot{V}(x)}{dx}=-Z\cdot\dot{I}(x) \quad \textbf{(C.44)}$$

$$\frac{d\dot{I}(x)}{dx}=-Y\cdot\dot{V}(x) \quad \textbf{(C.45)}$$

Derivando (C.44) e (C.45) em relação a *x* tem-se:

$$\frac{d^2\dot{V}(x)}{dx^2} = -Z \cdot \frac{d\dot{I}(x)}{dx} \quad \textbf{(C.46)}$$

$$\frac{d^2\dot{I}(x)}{dx^2} = -Y \cdot \frac{d\dot{V}(x)}{dx} \quad \textbf{(C.47)}$$

Substituindo (C.43) em (C.46) e (C.42) em (C.47):

$$\frac{d^2\dot{V}(x)}{dx^2} = Z \cdot Y \cdot \dot{V}(x) \quad \textbf{(C.48)}$$

$$\frac{d^2\dot{I}(x)}{dx^2} = Y \cdot Z \cdot \dot{I}(x) \quad \textbf{(C.49)}$$

Fazendo $Z \cdot Y = \gamma^2$ vem que:

$$\frac{d^2\dot{V}(x)}{dx^2} = \gamma^2 \cdot \dot{V}(x) \quad \textbf{(C.50)}$$

$$\frac{d^2\dot{I}(x)}{dx^2} = \gamma^2 \cdot \dot{I}(x) \quad \textbf{(C.51)}$$

As equações (C.50) e (C.51) são lineares homogêneas de segunda ordem com solução:

$$\dot{V}(x) = V_1 e^{\gamma \cdot x} + V_2 e^{-\gamma \cdot x} \quad \textbf{(C.52)}$$

$$\dot{I}(x) = I_1 e^{\gamma \cdot x} + I_2 e^{-\gamma \cdot x} \quad \textbf{(C.53)}$$

Onde V_1, V_2, I_1 e I_2 são constantes de integração. As soluções para $\dot{V}(x)$ e $\dot{I}(x)$ não são independentes e as constantes de integração são obtidas das condições de contorno (tensão e corrente nos extremos da linha ou da componente de modo).

O parâmetro γ é função dos parâmetros da linha e é chamado constante de propagação da linha, dado em km^{-1}, sendo:

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y} = \alpha + j\beta \tag{C.54}$$

Onde α é a constante de atenuação, dada em *Np/km*, e β é a constante de fase, dada em *rad/km*.

Derivando (C.52) e (C.53) em relação a *x*, tem-se:

$$\frac{d\dot{V}(x)}{dx} = \gamma \cdot V_1 e^{\gamma \cdot x} - \gamma \cdot V_2 e^{-\gamma \cdot x} \tag{C.55}$$

$$\frac{d\dot{I}(x)}{dx} = \gamma \cdot I_1 e^{\gamma \cdot x} - \gamma \cdot I_2 e^{-\gamma \cdot x} \tag{C.56}$$

Substituindo (C.44) em (C.55) e (C.45) em (C.56), vem que:

$$-Z \cdot \dot{I}(x) = \gamma \cdot V_1 e^{\gamma \cdot x} - \gamma \cdot V_2 e^{-\gamma \cdot x} \tag{C.57}$$

$$-Y \cdot \dot{V}(x) = \gamma \cdot I_1 e^{\gamma \cdot x} - \gamma \cdot I_2 e^{-\gamma \cdot x} \tag{C.58}$$

Substituindo (C.53) em (C.57) e (C.52) em (C.58), vem que:

$$-Z \cdot \left(I_1 e^{\gamma \cdot x} + I_2 e^{-\gamma \cdot x}\right) = \gamma \cdot V_1 e^{\gamma \cdot x} - \gamma \cdot V_2 e^{-\gamma \cdot x} \tag{C.59}$$

$$-Y \cdot \left(V_1 e^{\gamma \cdot x} + V_2 e^{-\gamma \cdot x}\right) = \gamma \cdot I_1 e^{\gamma \cdot x} - \gamma \cdot I_2 e^{-\gamma \cdot x} \quad \textbf{(C.60)}$$

Rearranjando (C.59) e (C.60), tem-se:

$$V_1 e^{\gamma \cdot x} - V_2 e^{-\gamma \cdot x} + \frac{Z}{\gamma} \cdot \left(I_1 e^{\gamma \cdot x} + I_2 e^{-\gamma \cdot x}\right) = 0 \quad \textbf{(C.61)}$$

$$V_1 e^{\gamma \cdot x} + V_2 e^{-\gamma \cdot x} + \frac{\gamma}{Y} \cdot \left(I_1 e^{\gamma \cdot x} - I_2 e^{-\gamma \cdot x}\right) = 0 \quad \textbf{(C.62)}$$

Onde:

$$\frac{Z}{\gamma} = \frac{Z}{\sqrt{Z \cdot Y}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad \textbf{(C.63)}$$

$$\frac{\gamma}{Y} = \frac{\sqrt{Z \cdot Y}}{Y} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad \textbf{(C.64)}$$

Manipulando (C.61) e (C.62) e substituindo (C.63) e (C.64), tem-se:

$$2e^{\gamma \cdot x}\left(V_1 + I_1 \sqrt{\frac{Z}{Y}}\right) = 0 \quad \textbf{(C.65)}$$

$$2e^{-\gamma \cdot x}\left(V_2 - I_2 \sqrt{\frac{Z}{Y}}\right) = 0 \quad \textbf{(C.66)}$$

Logo, a partir de (C.65) e (C.66), tem-se:

$$-\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = Z_c \quad \textbf{(C.67)}$$

Onde Z_c é a impedância característica ou impedância de surto da linha monofásica ou da componente de modo. A impedância da linha vista de um ponto x da linha será:

$$Z(x) = \frac{\dot{V}(x)}{\dot{I}(x)} = \frac{V_1 e^{\gamma \cdot x} + V_2 e^{-\gamma \cdot x}}{I_1 e^{\gamma \cdot x} + I_2 e^{-\gamma \cdot x}} = \frac{V_1 + V_2 e^{-2 \cdot \gamma \cdot x}}{I_1 + I_2 e^{-2 \cdot \gamma \cdot x}} \quad \textbf{(C.68)}$$

Para uma linha infinita, ou seja, para $x \longrightarrow \infty$:

$$Z(\infty) = \frac{V_1}{I_1} = -Z_c \quad \textbf{(C.69)}$$

Supondo no lado gerador (emissor), em $x = 0$ define-se:

$$\dot{V}_g = \dot{V}(0) \quad \textbf{(C.70)}$$

$$\dot{I}_g = \dot{I}(0) \quad \textbf{(C.71)}$$

Conforme (C.52), (C.53) e (C.67), as equações (C.70) e (C.71) assumem a forma:

$$\dot{V}_g = V_1 + V_2 \quad \textbf{(C.72)}$$

$$\dot{I}_g = \frac{V_2}{Z_c} - \frac{V_1}{Z_c} \text{ ou } Z_c \cdot \dot{I}_g = V_2 - V_1 \quad \textbf{(C.73)}$$

Logo:

$$V_1 = \frac{\dot{V}_g - Z_c \cdot \dot{I}_g}{2} \quad \textbf{(C.74)}$$

$$V_2 = \frac{\dot{V}_g + Z_c \cdot \dot{I}_g}{2} \tag{C.75}$$

Substituindo (C.67) em (C.74) e (C.75):

$$I_1 = -\frac{\dot{V}_g - Z_c \cdot \dot{I}_g}{2Z_c} \tag{C.76}$$

$$I_2 = \frac{\dot{V}_g + Z_c \cdot \dot{I}_g}{2Z_c} \tag{C.77}$$

Substituindo (C.74), (C.75), (C.76) e (c.77) nas equações (C.52) e (C.53) vem que:

$$\dot{V}(x) = \left(\frac{\dot{V}_g - Z_c \cdot \dot{I}_g}{2} \right) e^{\gamma \cdot x} + \left(\frac{\dot{V}_g + Z_c \cdot \dot{I}_g}{2} \right) e^{-\gamma \cdot x} \tag{C.78}$$

$$\dot{I}(x) = \left(-\frac{\dot{V}_g - Z_c \cdot \dot{I}_g}{2Z_c} \right) e^{\gamma \cdot x} + \left(\frac{\dot{V}_g + Z_c \cdot \dot{I}_g}{2Z_c} \right) e^{-\gamma \cdot x} \tag{C.79}$$

Rearranjando as equações:

$$\dot{V}(x) = \frac{\dot{V}_g e^{\gamma \cdot x} + \dot{V}_g e^{-\gamma \cdot x}}{2} - Z_c \frac{\dot{I}_g e^{\gamma \cdot x} - \dot{I}_g e^{-\gamma \cdot x}}{2} \tag{C.80}$$

$$\dot{I}(x) = -\frac{\dot{V}_g e^{\gamma \cdot x} - \dot{V}_g e^{-\gamma \cdot x}}{2Z_c} + \frac{\dot{I}_g e^{\gamma \cdot x} + \dot{I}_g e^{-\gamma \cdot x}}{2} \tag{C.81}$$

Substituindo as identidades:

$$\cosh(a) = \frac{e^a + e^{-a}}{2} \tag{C.82}$$

$$senh(a) = \frac{e^{a} - e^{-a}}{2} \tag{C.83}$$

Podemos escrever:

$$\dot{V}(x) = \dot{V}_g \cosh(\gamma \cdot x) - Z_c \dot{I}_g senh(\gamma \cdot x) \tag{C.84}$$

$$\dot{I}(x) = -\frac{\dot{V}_g}{Z_c} senh(\gamma \cdot x) + \dot{I}_g \cosh(\gamma \cdot x) \tag{C.85}$$

Ou na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}(x) \\ \dot{I}(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma \cdot x) & -Z_c senh(\gamma \cdot x) \\ -\frac{1}{Z_c} senh(\gamma \cdot x) & \cosh(\gamma \cdot x) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_g \\ \dot{I}_g \end{bmatrix} \tag{C.86}$$

Na recepção x assume o valor do comprimento da linha l, portanto:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_r \\ \dot{I}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma \cdot l) & -Z_c senh(\gamma \cdot l) \\ -\frac{1}{Z_c} senh(\gamma \cdot l) & \cosh(\gamma \cdot l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_g \\ \dot{I}_g \end{bmatrix} \tag{C.87}$$

Em função das grandezas na recepção tem-se:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_g \\ \dot{I}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma \cdot l) & Z_c senh(\gamma \cdot l) \\ \frac{1}{Z_c} senh(\gamma \cdot l) & \cosh(\gamma \cdot l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_r \\ \dot{I}_r \end{bmatrix} \tag{C.88}$$

APÊNDICE D – CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO PRÓXIMO AO SOLO

Considerando o solo como um plano infinito condutor ideal é possível aplicar o método das imagens [1] para os condutores da linha, conforme mostra a Figura D.1.

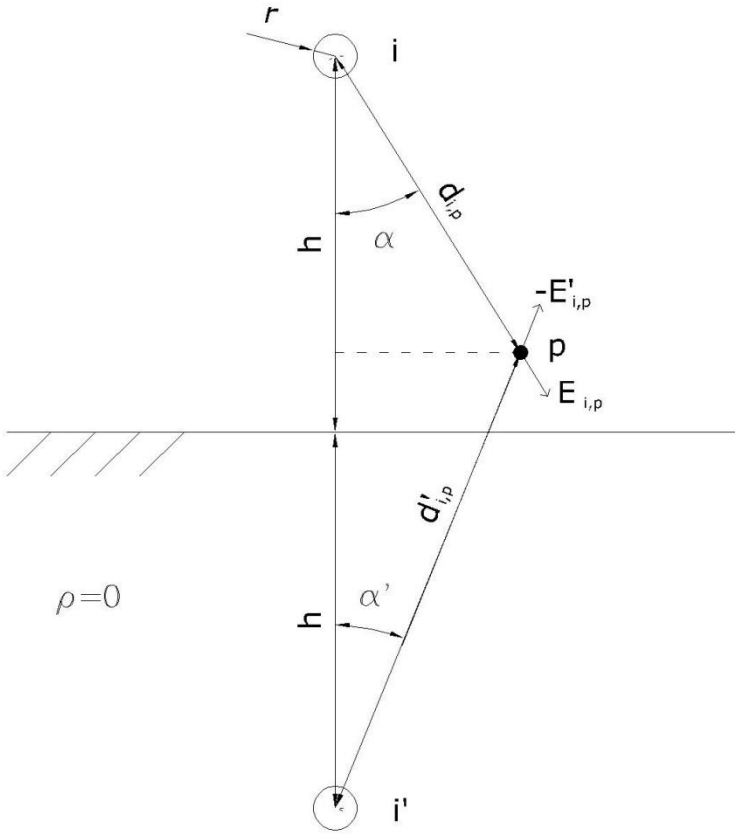

Figura D.1 - Campo elétrico em um ponto *p* acima do solo.

Assim, o campo elétrico causado em um dado ponto *p*, acima da superfície do solo devido à presença de um condutor qualquer *i*, carregado com densidade longitudinal de carga *q*, e sua imagem vale:

$$\dot{E}_p^i = \frac{\dot{q}_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{1}{d_{i,p}} \hat{d}_{i,p} - \frac{1}{d'_{i,p}} \hat{d}'_{i,p} \right] \qquad \textbf{(D.1)}$$

Onde:

$$d_{i,p} = \sqrt{\left(x_i - x_p\right)^2 + \left(y_i - y_p\right)^2} \quad \textbf{(D.2)}$$

$$d'_{i,p} = \sqrt{\left(x_i - x_p\right)^2 + \left(y_i + y_p\right)^2} \quad \textbf{(D.3)}$$

Sendo x_i e y_i as coordenadas retangulares do condutor i e x_p e y_p as coordenadas retangulares do ponto p. Os vetores unitários $\hat{d}_{i,p}$ e $\hat{d}'_{i,p}$ têm direção e sentido de i para p e de i' para p.

As componentes horizontal e vertical do campo elétrico podem ser calculadas respectivamente como:

$$\dot{E}^i_{x,p} = \frac{\dot{q}_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{sen(\alpha)}{d_{i,p}} - \frac{sen(\alpha')}{d'_{i,p}} \right] \quad \textbf{(D.4)}$$

$$\dot{E}^i_{y,p} = \frac{\dot{q}_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{\cos(\alpha)}{d_{i,p}} - \frac{\cos(\alpha')}{d'_{i,p}} \right] \quad \textbf{(D.5)}$$

Substituindo as relações trigonométricas:

$$\dot{E}^i_{x,p} = \frac{\dot{q}_i \left(x_p - x_i\right)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{1}{d^2_{i,p}} - \frac{1}{d'^2_{i,p}} \right] \quad \textbf{(D.6)}$$

$$\dot{E}^i_{y,p} = \frac{\dot{q}_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{\left(y_p - y_i\right)}{d^2_{i,p}} - \frac{\left(y_p + y_i\right)}{d'^2_{i,p}} \right] \quad \textbf{(D.7)}$$

As suas componentes retangulares no plano transversal do campo elétrico total produzido no ponto p por todos os condutores da linha de transmissão serão:

(D.8)

$$\dot{E}_x = \sum_{i=1}^{n_{cond}} \frac{\dot{q}_i \left(x_p - x_i\right)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{1}{d_{i,p}^2} - \frac{1}{d'^2_{i,p}} \right]$$

$$\dot{E}_y = \sum_{i=1}^{n_{cond}} \frac{\dot{q}_i}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[\frac{\left(y_p - y_i\right)}{d_{i,p}^2} - \frac{\left(y_p + y_i\right)}{d'^2_{i,p}} \right] \quad \textbf{(D.9)}$$

Estas componentes são fasores a serem representados por:

$$\dot{E}_x = \left|E_x\right| \angle \theta_x \quad \textbf{(D.10)}$$

$$\dot{E}_y = \left|E_y\right| \angle \theta_y \quad \textbf{(D.11)}$$

O cálculo do valor máximo do campo elétrico no ponto *p* é descrito no Apêndice F.

APÊNDICE E - CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO PRÓXIMO AO SOLO

O cálculo do campo magnético no solo foi baseado em [1]. Seja um condutor *i* qualquer, mostrado na Figura E.1, conduzindo uma corrente elétrica *I*.

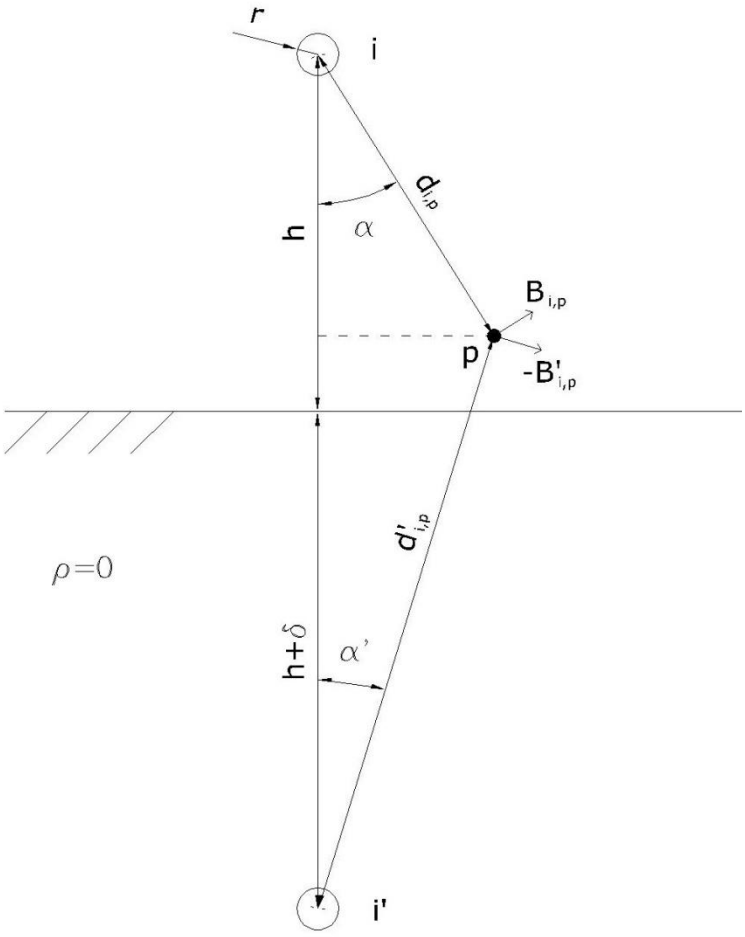

Figura E.1 - Campo magnético no ponto *p* provocado pela condução de corrente no condutor *i*.

As componentes horizontal e vertical do campo magnético no ponto *p* provocado pela presença de um condutor *i* qualquer são, respectivamente:

$$\dot{B}^{i}_{x,p} = -\dot{I}_i \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{y_p - y_i}{d^2_{i,p}} \qquad \textbf{(E.1)}$$

$$\dot{B}^{i}_{y,p} = \dot{I}_i \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{x_p - x_i}{d^2_{i,p}} \qquad \textbf{(E.2)}$$

Onde:

x_p : é a posição horizontal do ponto *p*;

y_p : é a altura do ponto *p* em relação ao solo;

$d_{i,p} = \sqrt{\left(x_p - x_i\right)^2 + \left(y_p - y_i\right)^2}$: é a distância do condutor *i* ao ponto *p*;

A corrente de retorno pelo solo também terá sua participação na indução magnética. Pelo método da imagem complexa o valor desta participação é dado por:

$$\dot{B}'^{i}_{x,p} = \dot{I}_i \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{y_p + y_i + \delta}{D^2_{i,p}} \qquad \textbf{(E.3)}$$

$$\dot{B}'^{i}_{y,p} = -\dot{I}_i \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{x_p - x_i}{D^2_{i,p}} \qquad \textbf{(E.4)}$$

Onde $D_{i,p}$, a distância do ponto *p* à imagem complexa do condutor *i*, vale:

$$D_{i,p} = \sqrt{\left(x_p - x_i\right)^2 + \left(y_p + y_i + \delta\right)^2} \qquad \textbf{(E.5)}$$

O fator de correção da distância complexa δ é dado por:

$$\delta = 711{,}8 \cdot \sqrt{\frac{\rho_s}{f}} \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - j \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \qquad \textbf{(E.6)}$$

Sendo ρ_s a resistividade do solo e *f* a frequência de operação da linha. O campo elétrico resultante sobre o ponto *p* será dado então pela soma das contribuições de todos os condutores e suas imagens:

$$\dot{B}_{x,p} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \sum_{i=1}^{n} \dot{I}_i \cdot \left(-\frac{y_p - y_i}{d^2_{i,p}} + \frac{y_p + y_i + \delta}{D^2_{i,p}} \right) \qquad \textbf{(E.7)}$$

$$\dot{B}_{y,p} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \sum_{i=1}^{n} \dot{I}_i \cdot \left(\frac{x_p - x_i}{d_{i,p}^2} - \frac{x_p - x_i}{D_{i,p}^2} \right) \qquad \textbf{(E.8)}$$

O valor máximo do campo magnético é obtido através da formulação dada no Apêndice F.

APÊNDICE F - CÁLCULO DO VALOR MÁXIMO DE UM VETOR BIDIMENSIONAL

Dado um vetor bidimensional variante no tempo, suas componentes em coordenadas retangulares são:

$$\vec{E}(t) = E_x(t) \cdot \hat{a}_x + E_y(t) \cdot \hat{a}_y \tag{F.1}$$

E o quadrado do valor instantâneo do vetor é dado por:

$$\left[E(t)\right]^2 = E_x^2(t) + E_y^2(t) \tag{F.2}$$

Ou ainda, expandindo as expressões de cada componente:

$$\left[E(t)\right]^2 = E_x^2 \cdot \cos^2\left(\omega \cdot t + \theta_x\right) + E_y^2 \cdot \cos^2\left(\omega \cdot t + \theta_y\right) \tag{F.3}$$

O valor máximo instantâneo é atingido no ponto estacionário dado quando:

$$\frac{\partial\left[E(t)\right]^2}{\partial t} = 0 \tag{F.4}$$

Conforme [1], o instante em que esta condição é satisfeita é dado por (F.5):

$$\tan\left(2 \cdot \omega \cdot t\right) = -\frac{E_x^2 \cdot sen\left(2 \cdot \theta_x\right) + E_y^2 \cdot sen\left(2 \cdot \theta_y\right)}{E_x^2 \cdot \cos\left(2 \cdot \theta_x\right) + E_y^2 \cdot \cos\left(2 \cdot \theta_y\right)} \tag{F.5}$$

O valor máximo do campo magnético é obtido substituindo o valor de t obtido em (F.5) na expressão (F.3).

APÊNDICE G - CÁLCULO DAS CORRENTES NOS SUBCONDUTORES

Em uma linha transposta as quedas de tensão longitudinais são determinadas em função das impedâncias longitudinais equilibradas e da corrente elétrica que cada fase conduz:

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{V}_a \\ \Delta\dot{V}_b \\ \Delta\dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_P & Z_M & Z_M \\ Z_M & Z_P & Z_M \\ Z_M & Z_M & Z_P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} \quad \textbf{(G.1)}$$

Com espaçadores condutores, o potencial elétrico dos subcondutores de cada fase é igualado, portanto, a queda de tensão que se apresenta na fase é a mesma para todos os subcondutores. Pode-se então afirmar que o subcondutor i pertencente à fase p irá apresentar queda de tensão:

$$\Delta\dot{V}_i = \Delta\dot{V}_p \quad \textbf{(G.2)}$$

Na forma matricial, as quedas de tensão em cada subcondutor serão dadas por:

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{V}_{a1} \\ \Delta\dot{V}_{b1} \\ \Delta\dot{V}_{c1} \\ \vdots \\ \Delta\dot{V}_{an_s} \\ \Delta\dot{V}_{bn_s} \\ \Delta\dot{V}_{cn_s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{a1,a1} & Z_{a1,b1} & Z_{a1,c1} & \cdots & Z_{a1,an_s} & Z_{a1,bn_s} & Z_{a1,cn_s} \\ Z_{b1,a1} & Z_{b1,b1} & Z_{b1,c1} & \cdots & Z_{b1,an_s} & Z_{b1,bn_s} & Z_{b1,cn_s} \\ Z_{c1,a1} & Z_{c1,b1} & Z_{c1,c1} & \cdots & Z_{c1,an_s} & Z_{c1,bn_s} & Z_{c1,cn_s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{an_s,a1} & Z_{an_s,b1} & Z_{an_s,c1} & \cdots & Z_{an_s,an_s} & Z_{an_s,bn_s} & Z_{an_s,cn_s} \\ Z_{bn_s,a1} & Z_{bn_s,b1} & Z_{bn_s,c1} & \cdots & Z_{bn_s,an_s} & Z_{bn_s,bn_s} & Z_{bn_s,cn_s} \\ Z_{cn_s,a1} & Z_{cn_s,b1} & Z_{cn_s,c1} & \cdots & Z_{cn_s,an_s} & Z_{cn_s,bn_s} & Z_{cn_s,cn_s} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_{a1} \\ \dot{I}_{b1} \\ \dot{I}_{c1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{an_s} \\ \dot{I}_{bn_s} \\ \dot{I}_{cn_s} \end{bmatrix} \quad \textbf{(G.3)}$$

Ou na forma reduzida:

$$[\Delta V] = [Z] \cdot [I] \quad \textbf{(G.4)}$$

As correntes em cada subcondutor podem então ser determinadas:

$$[I] = [Z]^{-1} \cdot [\Delta V] \quad \textbf{(G.5)}$$

RENAN DE PAULA MACIEL

MAXIMIZAÇÃO DA POTÊNCIA CARACTERÍSTICA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO USANDO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR

CAMPINAS
2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

RENAN DE PAULA MACIEL

MAXIMIZAÇÃO DA POTÊNCIA CARACTERÍSTICA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO USANDO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR

VOLUME II

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, na área de Energia Elétrica.

Orientador: Prof.ª Dr.ª Maria Cristina Dias Tavares

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO RENAN DE PAULA MACIEL, E ORIENTADA PELA PROF.A DR.A MARIA CRISTINA DIAS TAVARES

_____

CAMPINAS
2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

M187m

Maciel, Renan de Paula, 1984-
Maximização da potência característica de linhas de transmissão usando método de otimização não linear / Renan de Paula Maciel. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Maria Cristina Dias Tavares.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Energia elétrica - Transmissão. 2. Linhas de transmissão. 3. Otimização. 4. Método do gradiente projetado. I. Tavares, Maria Cristina Dias,1962-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Maximization of transmission line surge impedance loading by using non linear optimization method
Palavras-chave em inglês:
Electric power - Transmission
Transmission lines
Optimization
Projected gradient method
Área de concentração: Energia Elétrica
Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica
Banca examinadora:
Maria Cristina Dias Tavares [Orientador]
João Clavio Salari
Ernesto Ruppert Filho
Data de defesa: 11-03-2013
Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidato: Renan de Paula Maciel

Data da Defesa: 11 de março de 2013

Título da Tese: "Maximização da Potência Característica de Linhas de Transmissão Usando Método de Otimização Não Linear"

Profa. Dra. Maria Cristina Dias Tavares (Presidente): _____

Dr. João Clavio Salari: _____

Prof. Dr. Ernesto Ruppert Filho: _____

RESUMO

Neste trabalho é proposto um método de otimização para maximizar a potência característica de linhas de transmissão constituída por condutores em feixe. O método iterativo, baseado na minimização pelo gradiente, altera, a cada passo, a posição dos condutores dada na silhueta da torre construindo uma nova configuração dos feixes. Tal configuração corresponde a uma modificação da geometria dos feixes deslocando os condutores na direção que leva à máxima redução da função objetivo. São avaliadas a redução da impedância característica e a otimização do campo elétrico superficial dos condutores. A primeira busca o aumento da potência característica atuando diretamente no caminho de máxima redução da impedância característica. A segunda atua na uniformização do campo elétrico superficial dos condutores, cujo valor limite representa a principal restrição eletromagnética frente à elevação da potência característica no projeto de linhas de transmissão. A última se mostrou mais eficaz quando se permite a expansão dos feixes até que o campo elétrico superficial atinja o seu valor limite, resultando em linhas otimizadas com maior potência característica, porém, levando a feixes com dimensões mais elevadas.

Palavras-chave: Energia elétrica - Tansmissão. Linhas de Transmissão. Otimização. Método do gradiente projetado.

ABSTRACT

This work presents an optimization method aiming to maximize the surge impedance loading of bundled transmission lines. The iterative method, based on gradient optimization, changes, on each step, the conductors' position generating a new bundle configuration. Such configuration matches a change on bundles geometry by shifting conductors on the direction that leads to the maximum reduction of the objective function. Both the reduction of natural impedance and the optimization of conductor's superficial electric field are evaluated. The former seeks the increase of surge impedance loading actuating directly on the maximal surge impedance reduction path. The second acts on the uniformization of conductor's superficial electric field, whose upper bound is the main electromagnetic restriction on the surge impedance loading increase when designing transmission lines. The last one was most effective when bundle's expansion is allowed until superficial electric field reaches its limit, resulting in greatest natural power transmission lines, yet, leading to most expanded bundles.

Keywords: Electric power - Transmission. Transmission lines. Optimization. Projected gradient method.

SUMÁRIO

VOLUME I

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 1
1.1 - MOTIVAÇÃO 1
1.2 - INTRODUÇÃO AOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS 2
1.3 - ESTRUTURA DO TRABALHO 5
1.4 - PUBLICAÇÕES 7
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8
2.1 - BREVE HISTÓRICO DO ESTUDO E DA APLICAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM CONDUTORES EM FEIXE 8
2.2 - BREVE DESCRIÇÃO DE TRABALHOS RELACIONADOS POR TEMA 9
2.3 - DOS CONDUTORES EM FEIXE 10
2.4 - DO CAMPO ELÉTRICO EM VÃOS 11
2.5 - DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL 12
2.5.1 - Dos Objetivos 12
2.5.2 - Da Abordagem 13
2.5.3 - Detalhamento 13
2.6 - DAS PROPOSTAS DE LINHA DE TRANSMISSÃO 14
CAPÍTULO 3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 16
3.1 - INTRODUÇÃO 16
3.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS LONGITUDINAIS 16
3.3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS TRANSVERSAIS 17
3.4 - PARÂMETROS ELÉTRICOS EM COMPONENTES SIMÉTRICAS 18
3.5 - ANÁLISE NUMÉRICA DA PARTICIPAÇÃO DAS COMPONENTES DA IMPEDÂNCIA LONGITUDINAL DE SEQUÊNCIA POSITIVA 20
3.6 - POTÊNCIA CARACTERÍSTICA 24
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA IMPEDÂNCIA LONGITUDINAL DE SEQUÊNCIA POSITIVA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 28
4.1 - INTRODUÇÃO 28
4.2 - FORMA RECURSIVA DA REDUÇÃO DE KRON 28
4.3 - EXPANSÃO DA DERIVADA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 29

4.4 - DERIVADA DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS CONDICIONADA EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 32
CAPÍTULO 5 - PRINCÍPIOS DE OTIMIZAÇÃO NÃO-LINEAR 39
5.1 - INTRODUÇÃO 39
5.2 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO IRRESTRITA 39
5.3 - PRINCÍPIOS GERAIS DE RESOLUÇÃO 40
5.4 - MÉTODO DAS APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS OU MÉTODO DO GRADIENTE 40
5.5 - PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO COM RESTRIÇÕES DE DESIGUALDADE E O MÉTODO DO GRADIENTE PROJETADO 41
5.6 - TRANSFORMAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA FEIXES SIMÉTRICOS 44
5.7 - APLICABILIDADE DO MÉTODO DO GRADIENTE À OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 45
CAPÍTULO 6 - MINIMIZAÇÃO DA REATÂNCIA EXTERNA 47
6.1 - PRINCÍPIOS BÁSICOS E METODOLOGIA 47
6.2 - OBJETIVO E PROCEDIMENTO 49
6.3 - PROGRAMA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO 51
6.3.1 - Estrutura do programa 51
6.4 - CONJUNTO DE CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS NA INICIALIZAÇÃO DO PROCESSO 56
6.5 - RESULTADOS OBTIDOS 60
6.5.1 - Caracterização das configurações otimizadas 61
6.5.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 62
6.5.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 75
6.5.2 - Análise da evolução de casos representativos 102
6.5.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 103
6.5.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 130
6.5.3 - Análise consolidada dos resultados 164
6.5.3.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 164
6.5.3.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 185
CAPÍTULO 7 - CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL E O EFEITO COROA 205
7.1 - INTRODUÇÃO 205
7.2 - CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL MÉDIO 208
7.3 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL 208

7.4 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM FEIXES COM DISPOSIÇÃO REGULAR DE CONDUTORES 210
7.5 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM FEIXES COM DISPOSIÇÃO QUALQUER DE CONDUTORES 215
7.6 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DAS OUTRAS FASES 220
7.7 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM CADA UMA DAS FASES 229
7.8 - IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL PARA TODA A LINHA 231
7.9 - EXPRESSÃO APROXIMADA DA POTÊNCIA CARACTERÍSTICA 232
CAPÍTULO 8 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 234
8.1 - INTRODUÇÃO 234
8.2 - SENSIBILIDADE DA IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 234
8.3 - DERIVADA DA MATRIZ DE CAPACITÂNCIAS EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES DOS CONDUTORES 243
8.4 - DERIVADA DO FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS 245
CAPÍTULO 9 - MINIMIZAÇÃO DO FATOR DE IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL 248
9.1 - PRINCÍPIOS BÁSICOS E METODOLOGIA 248
9.2 - RESULTADOS OBTIDOS 249
9.2.1 - Caracterização das configurações otimizadas 249
9.2.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 250
9.2.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 263
9.2.2 - Análise da evolução de casos representativos 290
9.2.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 290
9.2.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 314
9.2.3 - Análise consolidada dos resultados 345
9.2.3.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 345
9.2.3.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 365
CAPÍTULO 10 - CONCLUSÕES 384
10.1 - TRABALHOS FUTUROS 387
REFERÊNCIAS 388
APÊNDICES 393

APÊNDICE A – CÁLCULO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 394
A.1 - INTRODUÇÃO 394
A.2 - IMPEDÂNCIA INTERNA 395
A.3 - REATÂNCIA EXTERNA 401
A.4 - REATÂNCIA EXTERNA MÚTUA 405
A.5 - IMPEDÂNCIA DEVIDO AO EFEITO DO SOLO REAL 407
A.6 - ADMITÂNCIA TRANSVERSAL 411
A.7 - ADMITÂNCIA TRANSVERSAL MÚTUA 416
APÊNDICE B - CÁLCULO MATRICIAL DE PARÂMETROS ELÉTRICOS DE LINHA DE TRANSMISSÃO COM CONDUTORES EM FEIXE 419
B.1 - INTRODUÇÃO 419
B.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS LONGITUDINAIS NA FORMA MATRICIAL 419
B.3 - PARÂMETROS ELÉTRICOS TRANSVERSAIS NA FORMA MATRICIAL 420
B.4 - REDUÇÃO DOS PARÂMETROS DE LINHA DE TRANSMISSÃO A UM ELEMENTO TRIFÁSICO 422
B.5 - CONDICIONAMENTO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS 423
B.5.1 - Aplicação da condição de contorno das tensões 423
B.5.2 - Aplicação da condição de contorno das correntes 425
B.6 - REDUÇÃO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS CONDICIONADA 427
B.7 - CONSIDERAÇÃO SOBRE OS CABOS PÁRA-RAIOS NA REDUÇÃO DA MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS LONGITUDINAIS 428
B.7.1 - Cabos pára-raios continuamente aterrados 428
B.7.2 - Cabos pára-raios isolados 428
B.8 - REDUÇÃO DA MATRIZ DE ADMITÂNCIAS TRANSVERSAIS 429
B.9 - CONSIDERAÇÃO SOBRE OS CABOS PÁRA-RAIOS NA REDUÇÃO DA MATRIZ DE ADMITÂNCIAS TRANSVERSAIS 431
B.9.1 - Cabos pára-raios continuamente aterrados 431
B.9.2 - Cabos pára-raios isolados 432
B.10 - TRANSPOSIÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 432
APÊNDICE C - PARÂMETROS ELÉTRICOS EM MODOS DE COMPONENTES SIMÉTRICAS 435
C.1 - MODOS DE COMPONENTES SIMÉTRICAS 435
C.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS DISTRIBUÍDOS 441

APÊNDICE D – CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO PRÓXIMO AO SOLO 449
APÊNDICE E - CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO PRÓXIMO AO SOLO..... 452
APÊNDICE F - CÁLCULO DO VALOR MÁXIMO DE UM VETOR BIDIMENSIONAL 455
APÊNDICE G - CÁLCULO DAS CORRENTES NOS SUBCONDUTORES..... 456

VOLUME II

APÊNDICE H – RESULTADOS DA MINIMIZAÇÃO DA REATÂNCIA EXTERNA 1
H.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES OTIMIZADAS 1
H.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical..... 1
H.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 22
H.2 - EVOLUÇÃO DE CASOS REPRESENTATIVOS 59
H.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical..... 59
H.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 132
APÊNDICE I – RESULTADOS DA MINIMIZAÇÃO DO FATOR DE IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL 185
I.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES OTIMIZADAS 185
I.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 185
I.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical..... 207
I.2 - EVOLUÇÃO DE CASOS REPRESENTATIVOS 244
I.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical 244
I.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical..... 284

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, aos meus amigos e à minha companheira, Alejandra

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores da FEEC, pelo conhecimento passado durante as aulas ministradas. Aos companheiros de laboratório pelas contribuições através de comentários e discussões no dia-a-dia e em nossas reuniões. À professora Maria Cristina, pelo ensino, orientação e trabalho em conjunto ao longo de todo o período do curso.

Aos meus familiares, especialmente aos meus pais por todo apoio e incentivo à continuidade de meus estudos. Aos meus amigos que me acompanharam na graduação, na FEG-UNESP e na pós-graduação na UNICAMP, e que tornaram o período de estudos uma ótima experiência de vida.

Especialmente à minha companheira, Alejandra, por sempre estar ao meu lado me apoiando e me fazendo feliz.

À UNICAMP por disponibilizar uma estrutura acadêmica excelente e à CAPES pelo oferecimento da bolsa de estudos.

LISTA DE FIGURAS

VOLUME I

Figura 1.1: Campo magnético H e campo elétrico E no entorno do condutor, o produto vetorial de ambos fornece vetor de Poynting P. 2

Figura 1.2: Disposição horizontal de fases sem (a) e com (b) deslocamento vertical da fase central. 4

Figura 3.1: Silhueta da torre da linha de transmissão. 21

Figura 6.1: Coordenadas da posição de um condutor na silhueta da torre – y corresponde à altura média do condutor ao longo da linha. 48

Figura 6.2: Exemplo de deslocamento dos condutores. 49

Figura 6.3: Fluxograma de uma iteração do processo de otimização 52

Figura 6.4: Exemplos de feixes com simetria vertical (a) e sem simetria vertical (b) 59

Figura 6.5: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com dois subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d). 59

Figura 6.6: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com quatro subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d). 60

Figura 6.7: Alocação de subcondutores verticais no feixe regular com seis subcondutores. Feixe regular original (a). Feixe com um subcondutor vertical alocado (b). Feixe com dois subcondutores verticais alocados (c). Feixe com três subcondutores verticais alocados (d). 60

Figura 6.8: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 106

Figura 6.9: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 106

Figura 6.10: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 107

Figura 6.11: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 108

Figura 6.12: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 109

Figura 6.13: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional..... 109

Figura 6.14: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional..... 110

Figura 6.15: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 111

Figura 6.16: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 112

Figura 6.17: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 112

Figura 6.18: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 113

Figura 6.19: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 114

Figura 6.20: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 115

Figura 6.21: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 115

Figura 6.22: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 116

Figura 6.23: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 117

Figura 6.24: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 118

Figura 6.25: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 118

Figura 6.26: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 119

Figura 6.27: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 120

Figura 6.28: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 121

Figura 6.29: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 121

Figura 6.30: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 122

Figura 6.31: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 123

Figura 6.32: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 124

Figura 6.33: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 124

Figura 6.34: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 125

Figura 6.35: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 126

Figura 6.36: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)..... 127

Figura 6.37: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta 127

Figura 6.38: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta..... 128

Figura 6.39: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 129

Figura 6.40: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 131

Figura 6.41: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional..... 131

Figura 6.42: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional..... 132

Figura 6.43: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 133

Figura 6.44: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 134

Figura 6.45: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 134

Figura 6.46: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 135

Figura 6.47: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 136

Figura 6.48: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 137

Figura 6.49: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 137

Figura 6.50: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 138

Figura 6.51: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 139

Figura 6.52: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 140

Figura 6.53: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional..... 140

Figura 6.54: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 141

Figura 6.55: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 142

Figura 6.56: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 143

Figura 6.57: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 143

Figura 6.58: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 144

Figura 6.59: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 145

Figura 6.60: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 146

Figura 6.61: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 146

Figura 6.62: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 147

Figura 6.63: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 148

Figura 6.64: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de

isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 149

Figura 6.65: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 149

Figura 6.66: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 150

Figura 6.67: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 151

Figura 6.68: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 152

Figura 6.69: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 152

Figura 6.70: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional..... 153

Figura 6.71: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 154

Figura 6.72: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 155

Figura 6.73: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional..... 155

Figura 6.74: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional..... 156

Figura 6.75: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 157

Figura 6.76: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 158

Figura 6.77: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 158

Figura 6.78: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional..... 159

Figura 6.79: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 160

Figura 6.80: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 161

Figura 6.81: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 161

Figura 6.82: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 162

Figura 6.83: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 163

Figura 6.84: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 167

Figura 6.85: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 168

Figura 6.86: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 168

Figura 6.87: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 169

Figura 6.88: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 169

Figura 6.89: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 170

Figura 6.90: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 170

Figura 6.91: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 171

Figura 6.92: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 171

Figura 6.93: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 172

Figura 6.94: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 172

Figura 6.95: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 173

Figura 6.96: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 173

Figura 6.97: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o

nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 174

Figura 6.98: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 174

Figura 6.99: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 175

Figura 6.100: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 175

Figura 6.101: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 176

Figura 6.102: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 176

Figura 6.103: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 177

Figura 6.104: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 177

Figura 6.105: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 178

Figura 6.106: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 178

Figura 6.107: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 179

Figura 6.108: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 179

Figura 6.109: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 180

Figura 6.110: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 180

Figura 6.111: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 181

Figura 6.112: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 181

Figura 6.113: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 182

Figura 6.114: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 182

Figura 6.115: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 183

Figura 6.116: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 183

Figura 6.117: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 184

Figura 6.118: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 184

Figura 6.119: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 185

Figura 6.120: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 187

Figura 6.121: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 187

Figura 6.122: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 188

Figura 6.123: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 188

Figura 6.124: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 189

Figura 6.125: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 189

Figura 6.126: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 190

Figura 6.127: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 190

Figura 6.128: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 191

Figura 6.129: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica

o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 191

Figura 6.130: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 192

Figura 6.131: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 192

Figura 6.132: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 193

Figura 6.133: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 193

Figura 6.134: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 194

Figura 6.135: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 194

Figura 6.136: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 195

Figura 6.137: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 195

Figura 6.138: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 196

Figura 6.139: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 196

Figura 6.140: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 197

Figura 6.141: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 197

Figura 6.142: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 198

Figura 6.143: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 198

Figura 6.144: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 199

Figura 6.145: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 199

Figura 6.146: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 200

Figura 6.147: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 200

Figura 6.148: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 201

Figura 6.149: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 201

Figura 6.150: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda

indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 202

Figura 6.151: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 202

Figura 6.152: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 203

Figura 6.153: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 203

Figura 6.154: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 204

Figura 6.155: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização da reatância externa de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 204

Figura 7.1 - Representação dos parâmetros associados à geometria do feixe. 210

Figura 7.2 - Efeito de um condutor descarregado inserido em um campo elétrico uniforme. 212

Figura 7.3 - Representação do raio do feixe R_0, do raio expandido R'_0 considerando o deslocamento das linhas de carga e das distâncias R_a e R_b..... 214

Figura 7.4 - Grandezas associadas ao cálculo do fator de irregularidade de feixes assimétricos: distâncias entre condutores (a) e deslocamento da linha de carga no interior do condutor (b)... 216

Figura 9.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 293

Figura 9.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 293

Figura 9.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com

disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 294

Figura 9.4: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 295

Figura 9.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 296

Figura 9.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 296

Figura 9.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 297

Figura 9.8: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 298

Figura 9.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 299

Figura 9.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 299

Figura 9.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 300

Figura 9.12: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 301

Figura 9.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 302

Figura 9.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 302

Figura 9.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 303

Figura 9.16: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 304

Figura 9.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 305

Figura 9.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 305

Figura 9.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 306

Figura 9.20: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 307

Figura 9.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 308

Figura 9.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 308

Figura 9.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 309

Figura 9.24: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 310

Figura 9.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 311

Figura 9.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 311

Figura 9.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional..... 312

Figura 9.28: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 313

Figura 9.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 315

Figura 9.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional..... 315

Figura 9.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional..... 316

Figura 9.32: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 317

Figura 9.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 318

Figura 9.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 318

Figura 9.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 319

Figura 9.36: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 320

Figura 9.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 321

Figura 9.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 321

Figura 9.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 322

Figura 9.40: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 323

Figura 9.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 324

Figura 9.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 324

Figura 9.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 325

Figura 9.44: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 326

Figura 9.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 327

Figura 9.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 327

Figura 9.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 328

Figura 9.48: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta..... 329

Figura 9.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 330

Figura 9.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 330

Figura 9.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 331

Figura 9.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 332

Figura 9.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 333

Figura 9.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 333

Figura 9.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 334

Figura 9.56: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional..... 335

Figura 9.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 336

Figura 9.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 336

Figura 9.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 337

Figura 9.60: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 338

Figura 9.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 339

Figura 9.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 339

Figura 9.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 340

Figura 9.64: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 341

Figura 9.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 342

Figura 9.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 342

Figura 9.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da

linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 343

Figura 9.68: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 344

Figura 9.69: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 347

Figura 9.70: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 347

Figura 9.71: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 348

Figura 9.72: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 348

Figura 9.73: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 349

Figura 9.74: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 349

Figura 9.75: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 350

Figura 9.76: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 350

Figura 9.77: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 351

Figura 9.78: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 351

Figura 9.79: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 352

Figura 9.80: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 352

Figura 9.81: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 353

Figura 9.82: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 353

Figura 9.83: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 354

Figura 9.84: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 354

Figura 9.85: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 355

Figura 9.86: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 355

Figura 9.87: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 356

Figura 9.88: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 356

Figura 9.89: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 357

Figura 9.90: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 357

Figura 9.91: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 358

Figura 9.92: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 358

Figura 9.93: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 359

Figura 9.94: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 359

Figura 9.95: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 360

Figura 9.96: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 360

Figura 9.97: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 361

Figura 9.98: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 361

Figura 9.99: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A

legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 362

Figura 9.100: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 362

Figura 9.101: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 363

Figura 9.102: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 363

Figura 9.103: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 364

Figura 9.104: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 364

Figura 9.105: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 366

Figura 9.106: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 366

Figura 9.107: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 367

Figura 9.108: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 367

Figura 9.109: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria

vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 368

Figura 9.110: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 368

Figura 9.111: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 369

Figura 9.112: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 369

Figura 9.113: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 370

Figura 9.114: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 370

Figura 9.115: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 371

Figura 9.116: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 371

Figura 9.117: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 372

Figura 9.118: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 372

Figura 9.119: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos

feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 373

Figura 9.120: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 373

Figura 9.121: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 374

Figura 9.122: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o nível de tensão de operação, em kV, e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 374

Figura 9.123: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 375

Figura 9.124: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 375

Figura 9.125: Variação de Pc versus o produto Nsub * Diâmetro dos subcondutores das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 376

Figura 9.126: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 376

Figura 9.127: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 377

Figura 9.128: Variação de Pc versus a seção condutora total dos feixes das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A

legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 377

Figura 9.129: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 378

Figura 9.130: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 378

Figura 9.131: Variação de Pc versus o peso total dos feixes por unidade de comprimento das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 379

Figura 9.132: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 379

Figura 9.133: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 380

Figura 9.134: Variação de Pc versus a largura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 380

Figura 9.135: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 381

Figura 9.136: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 381

Figura 9.137: Variação de Pc versus a altura do feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta)..... 382

Figura 9.138: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações finais resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 382

Figura 9.139: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas na ativação da primeira restrição. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 383

Figura 9.140: Variação de Pc versus a área da menor seção transversal retangular que encerra o feixe externo das configurações resultantes da otimização do fator de irregularidade do campo elétrico superficial de linhas a 765 kV com simetria vertical dos feixes obtidas a 50 % do ganho de potência característica. A legenda indica o número de subcondutores centrais e a distância de isolação: CV (convencional) e CP (compacta) 383

Figura A.1 - Dimensões representadas nos cortes transversal e longitudinal do condutor cilíndrico. 395

Figura A.2 - Campo magnético gerado em torno do condutor. 402

Figura A.3 - Campo magnético no corte transversal de um condutor cilíndrico. 403

Figura A.4 - Indutância entre dois pontos no corte transversal de um condutor cilíndrico. 403

Figura A.5 - Condutor cilíndrico conduzindo corrente *I* sobre o solo ideal. A imagem representa o retorno da corrente pelo solo. 404

Figura A.6 - Dois condutores conduzindo corrente sobre o solo ideal. As imagens representam o retorno das correntes pelo solo. 406

Figura A.7 - Condutores i e p sobre o solo. 409

Figura A.8 - Condutor cilíndrico energizado com densidade linear de carga *q*. A curva *L* é concêntrica ao cilindro. 412

Figura A.9 - Capacitância entre dois pontos devida à presença do condutor cilíndrico carregado com densidade linear de carga *q*. 413

Figura A.10 - Condutor energizado disposto sobre o solo. 414

Figura A.11 - Condutor cilíndrico carregado com densidade linear de carga *q* sobre o solo ideal. A imagem representa a carga induzida no solo. 415

Figura A.12 - Dois condutores energizados sobre o solo ideal. As imagens representam as cargas induzidas no solo. 416

Figura B.1 - Transposição de fases, usual para correção do desequilíbrio de parâmetros elétricos. 433

Figura C.1 - Elemento longitudinal curto de uma linha monofásica. 441

Figura D.1 - Campo elétrico em um ponto *p* acima do solo. 449

Figura E.1 - Campo magnético no ponto *p* provocado pela condução de corrente no condutor *i*. 452

VOLUME II

Figura H.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional..... 60

Figura H.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional..... 60

Figura H.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional..... 61

Figura H.4: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional..... 62

Figura H.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta..... 63

Figura H.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta..... 63

Figura H.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta..... 64

Figura H.8: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta..... 65

Figura H.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional..... 66

Figura H.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional 66

Figura H.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional 67

Figura H.12: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional 68

Figura H.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 69

Figura H.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 69

Figura H.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 70

Figura H.16: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 71

Figura H.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 72

Figura H.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 72

Figura H.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 73

Figura H.20: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 74

Figura H.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 75

Figura H.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 75

Figura H.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 76

Figura H.24: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 77

Figura H.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 78

Figura H.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 78

Figura H.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 79

Figura H.28: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 80

Figura H.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 81

Figura H.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 81

Figura H.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 82

Figura H.32: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 83

Figura H.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 84

Figura H.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 84

Figura H.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 85

Figura H.36: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 86

Figura H.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 87

Figura H.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 87

Figura H.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 88

Figura H.40: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 89

Figura H.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 90

Figura H.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 90

Figura H.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por

condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 91

Figura H.44: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 92

Figura H.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 93

Figura H.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 93

Figura H.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 94

Figura H.48: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 95

Figura H.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 96

Figura H.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta 96

Figura H.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta 97

Figura H.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 98

Figura H.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 99

Figura H.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 99

Figura H.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 100

Figura H.56: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 101

Figura H.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 102

Figura H.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 102

Figura H.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 103

Figura H.60: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 104

Figura H.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 105

Figura H.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 105

Figura H.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 106

Figura H.64: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 107

Figura H.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 108

Figura H.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 108

Figura H.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 109

Figura H.68: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 110

Figura H.69: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 111

Figura H.70: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 111

Figura H.71: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 112

Figura H.72: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 113

Figura H.73: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 114

Figura H.74: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 114

Figura H.75: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 115

Figura H.76: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 116

Figura H.77: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 117

Figura H.78: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 117

Figura H.79: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 118

Figura H.80: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 119

Figura H.81: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 120

Figura H.82: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 120

Figura H.83: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 121

Figura H.84: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 122

Figura H.85: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 123

Figura H.86: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 123

Figura H.87: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por

condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 124

Figura H.88: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 125

Figura H.89: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 126

Figura H.90: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 126

Figura H.91: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 127

Figura H.92: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 128

Figura H.93: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 129

Figura H.94: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta 129

Figura H.95: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta 130

Figura H.96: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 131

Figura H.97: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 133

Figura H.98: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 133

Figura H.99: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 134

Figura H.100: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 135

Figura H.101: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional..... 136

Figura H.102: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional..... 136

Figura H.103: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional..... 137

Figura H.104: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional..... 138

Figura H.105: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional..... 139

Figura H.106: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional..... 139

Figura H.107: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional..... 140

Figura H.108: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional..... 141

Figura H.109: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 142

Figura H.110: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 142

Figura H.111: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 143

Figura H.112: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 144

Figura H.113: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 145

Figura H.114: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 145

Figura H.115: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 146

Figura H.116: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 147

Figura H.117: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 148

Figura H.118: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 148

Figura H.119: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 149

Figura H.120: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 150

Figura H.121: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 151

Figura H.122: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 151

Figura H.123: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 152

Figura H.124: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 153

Figura H.125: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 154

Figura H.126: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 154

Figura H.127: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 155

Figura H.128: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 156

Figura H.129: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 157

Figura H.130: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 157

Figura H.131: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e

deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 158

Figura H.132: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 159

Figura H.133: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 160

Figura H.134: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 160

Figura H.135: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 161

Figura H.136: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 162

Figura H.137: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 163

Figura H.138: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 163

Figura H.139: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 164

Figura H.140: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 165

Figura H.141: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 166

Figura H.142: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 166

Figura H.143: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 167

Figura H.144: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 168

Figura H.145: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 169

Figura H.146: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 169

Figura H.147: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 170

Figura H.148: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 171

Figura H.149: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 172

Figura H.150: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 172

Figura H.151: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 173

Figura H.152: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 174

Figura H.153: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta 175

Figura H.154: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta..... 175

Figura H.155: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta..... 176

Figura H.156: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta..... 177

Figura H.157: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 178

Figura H.158: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 178

Figura H.159: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 179

Figura H.160: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 180

Figura H.161: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 181

Figura H.162: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 181

Figura H.163: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 182

Figura H.164: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 183

Figura I.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 245

Figura I.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 245

Figura I.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 246

Figura I.4: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 247

Figura I.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 248

Figura I.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 248

Figura I.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 249

Figura I.8: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 250

Figura I.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 251

Figura I.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 251

Figura I.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 252

Figura I.12: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 253

Figura I.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 254

Figura I.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 254

Figura I.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 255

Figura I.16: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 256

Figura I.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 257

Figura I.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 257

Figura I.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 258

Figura I.20: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 259

Figura I.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 260

Figura I.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 260

Figura I.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J

(g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 261

Figura I.24: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 262

Figura I.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 263

Figura I.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 263

Figura I.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 264

Figura I.28: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 265

Figura I.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 266

Figura I.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 266

Figura I.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 267

Figura I.32: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 268

Figura I.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 269

Figura I.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 269

Figura I.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 270

Figura I.36: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 271

Figura I.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 272

Figura I.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 272

Figura I.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 273

Figura I.40: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 274

Figura I.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 275

Figura I.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 275

Figura I.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 276

Figura I.44: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 277

Figura I.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 278

Figura I.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 278

Figura I.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 279

Figura I.48: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 280

Figura I.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 281

Figura I.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional 281

Figura I.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 282

Figura I.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 283

Figura I.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 285

Figura I.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional..... 285

Figura I.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com

disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 286

Figura I.56: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 287

Figura I.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 288

Figura I.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 288

Figura I.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 289

Figura I.60: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 290

Figura I.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 291

Figura I.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 291

Figura I.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 292

Figura I.64: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 293

Figura I.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 294

Figura I.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 294

Figura I.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional..... 295

Figura I.68: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 296

Figura I.69: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional..... 297

Figura I.70: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional..... 297

Figura I.71: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional..... 298

Figura I.72: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional..... 299

Figura I.73: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 300

Figura I.74: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional..... 300

Figura I.75: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional..... 301

Figura I.76: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 302

Figura I.77: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 303

Figura I.78: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 303

Figura I.79: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 304

Figura I.80: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 305

Figura I.81: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 306

Figura I.82: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 306

Figura I.83: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 307

Figura I.84: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 308

Figura I.85: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 309

Figura I.86: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 309

Figura I.87: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 310

Figura I.88: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 311

Figura I.89: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 312

Figura I.90: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 312

Figura I.91: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 313

Figura I.92: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 314

Figura I.93: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 315

Figura I.94: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 315

Figura I.95: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 316

Figura I.96: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 317

Figura I.97: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 318

Figura I.98: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 318

Figura I.99: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento

vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 319

Figura I.100: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 320

Figura I.101: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 321

Figura I.102: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 321

Figura I.103: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 322

Figura I.104: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 323

Figura I.105: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 324

Figura I.106: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 324

Figura I.107: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 325

Figura I.108: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 326

Figura I.109: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 327

Figura I.110: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 327

Figura I.111: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 328

Figura I.112: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 329

Figura I.113: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 330

Figura I.114: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional 330

Figura I.115: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional 331

Figura I.116: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 332

Figura I.117: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 333

Figura I.118: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 333

Figura I.119: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 334

Figura I.120: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c) 335

Figura I.121: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de

isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 336

Figura I.122: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 336

Figura I.123: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 337

Figura I.124: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 338

Figura I.125: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 339

Figura I.126: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 339

Figura I.127: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 340

Figura I.128: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 341

Figura I.129: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 342

Figura I.130: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 342

Figura I.131: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 343

Figura I.132: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 344

Figura I.133: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c) 345

Figura I.134: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 345

Figura I.135: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional..... 346

Figura I.136: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)..... 347

LISTA DE TABELAS

VOLUME I

Tabela 3.1 - Dados dos cabos de fase. 21

Tabela 6.1: Condutores escolhidos para o processo de otimização 57

Tabela 6.2: Níveis de tensão de operação adotados para as linhas de transmissão a serem otimizadas 57

Tabela 6.3: Distâncias de isolação adotadas para os correspondentes níveis de tensão de operação para linhas convencional e compacta 58

Tabela 6.4: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 63

Tabela 6.5: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 67

Tabela 6.6: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 71

Tabela 6.7: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 73

Tabela 6.8: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 76

Tabela 6.9: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 85

Tabela 6.10: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 94

Tabela 6.11: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 98

Tabela 6.12: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 108

Tabela 6.13: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 108

Tabela 6.14: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 111

Tabela 6.15: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 111

Tabela 6.16: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 114

Tabela 6.17: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 114

Tabela 6.18: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 117

Tabela 6.19: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 117

Tabela 6.20: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 120

Tabela 6.21: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 120

Tabela 6.22: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 123

Tabela 6.23: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação compacta 123

Tabela 6.24: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 126

Tabela 6.25: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 126

Tabela 6.26: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta 129

Tabela 6.27: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação compacta 129

Tabela 6.28: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional 133

Tabela 6.29: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 765 kV com distância de isolação convencional 133

Tabela 6.30: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 136

Tabela 6.31: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 136

Tabela 6.32: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 139

Tabela 6.33: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 139

Tabela 6.34: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 142

Tabela 6.35: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 142

Tabela 6.36: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 145

Tabela 6.37: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 145

Tabela 6.38: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 148

Tabela 6.39: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 148

Tabela 6.40: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 151

Tabela 6.41: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 151

Tabela 6.42: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 154

Tabela 6.43: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação convencional 154

Tabela 6.44: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 157

Tabela 6.45: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 157

Tabela 6.46: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 160

Tabela 6.47: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 160

Tabela 6.48: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 163

Tabela 6.49: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 163

Tabela 7.1 - Fatores de superfície, segundo Miller. 207

Tabela 9.1: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 251

Tabela 9.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 255

Tabela 9.3: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 259

Tabela 9.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 261

Tabela 9.5: Parâmetros elétricos das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 264

Tabela 9.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 765 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 273

Tabela 9.7: Parâmetros elétricos das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 282

Tabela 9.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1000 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 286

Tabela 9.9: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 295

Tabela 9.10: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 295

Tabela 9.11: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 298

Tabela 9.12: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 298

Tabela 9.13: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 301

Tabela 9.14: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 765 kV com distância de isolação convencional 301

Tabela 9.15: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 304

Tabela 9.16: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 304

Tabela 9.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 307

Tabela 9.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo RAIL a 1000 kV com distância de isolação convencional 307

Tabela 9.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 310

Tabela 9.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo DRAKE a 1000 kV com distância de isolação convencional 310

Tabela 9.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 313

Tabela 9.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 313

Tabela 9.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 317

Tabela 9.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo DRAKE a 765 kV com distância de isolação convencional 317

Tabela 9.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 320

Tabela 9.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 765 kV com distância de isolação convencional 320

Tabela 9.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 323

Tabela 9.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 323

Tabela 9.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 326

Tabela 9.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 326

Tabela 9.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 329

Tabela 9.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 329

Tabela 9.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 332

Tabela 9.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 332

Tabela 9.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 335

Tabela 9.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 765 kV com distância de isolação convencional 335

Tabela 9.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 338

Tabela 9.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo CHUKAR a 765 kV com distância de isolação compacta 338

Tabela 9.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 341

Tabela 9.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 341

Tabela 9.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 344

Tabela 9.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1000 kV com distância de isolação convencional 344

VOLUME II

Tabela H.1: Parâmetros elétricos das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 2

abela H.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 3

Tabela H.3: Parâmetros elétricos das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 4

Tabela H.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 5

Tabela H.5: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 6

Tabela H.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 9

Tabela H.7: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 12

Tabela H.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 16

Tabela H.9: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 20

Tabela H.10: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 21

Tabela H.11: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical 23

Tabela H.12: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 29

Tabela H.13: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 35

Tabela H.14: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 45

Tabela H.15: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 55

Tabela H.16: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 57

Tabela H.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 62

Tabela H.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 62

Tabela H.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta 65

Tabela H.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta 65

Tabela H.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional 68

Tabela H.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional 68

Tabela H.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 71

Tabela H.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 71

Tabela H.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 74

Tabela H.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 74

Tabela H.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 77

Tabela H.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 77

Tabela H.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 80

Tabela H.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 80

Tabela H.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 83

Tabela H.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta 83

Tabela H.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 86

Tabela H.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta 86

Tabela H.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 89

Tabela H.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 89

Tabela H.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 92

Tabela H.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 92

Tabela H.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 95

Tabela H.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 95

Tabela H.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta 98

Tabela H.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta 98

Tabela H.43: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 101

Tabela H.44: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 101

Tabela H.45: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 104

Tabela H.46: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta 104

Tabela H.47: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 107

Tabela H.48: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 107

Tabela H.49: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 110

Tabela H.50: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 110

Tabela H.51: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 113

Tabela H.52: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 113

Tabela H.53: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 116

Tabela H.54: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 116

Tabela H.55: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 119

Tabela H.56: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 119

Tabela H.57: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 122

Tabela H.58: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta 122

Tabela H.59: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 125

Tabela H.60: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 125

Tabela H.61: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 128

Tabela H.62: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 128

Tabela H.63: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta 131

Tabela H.64: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta 131

Tabela H.65: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 135

Tabela H.66: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 135

Tabela H.67: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional 138

Tabela H.68: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional 138

Tabela H.69: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 141

Tabela H.70: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 141

Tabela H.71: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 144

Tabela H.72: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional 144

Tabela H.73: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 147

Tabela H.74: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 147

Tabela H.75: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 150

Tabela H.76: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 150

Tabela H.77: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 153

Tabela H.78: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 153

Tabela H.79: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 156

Tabela H.80: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 156

Tabela H.81: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 159

Tabela H.82: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional 159

Tabela H.83: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 162

Tabela H.84: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 162

Tabela H.85: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 165

Tabela H.86: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 165

Tabela H.87: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 168

Tabela H.88: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 168

Tabela H.89: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 171

Tabela H.90: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 171

Tabela H.91: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 174

Tabela H.92: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 174

Tabela H.93: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta 177

Tabela H.94: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta 177

Tabela H.95: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 180

Tabela H.96: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 180

Tabela H.97: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 183

Tabela H.98: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 183

Tabela I.1: Parâmetros elétricos das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 186

Tabela I.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 187

Tabela I.3: Parâmetros elétricos das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 188

Tabela I.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 189

Tabela I.5: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 190

Tabela I.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 194

Tabela I.7: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 197

Tabela I.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 201

Tabela I.9: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 205

Tabela I.10: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical. 206

Tabela I.11: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 208

Tabela I.12: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 214

Tabela I.13: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 220

Tabela I.14: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 230

Tabela I.15: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 240

Tabela I.16: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical. 242

Tabela I.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 247

Tabela I.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional 247

Tabela I.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 250

Tabela I.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta 250

Tabela I.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 253

Tabela I.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 253

Tabela I.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 256

Tabela I.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional 256

Tabela I.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 259

Tabela I.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 259

Tabela I.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 262

Tabela I.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 262

Tabela I.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 265

Tabela I.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 265

Tabela I.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 268

Tabela I.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 268

Tabela I.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 271

Tabela I.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional 271

Tabela I.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 274

Tabela I.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 274

Tabela I.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 277

Tabela I.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 277

Tabela I.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 280

Tabela I.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional 280

Tabela I.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional 283

Tabela I.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional 283

Tabela I.43: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 287

Tabela I.44: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 287

Tabela I.45: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 290

Tabela I.46: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional 290

Tabela I.47: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 293

Tabela I.48: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional 293

Tabela I.49: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 296

Tabela I.50: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 296

Tabela I.51: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 299

Tabela I.52: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 299

Tabela I.53: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 302

Tabela I.54: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 302

Tabela I.55: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 305

Tabela I.56: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional 305

Tabela I.57: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 308

Tabela I.58: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 308

Tabela I.59: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 311

Tabela I.60: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 311

Tabela I.61: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 314

Tabela I.62: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 314

Tabela I.63: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 317

Tabela I.64: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 317

Tabela I.65: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 320

Tabela I.66: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 320

Tabela I.67: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 323

Tabela I.68: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional 323

Tabela I.69: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 326

Tabela I.70: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional 326

Tabela I.71: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 329

Tabela I.72: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional 329

Tabela I.73: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional 332

Tabela I.74: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional 332

Tabela I.75: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 335

Tabela I.76: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 335

Tabela I.77: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 338

Tabela I.78: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 338

Tabela I.79: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional 341

Tabela I.80: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional 341

Tabela I.81: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 344

Tabela I.82: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 344

Tabela I.83: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 347

Tabela I.84: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional 347

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LPNE - Linha de Potência Natural Elevada

EHV - *Extra High Voltage*

UHV - *Ultra High Voltage*

RI - Rádio-Interferência

APÊNDICE H – RESULTADOS DA MINIMIZAÇÃO DA REATÂNCIA EXTERNA

Neste apêndice são mostrados os resultados obtidos com a execução do procedimento explicado no Capítulo 6 exceto para os níveis de tensão 765 kV e 1000 kV, que já foram apresentados no referido capítulo.

H.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES OTIMIZADAS

Nesta secção são mostrados os resultados no mesmo formato que é explicado na secção 6.5.1, exceto para os níveis de tensão 765 kV e 1000 kV, que já foram apresentados no referido capítulo.

H.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Tabela H.1: Parâmetros elétricos das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
138	Não	2	BITTERN	0,93	9,2	45,1	172,72 - j8,97	109,96	29,64	0,357	0,365	0,0231
			BLUEJAY	0,93	9,7	47,1	174,79 - j10,20	108,58	29,25	0,403	0,412	0,0263
			CHUKAR	0,93	8,0	40,2	167,37 - j6,66	113,61	30,58	0,264	0,269	0,0171
			DRAKE	0,93	10,8	51,0	179,10 - j13,81	105,70	27,98	0,550	0,564	0,0356
			GROSBEAK	0,94	11,8	54,8	182,69 - j17,13	103,33	27,27	0,674	0,690	0,0442
			LINNET	0,94	15,3	67,3	194,18 - j31,94	95,49	24,64	1,189	1,216	0,0831
			RAIL	0,93	10,4	49,5	177,23 - j11,74	106,98	28,77	0,464	0,474	0,0303
	Sim	2	BITTERN	0,88	10,8	52,6	154,79 - j8,98	122,62	18,75	0,399	0,420	0,0231
			BLUEJAY	0,89	11,4	54,9	156,85 - j10,21	120,90	18,49	0,449	0,473	0,0263
			CHUKAR	0,88	9,4	47,3	149,54 - j6,67	127,10	19,31	0,295	0,312	0,0172
			DRAKE	0,89	12,5	59,2	161,57 - j13,84	117,01	17,19	0,610	0,646	0,0357
			GROSBEAK	0,89	13,6	63,4	165,17 - j17,17	114,07	16,70	0,744	0,787	0,0443
			LINNET	0,90	17,5	77,1	176,81 - j31,94	104,31	14,85	1,302	1,370	0,0832
			RAIL	0,89	12,0	57,5	159,30 - j11,76	118,90	18,13	0,516	0,543	0,0303

abela H.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
138	Não	2	BITTERN	8,31	35,44	18,29	5,30	0,57	5,27	1,00
			BLUEJAY	8,29	35,29	18,30	5,30	0,57	5,27	1,00
			CHUKAR	8,30	35,63	17,94	5,31	0,59	5,28	1,00
			DRAKE	8,26	35,55	15,63	5,35	0,72	5,30	1,00
			GROSBEAK	8,28	35,54	15,60	5,35	0,72	5,30	1,00
			LINNET	8,32	35,22	15,27	5,36	0,74	5,31	1,00
			RAIL	8,32	35,29	18,09	5,31	0,58	5,28	1,00
	Sim	2	BITTERN	8,31	29,57	18,67	3,56	0,84	3,46	1,00
			BLUEJAY	8,31	29,49	18,68	3,56	0,83	3,46	1,00
			CHUKAR	8,29	29,68	18,33	3,57	0,87	3,46	1,00
			DRAKE	8,33	29,25	16,02	3,61	0,99	3,47	1,00
			GROSBEAK	8,32	29,07	15,99	3,61	0,98	3,47	1,00
			LINNET	8,32	28,38	15,66	3,61	0,98	3,47	1,00
			RAIL	8,32	29,40	18,47	3,56	0,84	3,46	1,00

Tabela H.3: Parâmetros elétricos das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
230	Não	2	BITTERN	0,95	13,9	67,8	188,17 - j8,96	280,49	34,31	0,547	0,554	0,0231
			BLUEJAY	0,95	14,7	70,9	190,26 - j10,19	277,25	33,89	0,618	0,625	0,0263
			CHUKAR	0,95	12,0	60,3	182,73 - j6,65	289,11	35,38	0,402	0,408	0,0171
			DRAKE	0,95	16,3	77,0	194,12 - j13,79	271,14	32,83	0,847	0,859	0,0356
			GROSBEAK	0,95	17,8	82,9	197,72 - j17,12	265,56	32,05	1,038	1,053	0,0442
			LINNET	0,98	20,4	90,0	232,45 - j32,08	223,32	16,77	1,661	1,664	0,0830
			RAIL	0,95	15,6	74,6	192,67 - j11,73	273,54	33,38	0,712	0,720	0,0303
	Sim	2	BITTERN	0,92	16,1	78,7	166,25 - j8,97	317,27	27,86	0,619	0,632	0,0231
			BLUEJAY	0,92	17,0	82,1	168,32 - j10,20	313,13	27,49	0,698	0,712	0,0263
			CHUKAR	0,91	14,1	70,3	160,90 - j6,66	328,21	28,79	0,457	0,467	0,0171
			DRAKE	0,92	18,8	88,9	172,64 - j13,82	304,47	26,26	0,952	0,974	0,0356
			GROSBEAK	0,94	19,3	89,9	183,27 - j17,17	286,14	20,82	1,119	1,121	0,0442
			RAIL	0,92	18,1	86,2	170,75 - j11,75	308,34	27,02	0,803	0,819	0,0303

Tabela H.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
230	Não	2	BITTERN	8,28	33,35	19,25	6,98	0,52	6,96	1,00
			BLUEJAY	8,28	33,28	19,25	6,98	0,53	6,96	1,00
			CHUKAR	8,29	33,62	18,91	6,98	0,53	6,96	1,00
			DRAKE	8,29	33,40	16,56	7,04	0,65	7,01	1,00
			GROSBEAK	8,27	33,17	16,53	7,04	0,66	7,01	1,00
			LINNET	8,26	28,85	16,71	2,61	0,06	2,61	1,00
			RAIL	8,25	33,13	19,04	6,98	0,54	6,96	1,00
	Sim	2	BITTERN	8,25	37,46	19,16	4,70	0,46	4,67	1,00
			BLUEJAY	8,27	37,46	19,16	4,70	0,46	4,67	1,00
			CHUKAR	8,26	37,73	18,83	4,70	0,48	4,68	1,00
			DRAKE	8,29	38,16	16,44	4,72	0,57	4,69	1,00
			GROSBEAK	8,32	32,03	16,97	2,55	0,00	2,55	1,00
			RAIL	8,29	37,55	18,94	4,70	0,47	4,68	1,00

Tabela H.5: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	3	BITTERN	0,90	16,3	79,6	175,07 - j6,02	679,05	41,26	0,592	0,678	0,0157
			BLUEJAY	0,90	17,3	83,3	176,45 - j6,85	673,53	40,91	0,671	0,768	0,0179
			CHUKAR	0,89	14,1	70,4	171,48 - j4,48	693,62	42,14	0,432	0,497	0,0117
			DRAKE	0,92	18,8	89,1	177,59 - j9,24	668,43	41,19	0,932	1,047	0,0241
			GROSBEAK	0,95	19,2	89,4	184,79 - j11,46	641,65	36,87	1,115	1,181	0,0296
			LINNET	0,88	20,4	89,9	256,88 - j21,55	460,11	1,24	1,512	1,550	0,0554
			RAIL	0,90	18,4	87,9	177,94 - j7,88	667,60	40,66	0,776	0,887	0,0206
		4	BITTERN	0,88	15,9	77,3	138,93 - j4,60	855,77	61,99	0,564	0,629	0,0120
			BLUEJAY	0,89	16,8	81,0	139,97 - j5,23	849,15	61,48	0,639	0,713	0,0136
			CHUKAR	0,88	13,7	68,4	136,15 - j3,42	873,68	63,35	0,411	0,460	0,0089
			DRAKE	0,89	18,7	88,6	141,47 - j7,06	839,26	60,74	0,884	0,985	0,0184
			GROSBEAK	0,93	19,2	89,2	145,07 - j8,69	817,54	57,83	1,072	1,195	0,0226
			LINNET	0,96	20,4	90,0	177,23 - j16,17	666,05	31,91	1,645	1,703	0,0417
			RAIL	0,89	17,9	85,5	141,15 - j6,02	841,71	60,91	0,739	0,824	0,0157
		5	BITTERN	0,80	14,2	69,3	137,76 - j3,70	863,40	52,87	0,454	0,589	0,0097
			BLUEJAY	0,80	15,0	72,7	138,42 - j4,21	859,10	52,72	0,517	0,668	0,0110
			CHUKAR	0,79	12,3	61,6	135,52 - j2,76	877,94	53,81	0,330	0,432	0,0072
			DRAKE	0,81	16,8	79,4	139,32 - j5,68	852,89	52,49	0,718	0,924	0,0149

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	5	GROSBEAK	0,81	18,4	85,6	140,82 - j7,03	843,10	51,77	0,887	1,135	0,0184
			LINNET	0,96	20,3	89,4	145,16 - j12,94	813,47	49,62	1,613	1,720	0,0336
			RAIL	0,81	16,0	76,5	139,37 - j4,84	852,96	52,31	0,598	0,771	0,0127
	Sim	3	BITTERN	0,85	18,3	89,1	163,65 - j6,14	726,27	28,74	0,635	0,742	0,0158
			BLUEJAY	0,89	18,6	90,0	162,70 - j6,92	730,25	30,31	0,727	0,820	0,0178
			CHUKAR	0,83	16,0	79,9	160,16 - j4,58	742,54	29,31	0,464	0,546	0,0118
			DRAKE	0,89	18,9	89,7	178,95 - j9,31	663,34	19,74	0,922	1,004	0,0239
			GROSBEAK	0,87	19,3	89,9	197,22 - j11,56	601,45	9,85	1,044	1,124	0,0296
			RAIL	0,91	18,8	89,9	168,11 - j7,93	706,46	27,04	0,819	0,888	0,0203
		4	BITTERN	0,84	18,0	88,0	128,19 - j4,73	927,24	46,56	0,615	0,697	0,0122
			BLUEJAY	0,85	18,4	89,1	130,92 - j5,33	907,65	44,28	0,684	0,774	0,0137
			CHUKAR	0,83	15,7	78,3	125,44 - j3,52	948,12	47,65	0,449	0,511	0,0091
			DRAKE	0,93	18,8	89,2	129,09 - j7,04	919,27	47,52	0,963	1,020	0,0181
			GROSBEAK	0,94	19,3	90,0	139,45 - j8,73	850,19	37,77	1,112	1,164	0,0224
			LINNET	0,78	20,4	89,8	216,29 - j16,31	547,20	-8,46	1,349	1,387	0,0416
			RAIL	0,92	18,7	89,5	126,78 - j6,02	936,70	49,86	0,819	0,890	0,0155
		5	BITTERN	0,73	15,9	77,5	132,45 - j3,81	897,87	32,70	0,474	0,635	0,0098
			BLUEJAY	0,74	16,7	80,9	133,29 - j4,32	892,07	32,47	0,538	0,718	0,0111
			CHUKAR	0,72	13,9	69,7	130,13 - j2,84	914,26	33,41	0,345	0,468	0,0073

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Sim	5	DRAKE	0,75	18,6	88,2	134,15 - j5,84	885,55	32,55	0,747	0,994	0,0150
			GROSBEAK	0,85	19,2	89,3	126,87 - j7,11	935,23	41,16	0,986	1,146	0,0183
			LINNET	0,86	20,4	89,9	158,18 - j13,10	747,34	15,84	1,479	1,639	0,0335
			RAIL	0,75	17,8	85,0	134,14 - j4,97	886,11	32,31	0,623	0,829	0,0128

Tabela H.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	3	BITTERN	8,30	17,99	24,34	7,85	7,28	6,58	1,19
			BLUEJAY	8,26	17,89	24,34	7,85	7,28	6,59	1,19
			CHUKAR	8,31	18,11	24,10	7,85	7,28	6,55	1,20
			DRAKE	8,30	18,30	21,48	7,16	6,36	7,16	1,02
			GROSBEAK	8,25	19,23	20,90	5,48	3,67	7,56	1,16
			LINNET	8,27	25,06	19,55	0,53	0,47	0,52	1,01
			RAIL	8,29	17,90	24,05	7,86	7,28	6,60	1,19
		4	BITTERN	8,29	20,26	25,74	6,29	7,35	6,29	1,11
			BLUEJAY	8,29	20,25	25,70	6,29	7,35	6,29	1,11
			CHUKAR	8,28	20,31	25,50	6,30	7,34	6,30	1,11
			DRAKE	8,28	20,24	22,99	6,31	7,37	6,31	1,10
			GROSBEAK	8,29	19,77	22,71	6,55	6,62	6,82	1,11
			LINNET	8,25	20,70	21,45	2,25	2,04	4,20	1,06
			RAIL	8,29	20,22	25,45	6,29	7,35	6,29	1,10
		5	BITTERN	8,26	19,17	26,40	5,69	8,76	7,34	1,37
			BLUEJAY	8,32	19,21	26,34	5,69	8,77	7,36	1,36
			CHUKAR	8,28	19,27	26,12	5,70	8,75	7,32	1,38
			DRAKE	8,32	19,23	23,62	5,69	8,80	7,42	1,34

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	5	GROSBEAK	8,32	19,18	23,54	5,68	8,81	7,44	1,33
			LINNET	8,27	19,54	22,70	5,77	6,55	6,83	3,04
			RAIL	8,31	19,17	26,11	5,69	8,77	7,37	1,35
	Sim	3	BITTERN	8,27	23,98	23,50	4,07	3,75	3,28	1,24
			BLUEJAY	8,27	26,21	23,07	3,26	2,71	3,30	1,06
			CHUKAR	8,26	22,97	23,51	4,21	3,91	3,33	1,27
			DRAKE	7,40	35,91	18,97	1,65	1,37	1,65	1,16
			GROSBEAK	8,31	31,40	19,36	0,96	0,94	0,94	1,02
			RAIL	8,26	27,10	22,52	2,39	1,85	2,97	1,04
		4	BITTERN	8,28	24,41	24,75	3,55	4,32	3,55	1,14
			BLUEJAY	8,30	25,29	24,53	3,30	3,66	3,30	1,16
			CHUKAR	8,29	24,56	24,46	3,54	4,30	3,54	1,16
			DRAKE	8,28	24,24	20,33	4,00	2,86	8,16	1,60
			GROSBEAK	8,31	26,22	20,15	3,98	4,21	5,04	2,03
			LINNET	7,63	29,96	19,04	0,30	0,30	0,30	1,00
			RAIL	8,18	23,57	23,25	4,25	3,58	7,74	1,34
		5	BITTERN	8,32	24,41	24,97	2,79	4,21	3,50	1,45
			BLUEJAY	8,32	24,38	24,95	2,79	4,22	3,50	1,44
			CHUKAR	8,28	24,38	24,70	2,84	4,28	3,52	1,47

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Sim	5	DRAKE	8,32	24,29	22,29	2,85	4,32	3,58	1,43
			GROSBEAK	8,32	24,80	22,11	3,20	4,41	3,75	1,52
			LINNET	8,26	28,18	20,30	0,96	1,86	1,44	1,16
			RAIL	8,29	24,29	24,75	2,79	4,22	3,51	1,43

Tabela H.7: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	3	BITTERN	0,96	18,4	90,0	201,11 - j5,99	1242,00	32,74	0,743	0,752	0,0154
			BLUEJAY	0,95	18,6	90,0	214,93 - j6,82	1161,98	24,83	0,794	0,801	0,0175
			CHUKAR	0,94	17,8	89,2	182,47 - j4,44	1369,28	44,33	0,586	0,634	0,0115
			RAIL	0,92	18,8	90,0	236,63 - j7,86	1055,35	14,05	0,841	0,850	0,0202
		4	BITTERN	0,95	18,3	89,2	156,60 - j4,52	1595,05	56,24	0,718	0,763	0,0117
			BLUEJAY	0,96	18,5	89,3	162,40 - j5,13	1537,85	51,28	0,790	0,818	0,0132
			CHUKAR	0,89	17,8	89,0	147,04 - j3,39	1699,27	64,58	0,549	0,605	0,0088
			DRAKE	0,96	19,0	90,0	179,18 - j6,94	1393,12	37,93	1,001	1,028	0,0178
			GROSBEAK	0,94	19,3	89,8	199,15 - j8,61	1253,01	24,96	1,124	1,151	0,0221
			RAIL	0,96	18,8	90,0	172,25 - j5,90	1449,67	43,29	0,868	0,889	0,0152
		5	BITTERN	0,84	18,3	89,1	145,50 - j3,66	1717,14	58,14	0,621	0,764	0,0095
			BLUEJAY	0,89	18,5	89,2	143,71 - j4,14	1738,18	60,65	0,718	0,825	0,0108
			CHUKAR	0,82	15,9	79,4	143,72 - j2,73	1738,88	58,60	0,450	0,559	0,0071
			DRAKE	0,94	18,9	89,7	148,21 - j5,56	1684,46	56,50	0,971	1,041	0,0144
			GROSBEAK	0,95	19,2	89,6	161,26 - j6,89	1547,43	44,65	1,113	1,162	0,0178
			LINNET	0,83	20,3	89,4	235,29 - j12,97	1059,29	0,94	1,439	1,483	0,0332
			RAIL	0,92	18,7	89,3	146,63 - j4,74	1703,19	58,05	0,820	0,899	0,0123
		6	BITTERN	0,82	17,5	85,6	130,28 - j3,12	1917,79	66,72	0,581	0,712	0,0081

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	6	BLUEJAY	0,83	18,4	89,1	130,82 - j3,54	1909,61	66,53	0,661	0,808	0,0092
			CHUKAR	0,81	15,1	75,6	128,49 - j2,32	1944,97	67,64	0,421	0,519	0,0060
			DRAKE	0,90	18,8	89,2	132,13 - j4,70	1889,69	65,53	0,912	1,042	0,0122
			GROSBEAK	0,94	19,2	89,2	137,47 - j5,80	1815,29	59,88	1,092	1,180	0,0150
			LINNET	0,94	20,4	90,0	173,14 - j10,82	1438,32	28,81	1,631	1,676	0,0278
			RAIL	0,87	18,7	89,2	131,59 - j4,03	1898,10	66,11	0,765	0,906	0,0105
		7	BITTERN	0,74	16,5	80,6	131,19 - j2,68	1904,77	58,03	0,495	0,682	0,0070
			BLUEJAY	0,75	17,5	84,4	131,71 - j3,05	1897,08	57,84	0,563	0,773	0,0079
			CHUKAR	0,73	14,3	71,5	129,79 - j2,00	1925,80	58,56	0,357	0,498	0,0052
			DRAKE	0,79	18,8	89,2	130,95 - j4,09	1907,23	59,30	0,792	1,033	0,0107
			GROSBEAK	0,87	19,2	89,1	129,39 - j5,04	1929,16	61,90	1,001	1,177	0,0131
			LINNET	0,93	20,4	89,9	152,16 - j9,30	1636,94	39,43	1,594	1,695	0,0240
			RAIL	0,75	18,6	89,0	132,29 - j3,50	1888,50	57,63	0,654	0,893	0,0091
		8	BITTERN	0,74	15,8	76,9	121,94 - j2,41	2049,41	62,69	0,468	0,642	0,0063
			BLUEJAY	0,74	16,7	80,5	122,41 - j2,74	2041,28	62,47	0,532	0,728	0,0071
			CHUKAR	0,72	13,6	68,2	120,65 - j1,80	2071,65	63,32	0,338	0,469	0,0047
			DRAKE	0,75	18,6	87,9	122,99 - j3,69	2030,83	62,20	0,741	1,007	0,0096
			GROSBEAK	0,81	19,2	89,2	123,08 - j4,50	2028,45	62,72	0,924	1,181	0,0117
			LINNET	0,95	20,3	89,3	132,38 - j8,16	1881,30	52,95	1,607	1,717	0,0211

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	8	RAIL	0,75	17,8	84,9	122,94 - j3,14	2032,15	62,21	0,618	0,842	0,0082
	Sim	3	CHUKAR	0,87	18,0	89,9	191,11 - j4,49	1307,42	18,31	0,559	0,604	0,0115
		4	BITTERN	0,87	18,4	89,8	166,66 - j4,56	1498,92	24,61	0,674	0,734	0,0117
			BLUEJAY	0,86	18,6	89,9	178,36 - j5,19	1400,50	17,02	0,718	0,788	0,0133
			CHUKAR	0,92	17,8	89,2	137,82 - j3,39	1812,89	48,71	0,584	0,616	0,0087
		5	BITTERN	0,89	18,4	90,0	132,45 - j3,67	1886,08	46,29	0,681	0,744	0,0094
			BLUEJAY	0,86	18,6	89,8	144,16 - j4,19	1732,74	34,98	0,714	0,801	0,0107
			CHUKAR	0,86	17,8	89,2	121,67 - j2,76	2053,73	57,47	0,534	0,613	0,0071
			DRAKE	0,86	19,0	90,0	159,20 - j5,62	1568,39	23,04	0,903	0,967	0,0144
			GROSBEAK	0,80	19,3	90,0	186,30 - j6,97	1340,05	5,92	0,962	1,031	0,0178
			RAIL	0,86	18,8	89,9	152,30 - j4,80	1639,88	28,37	0,787	0,866	0,0123
		6	BITTERN	0,89	18,3	89,4	111,81 - j3,11	2234,30	61,74	0,676	0,741	0,0080
			BLUEJAY	0,90	18,6	89,9	115,52 - j3,51	2162,06	57,12	0,746	0,821	0,0090
			CHUKAR	0,81	17,8	89,2	109,53 - j2,37	2281,45	63,48	0,497	0,615	0,0061
			DRAKE	0,89	19,0	90,0	128,87 - j4,73	1937,26	41,66	0,932	1,008	0,0121
			GROSBEAK	0,86	19,3	89,9	145,98 - j5,86	1709,81	25,86	1,026	1,122	0,0149
			RAIL	0,91	18,8	89,9	120,97 - j4,02	2064,37	50,68	0,829	0,886	0,0103
		7	BITTERN	0,81	18,3	89,2	109,86 - j2,76	2274,16	56,96	0,597	0,728	0,0071
			BLUEJAY	0,85	18,5	89,5	108,33 - j3,09	2305,79	59,69	0,688	0,805	0,0079

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	7	CHUKAR	0,63	17,4	87,0	122,51 - j2,09	2040,14	39,51	0,381	0,586	0,0054
			DRAKE	0,90	19,0	89,9	111,46 - j4,11	2239,96	55,99	0,930	1,028	0,0105
			GROSBEAK	0,87	19,3	89,9	125,40 - j5,07	1990,30	39,43	1,029	1,145	0,0130
			LINNET	0,77	20,4	89,7	181,97 - j9,38	1370,22	-2,21	1,332	1,439	0,0239
			RAIL	0,81	13,6	64,9	163,93 - j3,34	1524,38	5,99	0,522	0,585	0,0087
		8	BITTERN	0,75	18,3	89,2	104,07 - j2,47	2400,91	57,29	0,554	0,726	0,0064
			BLUEJAY	0,81	18,5	89,4	102,05 - j2,79	2448,00	60,89	0,646	0,785	0,0072
			CHUKAR	0,65	16,8	84,0	110,57 - j1,92	2260,31	46,81	0,373	0,561	0,0049
			DRAKE	0,86	18,9	89,4	103,76 - j3,66	2406,43	58,95	0,879	1,031	0,0094
			GROSBEAK	0,89	19,2	89,3	108,03 - j4,46	2310,34	53,44	1,049	1,161	0,0114
			LINNET	0,90	20,4	89,7	137,29 - j8,23	1814,40	22,57	1,548	1,648	0,0210
			RAIL	0,85	18,7	89,4	102,37 - j3,15	2439,85	60,93	0,745	0,898	0,0081

Tabela H.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	3	BITTERN	8,25	19,48	27,33	3,54	2,48	4,99	1,08
			BLUEJAY	8,31	19,89	27,20	2,39	1,83	3,25	1,02
			CHUKAR	8,31	18,67	27,34	7,43	5,69	8,33	1,11
			RAIL	8,33	19,99	26,88	1,57	1,54	1,49	1,14
		4	BITTERN	8,32	19,60	28,82	5,48	5,33	8,30	1,07
			BLUEJAY	8,25	19,32	28,47	4,71	4,31	8,40	1,13
			CHUKAR	8,32	20,17	29,66	6,88	7,48	6,88	1,11
			DRAKE	8,25	19,85	25,80	2,97	2,86	5,04	1,00
			GROSBEAK	8,29	20,04	25,48	1,97	1,96	2,83	1,01
			RAIL	8,26	19,81	28,12	3,47	3,15	6,46	1,03
		5	BITTERN	8,33	19,48	30,54	5,82	9,08	8,23	1,23
			BLUEJAY	8,31	19,78	30,32	5,59	8,59	7,82	1,22
			CHUKAR	8,31	19,48	30,35	5,91	9,10	8,18	1,28
			DRAKE	8,33	19,60	27,66	5,81	7,34	7,35	1,97
			GROSBEAK	8,31	19,61	27,33	3,65	6,92	4,76	3,29
			LINNET	8,30	21,72	23,80	0,48	0,74	0,78	1,00
			RAIL	8,32	19,66	30,44	5,54	7,80	7,02	1,57
		6	BITTERN	8,31	20,05	31,23	5,34	8,83	8,45	1,35

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	6	BLUEJAY	8,31	20,06	31,17	5,36	8,83	8,50	1,35
			CHUKAR	8,31	20,11	31,00	5,36	8,81	8,40	1,37
			DRAKE	8,30	20,25	27,70	4,71	7,88	9,66	1,12
			GROSBEAK	8,32	20,00	27,34	4,64	6,55	10,06	1,38
			LINNET	8,25	19,48	26,31	1,68	2,71	4,57	1,22
			RAIL	8,33	20,22	30,52	4,76	8,46	9,09	1,11
		7	BITTERN	8,30	19,74	32,25	4,72	9,51	7,48	1,51
			BLUEJAY	8,32	19,75	32,20	4,72	9,52	7,51	1,50
			CHUKAR	8,32	19,81	31,99	4,74	9,49	7,42	1,53
			DRAKE	8,32	19,86	29,29	4,27	9,33	7,94	1,28
			GROSBEAK	8,31	19,97	28,79	3,91	8,90	8,70	1,18
			LINNET	8,30	20,26	27,13	2,57	4,81	5,53	1,51
			RAIL	8,32	19,73	31,95	4,71	9,53	7,54	1,49
		8	BITTERN	8,30	20,15	32,47	4,46	9,27	8,01	1,63
			BLUEJAY	8,32	20,16	32,42	4,46	9,28	8,03	1,62
			CHUKAR	8,32	20,23	32,18	4,48	9,24	7,97	1,66
			DRAKE	8,32	20,17	29,72	4,45	9,32	8,08	1,60
			GROSBEAK	8,31	20,35	29,39	3,86	8,83	8,37	1,33
			LINNET	8,33	19,81	28,07	4,21	7,54	8,48	2,01

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	8	RAIL	8,32	20,15	32,18	4,45	9,29	8,05	1,61
	Sim	3	CHUKAR	8,30	25,21	25,41	1,56	1,49	1,53	1,03
		4	BITTERN	8,28	23,94	26,91	1,87	2,21	1,87	1,10
			BLUEJAY	8,33	25,29	25,83	2,08	2,00	2,30	5,91
			CHUKAR	8,30	22,42	26,22	4,52	3,81	7,23	1,46
		5	BITTERN	8,30	23,42	28,46	3,68	4,61	4,77	2,09
			BLUEJAY	8,29	24,88	27,32	2,06	3,29	3,65	1,28
			CHUKAR	8,30	23,07	28,55	5,51	7,25	5,92	1,75
			DRAKE	8,31	24,84	24,54	1,79	2,77	1,79	2,38
			GROSBEAK	8,30	27,64	22,85	0,83	1,19	0,83	1,85
			RAIL	8,29	24,76	26,90	1,55	3,16	2,44	1,16
		6	BITTERN	8,32	23,10	28,39	4,58	5,86	10,45	2,08
			BLUEJAY	8,32	22,76	28,55	4,61	5,29	9,48	2,35
			CHUKAR	8,30	23,61	29,17	4,22	7,41	8,08	1,11
			DRAKE	8,30	23,33	25,29	2,85	3,52	6,18	1,41
			GROSBEAK	8,32	24,23	24,50	1,61	2,22	3,70	1,18
			RAIL	8,31	22,29	28,41	3,04	4,26	8,11	1,80
		7	BITTERN	8,32	23,23	30,22	3,20	7,42	7,19	1,22
			BLUEJAY	8,30	23,19	29,79	3,70	7,32	8,49	1,71

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	7	CHUKAR	8,31	23,49	29,90	3,23	6,22	4,40	1,77
			DRAKE	8,32	22,29	26,31	4,36	6,27	10,24	2,40
			GROSBEAK	8,30	23,70	25,99	2,23	4,13	5,33	1,51
			LINNET	8,14	26,64	22,92	0,42	0,93	0,95	1,00
			RAIL	8,31	16,48	31,74	4,12	6,70	9,66	1,97
		8	BITTERN	8,31	23,88	30,50	2,99	7,11	7,02	1,29
			BLUEJAY	8,32	24,24	30,23	3,09	6,98	7,50	1,41
			CHUKAR	8,31	23,95	30,19	3,19	6,35	4,98	1,92
			DRAKE	8,31	23,43	27,42	3,30	6,69	7,90	1,89
			GROSBEAK	8,30	22,46	26,58	3,42	6,16	8,79	2,53
			LINNET	8,29	21,41	26,01	1,98	4,78	3,66	2,21
			RAIL	8,31	23,78	30,06	3,30	6,90	7,94	1,84

Tabela H.9: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1250	Não	9	BITTERN	0,88	18,4	89,8	182,83 - j2,03	8545,06	31,83	0,682	0,733	0,0052
			BLUEJAY	0,84	18,6	89,8	201,81 - j2,30	7741,45	19,65	0,705	0,768	0,0059
			CHUKAR	0,88	17,9	89,6	160,05 - j1,50	9761,64	49,83	0,558	0,581	0,0039
			RAIL	0,76	18,8	89,8	236,90 - j2,66	6594,75	2,14	0,701	0,779	0,0068
		10	BITTERN	0,91	18,3	89,4	160,67 - j1,82	9723,59	45,73	0,699	0,742	0,0047
			BLUEJAY	0,91	18,6	89,7	168,79 - j2,07	9255,56	38,94	0,760	0,790	0,0053
			CHUKAR	0,87	17,8	89,2	146,40 - j1,37	10672,20	59,19	0,550	0,627	0,0035
			DRAKE	0,87	18,9	89,5	195,13 - j2,79	8005,65	20,46	0,919	0,961	0,0072
			RAIL	0,89	18,7	89,5	183,73 - j2,38	8503,05	27,90	0,814	0,847	0,0061
	Sim	10	CHUKAR	0,77	17,9	89,7	161,08 - j1,36	9699,59	22,01	0,499	0,550	0,0035

Tabela H.10: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1250	Não	9	BITTERN	8,32	19,30	49,63	2,13	6,07	4,50	2,73
			BLUEJAY	8,32	19,55	46,96	1,40	3,40	3,10	2,32
			CHUKAR	8,32	19,84	51,29	3,23	8,80	7,06	1,57
			RAIL	8,32	19,39	43,63	0,63	1,53	1,49	2,49
		10	BITTERN	8,32	19,13	51,31	3,44	6,79	10,35	1,92
			BLUEJAY	8,33	18,75	50,90	2,93	6,13	8,85	2,34
			CHUKAR	8,32	20,07	52,09	3,25	9,08	10,76	1,13
			DRAKE	8,32	18,56	46,50	1,68	4,80	4,50	1,97
			RAIL	8,32	18,71	49,36	2,20	5,26	6,54	2,30
	Sim	10	CHUKAR	8,32	22,63	43,33	1,47	3,75	3,72	2,13

H.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

Tabela H.11: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	3	0	BITTERN	0,89	16,7	81,6	172,32 - j6,02	689,89	43,35	0,603	0,677	0,0158
				BLUEJAY	0,89	17,7	85,5	173,67 - j6,84	684,29	43,00	0,683	0,767	0,0179
				CHUKAR	0,89	14,5	72,3	168,69 - j4,48	705,08	44,32	0,440	0,496	0,0117
				DRAKE	0,93	19,0	89,9	173,31 - j9,23	684,82	44,38	0,954	1,064	0,0240
				GROSBEAK	0,94	19,3	90,0	186,05 - j11,46	637,35	35,70	1,107	1,199	0,0296
				LINNET	0,87	20,4	90,0	258,54 - j21,56	457,19	0,52	1,503	1,530	0,0554
				RAIL	0,91	18,7	89,1	174,72 - j7,87	679,85	43,07	0,791	0,889	0,0206
			1	BITTERN	0,85	18,1	88,5	164,84 - j6,08	721,10	55,76	0,632	0,695	0,0158
				BLUEJAY	0,90	18,5	89,3	162,04 - j6,87	733,24	59,26	0,731	0,777	0,0178
				CHUKAR	0,85	15,7	78,6	161,34 - j4,52	737,14	56,90	0,461	0,507	0,0117
				DRAKE	0,97	18,9	89,7	163,85 - j9,26	724,10	58,64	1,006	1,051	0,0238
				GROSBEAK	0,95	19,3	90,0	182,44 - j11,48	649,82	43,72	1,128	1,188	0,0296
				LINNET	0,86	20,4	90,0	259,96 - j21,65	454,70	3,72	1,495	1,568	0,0556
				RAIL	0,96	18,7	89,2	161,13 - j7,88	736,92	61,06	0,854	0,877	0,0203
		4	0	BITTERN	0,88	16,2	79,2	136,28 - j4,61	872,38	65,13	0,576	0,641	0,0121
				BLUEJAY	0,89	17,2	83,0	137,29 - j5,23	865,71	64,63	0,653	0,727	0,0137
				CHUKAR	0,88	14,0	70,1	133,50 - j3,43	890,99	66,59	0,421	0,469	0,0090
				DRAKE	0,90	18,8	89,1	139,13 - j7,05	853,30	63,43	0,900	1,003	0,0185

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	4	0	GROSBEAK	0,92	19,3	90,0	145,01 - j8,70	817,86	57,89	1,072	1,205	0,0226
				LINNET	0,93	20,4	90,0	183,47 - j16,19	643,74	27,49	1,590	1,696	0,0417
				RAIL	0,89	18,4	87,7	138,33 - j6,02	858,83	64,19	0,756	0,841	0,0158
			2	BITTERN	0,85	17,1	83,4	133,39 - j4,65	891,20	69,05	0,590	0,628	0,0120
				BLUEJAY	0,85	18,1	87,3	134,46 - j5,29	883,85	68,44	0,668	0,713	0,0137
				CHUKAR	0,85	14,8	74,0	130,59 - j3,46	910,81	70,63	0,431	0,457	0,0090
				DRAKE	0,90	18,8	89,2	136,81 - j7,06	867,67	66,54	0,912	0,966	0,0182
				GROSBEAK	0,94	19,2	89,2	141,59 - j8,70	837,45	62,03	1,096	1,179	0,0224
				LINNET	0,92	20,4	90,0	183,42 - j16,19	643,91	27,83	1,589	1,652	0,0416
				RAIL	0,88	18,7	89,1	135,65 - j6,04	875,70	67,78	0,770	0,815	0,0156
		5	0	BITTERN	0,79	14,9	72,6	134,08 - j3,69	887,05	56,97	0,468	0,569	0,0097
				BLUEJAY	0,79	15,7	76,0	134,90 - j4,19	881,46	56,61	0,531	0,645	0,0110
				CHUKAR	0,78	12,9	64,4	131,85 - j2,75	902,36	58,02	0,340	0,416	0,0072
				DRAKE	0,80	17,5	83,1	135,79 - j5,66	875,05	56,37	0,738	0,895	0,0149
				GROSBEAK	0,81	19,1	89,0	136,74 - j7,01	868,19	56,21	0,915	1,108	0,0184
				LINNET	0,90	20,4	90,0	154,53 - j13,02	764,81	40,60	1,516	1,713	0,0337
				RAIL	0,79	16,8	80,3	135,64 - j4,83	876,40	56,41	0,616	0,748	0,0127
			1	BITTERN	0,77	15,5	75,8	130,72 - j3,74	909,78	67,38	0,481	0,584	0,0098
				BLUEJAY	0,78	16,4	79,4	131,47 - j4,25	904,38	67,04	0,546	0,663	0,0111

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	5	1	CHUKAR	0,76	13,4	67,2	128,59 - j2,78	925,17	68,45	0,349	0,425	0,0073
				DRAKE	0,78	18,3	86,7	132,43 - j5,73	897,10	66,68	0,758	0,925	0,0150
				GROSBEAK	0,85	19,2	89,1	130,38 - j7,09	910,24	70,26	0,960	1,136	0,0185
				LINNET	0,89	20,4	90,0	156,62 - j13,11	754,66	44,17	1,496	1,709	0,0339
				RAIL	0,78	17,5	83,6	132,38 - j4,88	897,90	66,62	0,632	0,769	0,0128
			3	BITTERN	0,73	16,6	81,0	128,85 - j3,78	922,94	59,56	0,489	0,611	0,0098
				BLUEJAY	0,74	17,5	84,7	129,66 - j4,29	916,98	59,18	0,555	0,693	0,0111
				CHUKAR	0,72	14,4	72,0	126,73 - j2,81	938,72	60,52	0,356	0,445	0,0073
				DRAKE	0,78	18,8	89,1	128,25 - j5,76	926,18	61,74	0,784	0,934	0,0149
				GROSBEAK	0,86	19,1	89,1	126,56 - j7,09	937,49	64,88	0,989	1,110	0,0183
				LINNET	0,90	20,4	90,0	152,45 - j13,05	775,05	39,38	1,535	1,715	0,0336
				RAIL	0,74	18,7	89,1	130,42 - j4,93	911,35	58,92	0,643	0,802	0,0128
	Sim	3	0	BITTERN	0,85	18,3	89,1	161,93 - j6,11	734,00	29,81	0,641	0,725	0,0158
				BLUEJAY	0,89	18,6	90,0	160,77 - j6,90	738,97	31,57	0,735	0,827	0,0178
				CHUKAR	0,83	16,2	81,2	158,54 - j4,57	750,14	30,32	0,469	0,534	0,0118
				DRAKE	0,90	19,0	89,9	175,93 - j9,32	674,64	21,51	0,937	1,023	0,0239
				GROSBEAK	0,86	19,3	90,0	198,59 - j11,55	597,33	8,86	1,036	1,091	0,0295
				RAIL	0,90	18,8	90,0	169,52 - j7,93	700,58	25,70	0,812	0,896	0,0204
			1	BITTERN	0,86	18,4	89,7	157,58 - j6,07	754,21	38,81	0,656	0,682	0,0156

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Sim	3	1	BLUEJAY	0,96	18,6	90,0	147,39 - j6,86	805,80	49,29	0,800	0,822	0,0176
				CHUKAR	0,92	17,8	89,1	126,26 - j4,50	941,50	70,31	0,586	0,599	0,0116
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	178,46 - j9,32	665,15	24,62	0,923	0,966	0,0238
				GROSBEAK	0,81	19,3	89,9	212,20 - j11,61	559,24	5,98	0,970	1,031	0,0296
				RAIL	0,93	18,8	90,0	161,51 - j7,90	735,19	37,23	0,851	0,885	0,0202
		4	0	BITTERN	0,84	18,1	88,5	127,53 - j4,73	932,06	47,33	0,618	0,696	0,0122
				BLUEJAY	0,88	18,5	89,3	125,91 - j5,32	943,67	50,00	0,710	0,818	0,0137
				CHUKAR	0,83	15,8	78,8	124,74 - j3,52	953,42	48,48	0,452	0,511	0,0091
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	136,38 - j7,11	870,35	39,66	0,912	1,031	0,0183
				GROSBEAK	0,88	19,3	89,9	148,14 - j8,77	800,68	29,75	1,047	1,164	0,0225
				LINNET	0,78	20,4	89,8	216,29 - j16,31	547,20	-8,46	1,349	1,387	0,0416
				RAIL	0,88	18,8	90,0	131,29 - j6,07	904,62	44,73	0,792	0,901	0,0156
			2	BITTERN	0,91	18,3	89,3	113,55 - j4,61	1046,51	65,00	0,688	0,718	0,0118
				BLUEJAY	0,94	18,5	89,3	115,44 - j5,21	1028,95	63,16	0,770	0,798	0,0134
				CHUKAR	0,82	17,8	89,1	112,54 - j3,55	1056,60	64,10	0,506	0,550	0,0091
				DRAKE	0,95	18,9	89,7	124,31 - j6,99	954,47	52,82	0,996	1,026	0,0179
				GROSBEAK	0,93	19,3	89,8	139,52 - j8,68	849,81	37,41	1,108	1,149	0,0222
				RAIL	0,96	18,7	89,3	119,29 - j5,97	995,32	58,86	0,868	0,897	0,0153
		5	0	BITTERN	0,88	8,2	40,0	259,69 - j3,35	458,26	-32,36	0,238	0,255	0,0103

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Sim	5	0	BLUEJAY	0,85	9,9	47,9	198,54 - j3,97	599,26	-11,13	0,356	0,388	0,0106
				CHUKAR	0,71	14,3	71,6	127,70 - j2,82	931,64	35,75	0,352	0,435	0,0072
				DRAKE	0,77	18,8	88,9	129,88 - j5,79	914,63	36,72	0,773	0,953	0,0149
				GROSBEAK	0,83	19,3	89,9	130,62 - j7,15	908,50	36,93	0,958	1,154	0,0184
				LINNET	0,85	20,4	89,7	161,62 - j13,12	731,63	13,26	1,447	1,617	0,0336
				RAIL	0,74	18,5	88,4	131,23 - j4,94	905,72	35,05	0,638	0,783	0,0127
			1	BITTERN	0,70	17,9	87,4	124,19 - j3,86	957,47	46,87	0,508	0,647	0,0099
				BLUEJAY	0,75	18,4	89,1	121,07 - j4,37	981,87	51,33	0,595	0,721	0,0113
				CHUKAR	0,68	15,9	79,6	121,10 - j2,89	982,27	48,83	0,373	0,483	0,0074
				DRAKE	0,83	19,0	90,0	119,48 - j5,86	993,82	54,38	0,841	1,028	0,0151
				GROSBEAK	0,83	19,3	89,9	129,02 - j7,19	919,68	44,04	0,968	1,163	0,0185
				LINNET	0,82	20,4	89,7	168,17 - j13,24	703,40	13,10	1,393	1,564	0,0338
				RAIL	0,82	18,7	89,4	117,19 - j5,03	1013,80	57,14	0,717	0,884	0,0130
			3	BITTERN	0,81	18,3	89,3	105,11 - j3,81	1130,92	59,88	0,604	0,672	0,0098
				BLUEJAY	0,85	18,5	89,2	105,37 - j4,28	1127,78	60,25	0,684	0,744	0,0110
				CHUKAR	0,70	17,8	89,1	107,40 - j2,90	1107,48	54,43	0,425	0,543	0,0075
				DRAKE	0,91	18,9	89,4	106,20 - j5,69	1117,52	60,10	0,940	1,012	0,0146
				GROSBEAK	0,93	19,3	90,0	111,80 - j7,00	1060,42	53,26	1,111	1,192	0,0179
				LINNET	0,81	20,4	90,0	168,47 - j13,18	702,22	4,41	1,389	1,556	0,0336

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Sim	5	3	RAIL	0,89	18,7	89,5	105,51 - j4,87	1125,71	60,85	0,792	0,854	0,0125

Tabela H.12: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	3	0	BITTERN	8,32	18,32	24,07	8,42	9,85	6,84	1,00
				BLUEJAY	8,29	18,25	24,06	8,44	9,86	6,85	1,00
				CHUKAR	8,33	18,40	23,84	8,40	9,83	6,81	1,00
				DRAKE	8,31	18,85	21,05	8,54	8,40	7,44	1,02
				GROSBEAK	8,31	20,83	21,01	4,64	4,32	4,11	1,07
				LINNET	8,16	24,79	19,56	0,49	0,49	0,42	1,00
				RAIL	8,29	18,22	23,77	8,55	9,78	7,01	1,00
			1	BITTERN	8,31	21,63	22,94	5,20	0,00	10,21	1,04
				BLUEJAY	8,31	20,79	23,11	5,56	0,00	10,99	1,02
				CHUKAR	8,29	20,41	23,13	5,18	0,00	10,18	1,04
				DRAKE	8,27	21,03	20,29	6,23	0,00	10,91	1,33
				GROSBEAK	8,30	23,12	20,17	3,44	0,00	6,07	1,31
				LINNET	8,31	24,48	19,47	0,39	0,00	0,76	1,04
				RAIL	8,29	21,40	22,56	5,73	0,00	11,32	1,03
		4	0	BITTERN	8,30	19,60	25,82	6,98	8,82	6,98	1,00
				BLUEJAY	8,32	19,65	25,75	6,98	8,82	6,98	1,00
				CHUKAR	8,32	19,70	25,58	6,96	8,81	6,96	1,00
				DRAKE	8,32	19,69	23,01	7,09	8,70	7,09	1,00

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	4	0	GROSBEAK	8,30	20,15	22,92	6,46	6,66	6,45	1,06
				LINNET	8,32	22,84	21,44	2,04	2,05	2,04	1,05
				RAIL	8,31	19,63	25,49	7,00	8,83	7,00	1,00
			2	BITTERN	8,14	21,76	23,47	4,32	0,00	11,99	1,24
				BLUEJAY	8,04	21,51	23,52	4,33	0,00	12,00	1,24
				CHUKAR	8,28	22,19	23,08	4,32	0,00	11,96	1,25
				DRAKE	8,31	21,47	20,81	4,40	0,00	12,07	1,27
				GROSBEAK	8,33	21,37	20,84	4,26	0,00	11,52	1,21
				LINNET	8,27	22,31	20,56	0,61	0,00	4,38	1,24
				RAIL	8,31	22,31	23,00	4,40	0,00	12,13	1,26
		5	0	BITTERN	8,29	18,95	26,29	5,86	10,25	7,74	1,08
				BLUEJAY	8,28	18,91	26,27	5,87	10,26	7,75	1,08
				CHUKAR	8,29	19,02	26,05	5,84	10,22	7,70	1,08
				DRAKE	8,32	18,92	23,53	5,90	10,29	7,82	1,08
				GROSBEAK	8,30	18,89	23,43	5,95	10,35	7,92	1,08
				LINNET	8,32	21,39	22,36	2,73	4,46	4,10	1,03
				RAIL	8,30	18,87	26,03	5,88	10,27	7,77	1,08
			1	BITTERN	8,32	19,72	26,56	5,18	7,96	6,50	1,03
				BLUEJAY	8,30	19,65	26,55	5,19	7,97	6,51	1,03

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	5	1	CHUKAR	8,30	19,72	26,36	5,16	7,93	6,47	1,03
				DRAKE	8,31	19,71	23,80	5,22	8,00	6,56	1,03
				GROSBEAK	8,30	20,04	23,53	5,40	8,16	6,89	1,02
				LINNET	8,33	22,16	22,17	2,22	3,23	3,02	1,03
				RAIL	8,30	19,64	26,29	5,20	7,99	6,52	1,03
			3	BITTERN	8,31	21,40	24,21	3,42	0,00	11,44	1,46
				BLUEJAY	8,28	21,31	24,22	3,42	0,00	11,45	1,45
				CHUKAR	8,29	21,24	24,03	3,42	0,00	11,39	1,47
				DRAKE	8,30	21,42	21,47	3,58	0,00	11,91	1,47
				GROSBEAK	8,28	22,54	20,96	3,72	0,00	12,30	1,47
				LINNET	8,29	23,53	20,85	1,88	0,00	6,32	1,70
				RAIL	8,14	21,58	23,87	3,43	0,00	11,50	1,45
	Sim	3	0	BITTERN	8,27	25,01	23,18	3,52	3,99	2,90	1,00
				BLUEJAY	8,27	26,05	22,84	3,55	3,55	3,07	1,00
				CHUKAR	8,02	23,59	23,29	3,77	4,46	3,04	1,00
				DRAKE	8,31	29,28	19,57	2,02	1,90	1,78	1,06
				GROSBEAK	8,28	30,94	19,11	1,06	0,92	0,95	1,15
				RAIL	8,29	27,44	22,40	2,48	2,40	2,17	1,03
			1	BITTERN	8,28	30,59	22,00	1,68	0,00	3,35	1,01

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Sim	3	1	BLUEJAY	8,30	29,15	21,50	3,77	0,00	6,99	1,17
				CHUKAR	8,30	27,37	21,47	5,74	0,00	10,78	1,14
				DRAKE	8,29	31,59	19,03	1,09	0,00	2,17	1,02
				GROSBEAK	8,27	31,75	18,86	0,38	0,00	0,76	1,03
				RAIL	8,33	29,82	21,43	2,23	0,00	4,25	1,10
		4	0	BITTERN	8,33	24,01	24,94	3,49	4,56	3,49	1,00
				BLUEJAY	8,31	24,45	24,78	4,28	4,96	4,28	1,00
				CHUKAR	8,29	24,04	24,70	3,48	4,55	3,48	1,00
				DRAKE	8,32	26,95	21,32	2,96	2,96	3,01	1,03
				GROSBEAK	8,29	27,86	20,86	2,06	2,06	2,12	1,03
				LINNET	7,63	29,96	19,04	0,30	0,30	0,30	1,00
				RAIL	8,31	25,42	24,18	3,52	3,52	3,74	1,03
			2	BITTERN	8,31	26,16	22,48	3,99	0,00	11,16	1,24
				BLUEJAY	8,31	27,40	22,06	3,97	0,00	11,18	1,22
				CHUKAR	8,30	25,84	22,30	3,67	0,00	10,25	1,23
				DRAKE	8,28	25,24	19,83	2,21	0,00	8,35	1,03
				GROSBEAK	8,26	25,56	19,87	1,12	0,00	5,70	1,14
				RAIL	7,93	25,30	22,22	3,73	0,00	10,44	1,20
		5	0	BITTERN	8,30	11,35	27,88	2,62	4,60	3,47	1,07

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Sim	5	0	BLUEJAY	8,31	16,16	27,22	2,61	4,58	3,46	1,07
				CHUKAR	8,29	24,58	24,68	2,52	4,42	3,35	1,06
				DRAKE	8,29	24,42	22,30	2,69	4,70	3,60	1,06
				GROSBEAK	8,28	25,41	21,95	2,33	3,95	3,32	1,05
				LINNET	8,32	30,80	19,83	0,90	1,46	1,36	1,01
				RAIL	8,29	24,31	24,77	2,61	4,59	3,47	1,07
			1	BITTERN	8,29	24,31	25,31	2,66	4,16	3,30	1,02
				BLUEJAY	8,30	24,41	25,26	2,92	4,53	3,66	1,01
				CHUKAR	8,32	24,03	25,16	2,86	4,50	3,49	1,02
				DRAKE	8,30	25,44	22,19	2,80	4,20	3,66	1,01
				GROSBEAK	8,30	26,76	21,58	1,96	2,92	2,64	1,00
				LINNET	8,28	31,26	19,59	0,61	0,88	0,86	1,00
				RAIL	8,32	24,62	24,96	3,21	5,03	4,04	1,00
			3	BITTERN	8,31	26,00	23,25	3,10	0,00	10,39	1,45
				BLUEJAY	8,32	27,28	22,89	3,15	0,00	10,64	1,43
				CHUKAR	8,25	24,82	23,25	2,91	0,00	9,74	1,46
				DRAKE	7,91	25,52	20,25	3,39	0,00	11,46	1,41
				GROSBEAK	8,31	27,31	19,90	2,73	0,00	9,81	1,43
				LINNET	8,31	33,93	18,93	0,49	0,00	1,61	1,63

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Sim	5	3	RAIL	8,32	27,52	22,39	3,35	0,00	11,30	1,43

Tabela H.13: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	3	0	BITTERN	0,94	18,4	90,0	206,48 - j6,00	1209,77	29,18	0,723	0,760	0,0154
				BLUEJAY	0,93	18,6	90,0	219,42 - j6,82	1138,28	22,19	0,777	0,809	0,0175
				CHUKAR	0,94	18,0	90,0	180,13 - j4,45	1387,01	46,09	0,593	0,646	0,0115
				RAIL	0,90	18,8	90,0	240,68 - j7,87	1037,63	12,04	0,827	0,845	0,0202
			1	BITTERN	0,93	18,4	90,0	208,42 - j6,02	1198,48	32,93	0,717	0,759	0,0155
				BLUEJAY	0,91	18,6	90,0	224,38 - j6,85	1113,13	24,09	0,760	0,807	0,0176
				CHUKAR	0,95	18,0	90,0	175,04 - j4,46	1427,32	56,18	0,610	0,642	0,0115
		4	0	BITTERN	0,93	18,4	90,0	159,65 - j4,53	1564,71	53,27	0,704	0,771	0,0117
				BLUEJAY	0,93	18,6	90,0	167,97 - j5,14	1486,99	46,28	0,764	0,828	0,0133
				CHUKAR	0,91	17,8	89,2	144,14 - j3,39	1733,41	67,88	0,560	0,618	0,0088
				DRAKE	0,92	19,0	89,9	185,84 - j6,95	1343,36	33,01	0,965	1,025	0,0179
				GROSBEAK	0,92	19,3	89,9	204,39 - j8,62	1220,96	21,77	1,095	1,148	0,0221
				RAIL	0,93	18,8	90,0	178,46 - j5,91	1399,34	38,32	0,838	0,897	0,0152
			2	BITTERN	0,94	18,3	89,2	156,83 - j4,53	1592,75	56,74	0,716	0,763	0,0116
				BLUEJAY	0,94	18,5	89,5	164,82 - j5,14	1515,37	49,76	0,778	0,815	0,0132
				CHUKAR	0,89	17,8	89,1	145,13 - j3,40	1721,62	67,50	0,556	0,600	0,0088
				DRAKE	0,91	19,0	90,0	188,24 - j6,95	1326,28	31,93	0,952	0,999	0,0178
				GROSBEAK	0,86	19,3	90,0	216,78 - j8,65	1151,42	15,38	1,033	1,103	0,0222

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	4	2	RAIL	0,92	18,8	89,8	178,51 - j5,91	1398,96	38,93	0,837	0,876	0,0152
		5	0	BITTERN	0,87	18,3	89,5	139,66 - j3,66	1788,79	64,71	0,648	0,764	0,0095
				BLUEJAY	0,88	18,6	90,0	144,08 - j4,15	1733,68	60,16	0,716	0,828	0,0108
				CHUKAR	0,81	16,6	83,0	139,80 - j2,72	1787,61	62,97	0,463	0,548	0,0071
				DRAKE	0,90	19,0	89,9	155,83 - j5,58	1602,30	48,80	0,924	1,039	0,0144
				GROSBEAK	0,90	19,3	90,0	167,98 - j6,92	1485,72	38,82	1,069	1,176	0,0178
				LINNET	0,84	20,4	89,9	231,46 - j12,97	1076,72	2,55	1,463	1,510	0,0332
				RAIL	0,89	18,8	90,0	150,89 - j4,76	1655,23	53,53	0,796	0,904	0,0123
			1	BITTERN	0,87	18,4	89,9	137,92 - j3,69	1811,30	72,61	0,656	0,774	0,0096
				BLUEJAY	0,88	18,6	90,0	144,58 - j4,18	1727,73	65,23	0,713	0,832	0,0108
				CHUKAR	0,80	17,1	85,5	137,29 - j2,75	1820,20	71,74	0,472	0,552	0,0072
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	158,24 - j5,63	1577,85	51,66	0,910	1,042	0,0145
				GROSBEAK	0,88	19,3	89,9	172,52 - j6,97	1446,75	39,92	1,041	1,173	0,0180
				LINNET	0,81	20,4	89,9	241,01 - j13,12	1034,22	1,93	1,408	1,513	0,0336
				RAIL	0,88	18,8	90,0	152,80 - j4,80	1634,47	56,93	0,786	0,906	0,0124
			3	BITTERN	0,88	18,3	89,2	136,37 - j3,68	1831,97	65,32	0,663	0,765	0,0095
				BLUEJAY	0,91	18,5	89,4	138,88 - j4,15	1798,51	62,90	0,741	0,840	0,0107
				CHUKAR	0,77	17,8	89,2	136,19 - j2,77	1834,88	63,94	0,476	0,554	0,0072
				DRAKE	0,89	19,0	89,8	155,44 - j5,61	1606,24	46,27	0,925	1,044	0,0144

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	5	3	GROSBEAK	0,88	19,3	90,0	172,04 - j6,95	1450,75	32,96	1,043	1,168	0,0178
				RAIL	0,90	18,8	90,0	147,98 - j4,77	1687,69	53,49	0,811	0,916	0,0123
		6	0	BITTERN	0,81	18,2	88,8	126,88 - j3,11	1969,15	71,18	0,598	0,708	0,0081
				BLUEJAY	0,85	18,5	89,2	127,37 - j3,51	1961,37	71,05	0,679	0,806	0,0091
				CHUKAR	0,81	15,7	78,4	125,08 - j2,31	1998,05	72,22	0,434	0,515	0,0060
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	133,83 - j4,71	1865,76	63,43	0,901	1,048	0,0122
				GROSBEAK	0,89	19,3	90,0	144,23 - j5,81	1730,48	52,41	1,041	1,178	0,0150
				LINNET	0,90	20,4	90,0	180,82 - j10,83	1377,66	23,37	1,562	1,669	0,0278
				RAIL	0,88	18,8	89,9	130,13 - j4,02	1919,30	67,97	0,773	0,910	0,0104
			2	BITTERN	0,81	18,2	88,9	127,49 - j3,15	1959,78	72,22	0,595	0,749	0,0082
				BLUEJAY	0,83	18,6	90,0	130,06 - j3,56	1920,83	69,34	0,665	0,838	0,0093
				CHUKAR	0,80	15,7	78,6	125,65 - j2,35	1988,93	73,27	0,432	0,546	0,0061
				DRAKE	0,83	19,0	90,0	141,81 - j4,78	1760,94	55,96	0,850	1,050	0,0124
				GROSBEAK	0,83	19,3	89,9	154,73 - j5,91	1613,34	43,68	0,970	1,181	0,0152
				LINNET	0,81	20,4	89,9	202,85 - j11,03	1228,79	11,32	1,395	1,606	0,0283
				RAIL	0,83	18,8	89,9	137,11 - j4,08	1821,79	61,20	0,734	0,913	0,0106
			4	BITTERN	0,81	18,3	89,2	126,38 - j3,15	1976,85	65,79	0,600	0,741	0,0081
				BLUEJAY	0,84	18,5	89,2	127,16 - j3,55	1964,52	65,31	0,679	0,837	0,0091
				CHUKAR	0,77	16,5	82,3	124,23 - j2,36	2011,62	67,21	0,438	0,542	0,0061

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	6	4	DRAKE	0,90	18,8	89,3	131,25 - j4,70	1902,27	60,85	0,916	1,048	0,0121
				GROSBEAK	0,93	19,2	89,3	137,55 - j5,80	1814,36	54,30	1,090	1,159	0,0149
				RAIL	0,88	18,7	89,2	129,18 - j4,03	1933,47	63,30	0,778	0,919	0,0104
		7	0	BITTERN	0,74	17,2	84,0	126,74 - j2,67	1971,62	63,53	0,513	0,643	0,0070
				BLUEJAY	0,74	18,2	88,1	127,28 - j3,03	1963,10	63,29	0,584	0,731	0,0079
				CHUKAR	0,73	14,9	74,4	125,29 - j1,99	1994,81	64,21	0,371	0,467	0,0052
				DRAKE	0,82	18,8	89,1	125,96 - j4,09	1982,75	65,60	0,825	1,030	0,0107
				GROSBEAK	0,86	19,3	89,9	129,84 - j5,04	1922,48	61,35	0,997	1,192	0,0131
				LINNET	0,89	20,4	89,9	158,59 - j9,32	1571,01	33,77	1,530	1,711	0,0240
				RAIL	0,79	18,7	89,2	126,79 - j3,48	1970,29	64,45	0,683	0,851	0,0091
			1	BITTERN	0,73	17,5	85,6	125,20 - j2,70	1995,91	70,57	0,520	0,655	0,0070
				BLUEJAY	0,74	18,4	89,1	125,60 - j3,06	1989,31	70,49	0,592	0,739	0,0080
				CHUKAR	0,72	15,2	75,8	123,72 - j2,01	2020,14	71,33	0,376	0,476	0,0052
				DRAKE	0,83	18,9	89,6	124,46 - j4,12	2006,53	72,60	0,835	1,045	0,0107
				GROSBEAK	0,84	19,3	89,9	132,40 - j5,07	1885,43	62,97	0,977	1,192	0,0132
				LINNET	0,87	20,4	90,0	163,71 - j9,39	1522,08	33,59	1,483	1,692	0,0242
				RAIL	0,80	18,7	89,1	124,70 - j3,52	2003,18	72,20	0,695	0,872	0,0092
			3	BITTERN	0,73	17,6	85,8	125,17 - j2,76	1996,32	64,50	0,520	0,703	0,0072
				BLUEJAY	0,74	18,4	89,1	125,49 - j3,13	1990,88	64,53	0,592	0,799	0,0081

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	7	3	CHUKAR	0,72	15,2	76,1	123,68 - j2,06	2020,86	65,21	0,376	0,513	0,0054
				DRAKE	0,77	19,0	89,9	131,91 - j4,18	1893,29	57,15	0,786	1,047	0,0108
				GROSBEAK	0,77	19,3	89,9	142,98 - j5,16	1746,25	45,68	0,903	1,184	0,0133
				LINNET	0,76	20,4	89,9	184,98 - j9,58	1347,89	14,16	1,313	1,615	0,0246
				RAIL	0,77	18,8	90,0	127,46 - j3,57	1959,93	62,55	0,680	0,912	0,0093
		8	0	BITTERN	0,73	16,4	80,0	118,28 - j2,38	2112,83	67,73	0,484	0,612	0,0062
				BLUEJAY	0,74	17,4	83,8	118,76 - j2,71	2104,05	67,46	0,550	0,694	0,0071
				CHUKAR	0,72	14,1	70,8	116,97 - j1,78	2136,78	68,45	0,350	0,445	0,0046
				DRAKE	0,77	18,8	89,2	119,29 - j3,64	2093,73	67,22	0,766	0,964	0,0095
				GROSBEAK	0,83	19,3	89,7	119,40 - j4,47	2090,83	67,73	0,954	1,185	0,0117
				LINNET	0,88	20,4	90,0	143,26 - j8,21	1739,38	41,42	1,487	1,713	0,0212
				RAIL	0,74	18,5	88,5	119,30 - j3,11	2094,16	67,16	0,639	0,804	0,0081
			2	BITTERN	0,74	16,3	79,3	118,24 - j2,43	2113,49	69,65	0,484	0,654	0,0063
				BLUEJAY	0,74	17,2	83,1	118,73 - j2,76	2104,43	69,38	0,550	0,741	0,0072
				CHUKAR	0,73	14,0	70,2	116,90 - j1,81	2138,02	70,39	0,350	0,476	0,0047
				DRAKE	0,77	18,8	89,2	119,24 - j3,71	2094,55	69,19	0,766	1,023	0,0097
				GROSBEAK	0,79	19,3	90,0	124,97 - j4,55	1997,87	62,12	0,910	1,189	0,0118
				LINNET	0,82	20,4	90,0	153,44 - j8,37	1624,44	33,66	1,389	1,688	0,0216
				RAIL	0,75	18,4	87,7	119,30 - j3,17	2094,12	69,07	0,638	0,858	0,0083

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	8	4	BITTERN	0,68	17,5	85,4	118,67 - j2,50	2105,77	63,80	0,482	0,711	0,0065
				BLUEJAY	0,69	18,5	89,2	119,10 - j2,83	2097,94	63,64	0,548	0,803	0,0074
				CHUKAR	0,67	15,1	75,7	117,32 - j1,87	2130,43	64,5	0,348	0,520	0,0049
				DRAKE	0,72	19,0	90,0	125,22 - j3,76	1994,72	56,17	0,727	1,045	0,0098
				GROSBEAK	0,72	19,3	90,0	136,06 - j4,64	1835,3	44,35	0,832	1,183	0,0120
				LINNET	0,72	20,4	89,9	172,29 - j8,51	1447,48	15,49	1,235	1,625	0,0219
				RAIL	0,72	18,8	90,0	120,90 - j3,22	2066,41	61,67	0,629	0,909	0,0084
	Sim	3	0	CHUKAR	0,87	18,0	90,0	190,56 - j4,48	1311,2	18,72	0,560	0,593	0,0115
			1	CHUKAR	0,81	18,0	89,9	204,14 - j4,51	1224,04	15,17	0,523	0,559	0,0115
		4	0	BITTERN	0,86	18,4	90,0	168,38 - j4,56	1483,62	23,34	0,666	0,727	0,0117
				BLUEJAY	0,82	18,6	90,0	185,96 - j5,17	1343,32	12,24	0,689	0,739	0,0132
				CHUKAR	0,88	18,0	90,0	143,87 - j3,41	1736,71	42,46	0,559	0,624	0,0087
			2	BITTERN	0,81	18,4	90,0	178,26 - j4,60	1401,54	16,35	0,629	0,719	0,0117
				CHUKAR	0,93	18,0	89,8	133,55 - j3,37	1870,77	53,21	0,600	0,614	0,0086
		5	0	BITTERN	0,84	18,4	89,9	141,81 - j3,70	1761,76	36,52	0,637	0,739	0,0095
				BLUEJAY	0,84	18,6	89,9	147,94 - j4,18	1688,55	31,41	0,696	0,795	0,0107
				CHUKAR	0,81	18,0	90,0	127,92 - j2,79	1953,45	49,64	0,508	0,617	0,0072
				DRAKE	0,84	19,0	89,9	162,28 - j5,63	1538,66	20,6	0,885	0,988	0,0144
				GROSBEAK	0,78	19,3	89,9	192,54 - j6,97	1296,75	2,4	0,931	0,990	0,0177

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	5	0	RAIL	0,84	18,8	90,0	156,36 - j4,80	1597,35	24,93	0,767	0,864	0,0123
			1	BITTERN	0,83	18,4	89,9	142,96 - j3,73	1747,51	40,69	0,631	0,742	0,0095
				BLUEJAY	0,83	18,6	90,0	150,74 - j4,23	1657,16	33,99	0,683	0,795	0,0108
				CHUKAR	0,83	18,0	89,9	125,64 - j2,81	1988,86	58,3	0,517	0,623	0,0072
				DRAKE	0,81	19,0	90,0	168,53 - j5,69	1481,69	20,64	0,853	0,975	0,0145
				GROSBEAK	0,77	19,3	90,0	192,95 - j7,07	1293,96	6,14	0,930	1,047	0,0180
				RAIL	0,82	18,8	89,9	161,11 - j4,85	1550,38	25,96	0,744	0,857	0,0124
			3	BITTERN	0,83	18,4	90,0	141,59 - j3,71	1764,43	32,64	0,636	0,753	0,0095
				BLUEJAY	0,81	18,6	89,9	152,84 - j4,22	1634,43	23,42	0,673	0,797	0,0108
				CHUKAR	0,90	17,9	89,5	112,57 - j2,73	2219,44	64,86	0,573	0,640	0,0070
				DRAKE	0,72	19,0	89,9	190,04 - j5,66	1314,35	0	0,755	0,859	0,0144
				RAIL	0,79	18,8	90,0	168,07 - j4,84	1486,28	12,81	0,713	0,834	0,0123
		6	0	BITTERN	0,82	18,4	90,0	122,19 - j3,14	2044,69	48,02	0,619	0,743	0,0080
				BLUEJAY	0,83	18,6	90,0	127,12 - j3,54	1965,1	42,81	0,679	0,802	0,0091
				CHUKAR	0,80	18,0	90,0	110,29 - j2,38	2265,7	62,35	0,494	0,619	0,0061
				DRAKE	0,84	19,0	89,9	138,02 - j4,75	1809,21	32,3	0,871	0,998	0,0121
				GROSBEAK	0,84	19,3	90,0	148,44 - j5,86	1681,51	23,78	1,009	1,130	0,0149
				RAIL	0,84	18,8	89,9	133,68 - j4,05	1868,47	36,38	0,751	0,868	0,0104
			2	BITTERN	0,77	18,4	90,0	130,33 - j3,20	1917,08	40,13	0,581	0,739	0,0082

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	6	2	BLUEJAY	0,77	18,6	90,0	136,65 - j3,61	1828,26	34,16	0,631	0,795	0,0092
				CHUKAR	0,77	18,0	89,9	114,72 - j2,41	2178,33	57,56	0,475	0,621	0,0062
				DRAKE	0,77	19,0	89,9	151,23 - j4,85	1651,37	21,97	0,795	0,982	0,0124
				GROSBEAK	0,76	19,3	89,8	167,31 - j5,98	1492,29	10,96	0,896	1,080	0,0152
				RAIL	0,77	18,8	90,0	145,29 - j4,14	1719,31	26,74	0,691	0,861	0,0106
			4	BITTERN	0,92	18,4	90,0	106,24 - j3,07	2351,27	61,96	0,709	0,759	0,0078
				BLUEJAY	0,91	18,6	90,0	113,19 - j3,48	2206,6	52,62	0,759	0,805	0,0089
				CHUKAR	0,85	17,9	89,7	101,10 - j2,33	2471,54	68,39	0,536	0,627	0,0060
				DRAKE	0,86	18,9	89,7	133,60 - j4,70	1868,94	30,15	0,897	0,970	0,0120
				RAIL	0,89	18,8	90,0	123,62 - j4,00	2020,19	40,39	0,809	0,861	0,0102
		7	0	BITTERN	0,77	18,4	89,9	113,36 - j2,75	2204,13	52,03	0,578	0,734	0,0071
				BLUEJAY	0,79	18,6	89,9	117,49 - j3,10	2126,44	47,18	0,635	0,793	0,0080
				CHUKAR	0,80	9,4	47,1	179,84 - j1,87	1390	-5	0,255	0,295	0,0050
				DRAKE	0,81	19,0	89,9	125,67 - j4,14	1987,17	38,29	0,827	0,998	0,0106
				GROSBEAK	0,82	19,3	90,0	134,17 - j5,09	1860,66	30,26	0,963	1,137	0,0130
				LINNET	0,77	20,4	89,8	181,85 - j9,38	1371,08	-2,21	1,333	1,437	0,0239
				RAIL	0,80	18,8	90,0	122,83 - j3,54	2033,64	41,3	0,706	0,867	0,0091
			1	BITTERN	0,76	18,4	90,0	114,86 - j2,78	2175,3	54,65	0,570	0,737	0,0071
				BLUEJAY	0,77	18,6	90,0	119,38 - j3,13	2092,63	49,29	0,624	0,794	0,0080

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	7	1	CHUKAR	0,73	17,8	89,2	106,17 - j2,12	2353,78	65,75	0,444	0,602	0,0055
				DRAKE	0,78	19,0	89,9	129,21 - j4,18	1932,76	38,6	0,803	0,994	0,0107
				GROSBEAK	0,80	19,3	89,9	138,30 - j5,14	1805,23	30,22	0,934	1,128	0,0131
				LINNET	0,78	20,4	89,9	178,98 - j9,49	1392,91	2,36	1,357	1,527	0,0242
				RAIL	0,78	18,8	90,0	125,21 - j3,57	1994,97	42,84	0,692	0,868	0,0091
			3	BITTERN	0,71	18,4	89,9	122,31 - j2,83	2042,86	38,34	0,533	0,737	0,0072
				BLUEJAY	0,71	18,6	90,0	127,66 - j3,19	1957,14	33,02	0,581	0,794	0,0081
				CHUKAR	0,70	18,0	90,0	108,26 - j2,15	2308,31	54,84	0,435	0,616	0,0055
				DRAKE	0,72	19,0	89,9	139,92 - j4,25	1785,08	22,03	0,739	0,985	0,0109
				GROSBEAK	0,72	19,3	89,9	152,33 - j5,22	1639,24	12,76	0,846	1,095	0,0133
				RAIL	0,72	18,8	89,9	135,02 - j3,64	1850,28	26,3	0,640	0,860	0,0093
		8	0	BITTERN	0,74	18,4	89,9	104,56 - j2,47	2389,64	56,55	0,552	0,730	0,0063
				BLUEJAY	0,76	18,6	89,9	108,30 - j2,77	2306,82	51,61	0,606	0,787	0,0071
				CHUKAR	0,65	17,3	86,5	108,09 - j1,87	2312,1	50,18	0,382	0,514	0,0048
				DRAKE	0,78	19,0	90,0	115,17 - j3,69	2168,46	43,23	0,794	0,996	0,0095
				GROSBEAK	0,80	19,3	89,9	121,85 - j4,53	2048,92	36,08	0,934	1,132	0,0116
				LINNET	0,82	20,4	90,0	149,90 - j8,27	1662,66	12,32	1,418	1,622	0,0211
				RAIL	0,77	18,8	89,9	112,00 - j3,16	2230,44	47,12	0,682	0,863	0,0081
			2	BITTERN	0,70	18,4	90,0	109,54 - j2,51	2281,17	50,39	0,525	0,732	0,0064

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	8	2	BLUEJAY	0,71	18,6	90,0	114,03 - j2,83	2191,07	44,93	0,574	0,790	0,0073
				CHUKAR	0,64	17,7	88,5	106,17 - j1,93	2353,88	53,81	0,390	0,560	0,0050
				DRAKE	0,73	19,0	89,8	122,97 - j3,76	2031,14	35,06	0,741	0,987	0,0096
				GROSBEAK	0,74	19,3	90,0	131,59 - j4,62	1897,44	26,88	0,862	1,118	0,0118
				LINNET	0,75	20,4	89,7	165,15 - j8,42	1509,81	2,77	1,290	1,531	0,0214
				RAIL	0,72	18,8	89,9	119,14 - j3,22	2096,89	39,22	0,639	0,860	0,0083
			4	BITTERN	0,66	18,4	90,0	115,90 - j2,56	2155,92	36,1	0,494	0,735	0,0066
				BLUEJAY	0,66	18,6	90,0	121,17 - j2,88	2062	30,62	0,538	0,791	0,0074
				CHUKAR	0,65	18,0	90,0	103,58 - j1,97	2412,74	50,93	0,400	0,616	0,0051
				DRAKE	0,67	19,0	89,9	131,91 - j3,81	1893,58	20,62	0,688	0,982	0,0097
				GROSBEAK	0,68	19,3	89,9	141,52 - j4,65	1764,64	13,07	0,799	1,098	0,0118
				LINNET	0,65	20,4	89,7	186,79 - j8,36	1335,71	-12,85	1,138	1,350	0,0213
				RAIL	0,66	18,8	90,0	127,82 - j3,27	1954,64	24,31	0,593	0,858	0,0084

Tabela H.14: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	3	0	BITTERN	8,30	20,23	27,25	3,31	3,04	2,94	1,09
				BLUEJAY	8,30	20,25	27,06	2,41	2,22	2,14	1,09
				CHUKAR	8,31	19,35	27,08	7,60	7,10	6,71	1,07
				RAIL	8,26	20,15	26,46	1,41	1,18	1,28	1,19
			1	BITTERN	8,31	21,19	26,54	2,15	0,00	3,98	1,18
				BLUEJAY	8,31	21,06	26,48	1,42	0,00	2,66	1,14
				CHUKAR	8,30	20,53	26,12	5,80	0,00	10,24	1,31
		4	0	BITTERN	8,32	20,34	29,57	5,29	5,29	5,30	1,08
				BLUEJAY	8,31	20,46	29,33	4,18	4,18	4,18	1,07
				CHUKAR	8,32	19,71	29,89	7,69	8,70	7,69	1,00
				DRAKE	8,30	20,75	26,02	2,60	2,62	2,59	1,03
				GROSBEAK	8,30	20,65	25,40	1,73	1,73	1,73	1,03
				RAIL	8,30	20,70	28,71	3,13	3,13	3,13	1,05
			2	BITTERN	8,32	20,88	27,27	2,72	0,00	10,58	1,29
				BLUEJAY	8,26	21,00	27,04	1,49	0,00	9,48	1,35
				CHUKAR	8,32	21,29	26,79	4,49	0,00	12,27	1,29
				DRAKE	8,25	21,31	24,41	0,78	0,00	5,03	1,21
				GROSBEAK	8,25	21,81	24,02	0,44	0,00	2,20	1,13

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	4	2	RAIL	8,26	21,23	26,83	0,96	0,00	6,67	1,27
		5	0	BITTERN	8,32	19,44	30,37	6,29	10,62	8,93	1,05
				BLUEJAY	8,32	19,97	30,09	5,18	8,58	7,58	1,04
				CHUKAR	8,32	19,28	30,33	6,24	10,68	8,62	1,06
				DRAKE	8,30	20,63	26,94	3,53	5,76	5,32	1,03
				GROSBEAK	8,29	20,90	26,42	2,58	4,15	3,95	1,02
				LINNET	8,30	21,56	23,94	0,54	0,88	0,84	1,00
				RAIL	8,32	20,42	29,58	4,12	6,74	6,16	1,03
			1	BITTERN	8,30	20,29	30,27	5,29	7,92	7,03	1,02
				BLUEJAY	8,31	20,68	29,93	4,28	6,31	5,76	1,02
				CHUKAR	8,32	19,83	30,52	5,59	8,37	7,26	1,03
				DRAKE	8,33	21,42	26,56	2,84	4,11	3,88	1,03
				GROSBEAK	8,29	21,64	26,08	1,95	2,80	2,70	1,02
				LINNET	8,15	22,55	23,26	0,36	0,51	0,51	1,00
				RAIL	8,31	21,08	29,31	3,34	4,87	4,54	1,02
			3	BITTERN	8,32	21,58	27,77	3,78	0,00	12,68	1,40
				BLUEJAY	8,32	21,25	27,90	3,39	0,00	12,53	1,41
				CHUKAR	8,30	21,22	27,66	3,77	0,00	12,51	1,49
				DRAKE	8,33	21,87	25,17	2,36	0,00	7,87	1,70

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	5	3	GROSBEAK	8,33	22,30	24,87	1,65	0,00	5,14	2,02
				RAIL	8,31	21,72	27,62	2,80	0,00	9,62	1,61
		6	0	BITTERN	8,31	19,73	31,39	5,56	10,18	9,56	1,05
				BLUEJAY	8,32	19,82	31,22	5,52	10,05	9,78	1,04
				CHUKAR	8,33	19,81	31,16	5,54	10,16	9,52	1,05
				DRAKE	8,31	20,46	27,97	4,39	7,77	8,35	1,04
				GROSBEAK	8,32	20,96	27,38	3,20	5,46	6,41	1,03
				LINNET	8,31	21,11	25,54	1,36	2,14	3,27	1,05
				RAIL	8,31	20,07	30,65	5,06	9,03	9,45	1,05
			2	BITTERN	8,31	20,02	31,79	5,23	9,31	8,02	1,51
				BLUEJAY	8,32	20,24	31,43	4,77	8,62	7,64	1,35
				CHUKAR	8,31	20,07	31,58	5,23	9,30	8,01	1,54
				DRAKE	8,30	21,20	27,78	3,13	5,42	5,41	1,36
				GROSBEAK	8,32	21,72	26,99	2,18	3,62	3,89	1,48
				LINNET	8,30	22,18	24,65	0,66	0,96	1,42	1,27
				RAIL	8,31	20,80	30,62	3,69	6,49	6,20	1,35
			4	BITTERN	8,31	21,89	28,04	3,58	0,00	13,31	1,88
				BLUEJAY	8,32	22,04	28,14	3,47	0,00	13,07	1,71
				CHUKAR	8,30	21,91	27,80	3,59	0,00	13,34	1,88

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	6	4	DRAKE	8,31	21,72	25,64	2,71	0,00	12,30	1,80
				GROSBEAK	8,32	21,25	25,51	3,48	0,00	11,90	4,77
				RAIL	8,32	22,01	28,00	2,62	0,00	12,56	1,33
		7	0	BITTERN	8,32	19,60	32,21	4,37	10,68	8,58	1,07
				BLUEJAY	8,33	19,61	32,15	4,37	10,69	8,60	1,07
				CHUKAR	8,32	19,65	31,96	4,35	10,64	8,53	1,08
				DRAKE	8,33	19,83	29,29	4,43	10,76	8,76	1,07
				GROSBEAK	8,31	20,29	28,81	3,93	8,70	7,79	1,08
				LINNET	8,33	21,25	26,77	1,81	3,97	3,86	1,04
				RAIL	8,31	19,68	31,86	4,40	10,73	8,68	1,07
			1	BITTERN	8,31	19,77	31,78	5,10	9,77	9,55	1,09
				BLUEJAY	8,32	19,79	31,72	5,12	9,79	9,59	1,09
				CHUKAR	8,31	19,83	31,54	5,09	9,73	9,49	1,10
				DRAKE	8,32	20,01	28,72	5,12	9,79	10,01	1,05
				GROSBEAK	8,32	20,67	28,16	4,05	7,36	7,95	1,04
				LINNET	8,31	21,83	26,27	1,76	3,06	3,49	1,03
				RAIL	8,31	19,92	31,38	5,16	9,85	9,69	1,09
			3	BITTERN	8,32	20,13	32,14	4,72	8,72	8,15	2,03
				BLUEJAY	8,33	20,16	32,09	4,73	8,74	8,17	2,01

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	7	3	CHUKAR	8,33	20,19	31,88	4,72	8,69	8,13	2,08
				DRAKE	8,31	20,79	28,80	3,59	6,66	6,79	1,76
				GROSBEAK	8,30	21,42	27,88	2,51	4,47	5,12	1,76
				LINNET	8,31	22,24	25,24	0,83	1,23	2,16	1,57
				RAIL	8,31	20,40	31,66	4,23	7,98	7,69	1,76
		8	0	BITTERN	8,30	19,88	33,00	4,09	10,56	8,47	1,14
				BLUEJAY	8,32	19,89	32,95	4,09	10,57	8,49	1,14
				CHUKAR	8,32	19,96	32,72	4,08	10,54	8,42	1,15
				DRAKE	8,30	19,94	30,21	4,08	10,50	8,54	1,14
				GROSBEAK	8,33	20,16	29,89	3,97	10,14	8,74	1,06
				LINNET	8,31	21,26	27,80	2,00	4,91	4,69	1,02
				RAIL	8,32	19,87	32,71	4,09	10,58	8,52	1,13
			2	BITTERN	8,31	19,84	31,89	5,50	10,51	10,88	2,34
				BLUEJAY	8,32	19,85	31,84	5,51	10,52	10,90	2,32
				CHUKAR	8,31	19,89	31,64	5,50	10,48	10,83	2,40
				DRAKE	8,31	19,90	29,04	5,39	10,35	11,02	2,21
				GROSBEAK	8,32	20,50	28,46	4,28	8,20	9,50	2,04
				LINNET	8,30	21,86	26,59	1,85	3,43	4,46	1,99
				RAIL	8,31	19,80	31,62	5,51	10,53	10,93	2,30

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	8	4	BITTERN	8,32	20,30	32,36	4,89	9,18	8,95	3,12
				BLUEJAY	8,33	20,31	32,32	4,82	9,08	8,95	3,04
				CHUKAR	8,31	20,32	32,11	4,90	9,16	8,93	3,22
				DRAKE	8,32	20,98	28,91	3,64	6,79	7,78	2,61
				GROSBEAK	8,33	21,63	27,98	2,59	4,58	5,95	2,65
				LINNET	8,29	22,27	25,65	0,95	1,43	2,86	1,94
				RAIL	8,32	20,51	31,84	4,31	8,19	8,81	2,59
	Sim	3	0	CHUKAR	8,30	24,79	25,03	1,86	1,58	1,68	1,17
			1	CHUKAR	8,28	28,97	23,76	0,67	0,00	1,30	1,06
		4	0	BITTERN	8,29	24,83	26,50	1,79	1,95	1,79	1,00
				BLUEJAY	8,29	26,99	25,60	0,80	1,30	0,80	1,00
				CHUKAR	8,30	24,52	27,21	3,17	3,17	3,28	1,03
			2	BITTERN	8,30	26,65	25,09	0,78	0,00	2,18	1,20
				CHUKAR	8,28	23,22	25,18	1,64	0,00	9,47	1,10
		5	0	BITTERN	8,29	25,34	27,60	2,11	3,49	3,14	1,02
				BLUEJAY	8,29	25,56	27,21	1,79	2,91	2,72	1,01
				CHUKAR	8,32	24,05	28,35	3,54	6,07	4,97	1,05
				DRAKE	8,33	25,36	23,96	1,28	2,05	2,00	1,00
				GROSBEAK	8,18	28,00	22,46	0,51	0,83	0,79	1,00

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	5	0	RAIL	8,32	25,49	26,64	1,46	2,35	2,24	1,01
			1	BITTERN	8,30	26,17	27,13	1,73	2,52	2,38	1,01
				BLUEJAY	8,32	26,39	26,82	1,40	2,01	1,94	1,01
				CHUKAR	8,30	25,09	27,88	2,98	4,45	3,99	1,00
				DRAKE	8,28	26,45	23,62	0,90	1,27	1,27	1,00
				GROSBEAK	8,30	26,88	22,73	0,50	0,70	0,71	1,03
				RAIL	8,28	27,66	25,94	1,06	1,52	1,48	1,01
			3	BITTERN	8,33	26,98	25,81	1,26	0,00	4,54	1,20
				BLUEJAY	8,30	27,56	25,59	0,85	0,00	3,30	1,09
				CHUKAR	8,31	24,27	25,87	3,66	0,00	12,12	1,38
				DRAKE	8,14	27,35	22,28	0,46	0,00	1,37	2,00
				RAIL	8,30	29,20	24,79	0,63	0,00	2,18	1,40
		6	0	BITTERN	8,30	25,22	28,53	2,54	4,54	4,80	1,01
				BLUEJAY	8,32	25,44	28,19	2,16	3,80	4,25	1,00
				CHUKAR	8,32	23,50	29,52	4,12	7,60	7,30	1,01
				DRAKE	8,31	25,61	24,81	1,60	2,65	3,48	1,03
				GROSBEAK	8,32	24,93	24,37	1,33	2,05	3,12	1,04
				RAIL	8,30	25,62	27,53	1,77	3,02	3,71	1,01
			2	BITTERN	8,33	26,16	28,05	1,79	2,97	3,16	1,52

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	6	2	BLUEJAY	8,31	26,73	27,52	1,45	2,34	2,69	1,48
				CHUKAR	8,30	24,35	29,38	3,18	5,68	5,14	1,39
				DRAKE	8,32	27,25	24,03	0,95	1,44	1,89	1,44
				GROSBEAK	8,31	27,74	23,26	0,61	0,88	1,33	1,23
				RAIL	8,29	26,91	26,85	1,13	1,77	2,18	1,49
			4	BITTERN	8,31	23,20	26,79	3,03	0,00	13,15	1,94
				BLUEJAY	8,29	23,25	26,74	2,82	0,00	10,92	2,79
				CHUKAR	8,33	25,54	26,13	3,45	0,00	13,08	1,83
				DRAKE	8,32	24,78	23,64	1,69	0,00	6,05	3,85
				RAIL	8,31	23,90	26,29	2,29	0,00	8,12	3,82
		7	0	BITTERN	8,30	23,87	30,09	2,99	6,70	5,54	1,11
				BLUEJAY	8,32	24,53	29,56	2,51	5,63	4,80	1,09
				CHUKAR	8,32	16,08	33,22	2,84	7,13	5,19	1,11
				DRAKE	8,30	25,49	26,05	1,85	4,11	3,69	1,07
				GROSBEAK	8,32	26,10	25,31	1,44	3,18	2,97	1,05
				LINNET	8,09	26,51	22,95	0,42	0,95	0,93	1,00
				RAIL	8,31	25,23	28,77	2,05	4,63	4,04	1,06
			1	BITTERN	8,31	24,53	29,38	2,90	5,62	5,65	1,04
				BLUEJAY	8,32	25,10	28,93	2,47	4,71	4,90	1,02

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	7	1	CHUKAR	8,33	22,89	30,27	4,15	8,46	7,33	1,15
				DRAKE	8,29	26,07	25,47	1,81	3,35	3,60	1,01
				GROSBEAK	8,31	26,66	24,81	1,43	2,55	2,85	1,03
				LINNET	8,27	28,54	22,46	0,54	0,94	1,09	1,01
				RAIL	8,30	25,56	28,28	2,06	3,87	4,08	1,01
			3	BITTERN	8,30	25,81	28,64	1,94	3,37	3,92	1,95
				BLUEJAY	8,31	26,31	28,13	1,60	2,70	3,44	1,84
				CHUKAR	8,33	24,21	29,85	3,35	6,29	5,81	1,93
				DRAKE	8,29	27,06	24,55	1,07	1,68	2,58	1,68
				GROSBEAK	8,16	27,97	23,69	0,73	1,08	1,99	1,45
				RAIL	8,33	26,88	27,32	1,26	2,04	2,90	1,75
		8	0	BITTERN	8,32	23,72	30,96	2,81	7,52	6,13	1,01
				BLUEJAY	8,32	24,48	30,36	2,41	6,35	5,34	1,00
				CHUKAR	8,31	23,73	30,56	2,62	6,88	5,04	1,19
				DRAKE	8,32	25,35	26,87	1,87	4,82	4,27	1,00
				GROSBEAK	8,29	26,02	26,14	1,49	3,78	3,52	1,00
				LINNET	8,30	25,84	24,26	0,81	1,96	1,95	1,01
				RAIL	8,30	24,99	29,66	2,08	5,40	4,76	1,00
			2	BITTERN	8,29	24,37	29,66	3,15	5,99	6,62	2,21

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	8	2	BLUEJAY	8,30	24,94	29,23	2,64	4,99	5,64	2,22
				CHUKAR	8,31	23,25	30,17	3,80	7,51	7,08	2,55
				DRAKE	8,30	26,01	25,71	1,89	3,52	4,28	2,13
				GROSBEAK	8,32	26,63	25,04	1,42	2,62	3,37	2,01
				LINNET	8,30	27,82	23,00	0,53	0,92	1,53	1,15
				RAIL	8,30	25,48	28,54	2,16	4,06	4,85	2,14
			4	BITTERN	8,30	26,03	28,78	1,96	3,40	4,62	2,66
				BLUEJAY	8,31	26,57	28,22	1,61	2,67	4,03	2,52
				CHUKAR	8,32	23,69	30,40	3,63	6,92	6,72	3,03
				DRAKE	8,30	27,29	24,68	1,10	1,70	3,13	2,13
				GROSBEAK	8,27	27,36	24,14	0,79	1,16	2,58	1,68
				LINNET	7,28	25,38	22,86	0,29	0,29	1,15	1,41
				RAIL	8,29	26,99	27,46	1,28	2,03	3,43	2,32

Tabela H.15: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1250	Não	9	0	BITTERN	0,87	18,4	90,0	184,32 - j2,02	8476,16	30,80	0,676	0,728	0,0052
				BLUEJAY	0,85	18,6	89,9	197,90 - j2,29	7894,45	22,05	0,719	0,769	0,0059
				CHUKAR	0,87	18,0	90,0	160,40 - j1,51	9740,51	49,52	0,556	0,621	0,0039
				RAIL	0,77	18,8	90,0	235,07 - j2,64	6646,05	2,94	0,706	0,771	0,0068
			1	BITTERN	0,84	18,4	90,0	191,41 - j2,04	8162,34	28,38	0,651	0,722	0,0052
				BLUEJAY	0,82	18,6	89,9	205,39 - j2,32	7606,40	19,87	0,693	0,761	0,0060
				CHUKAR	0,85	18,0	90,0	164,37 - j1,52	9505,17	48,78	0,543	0,620	0,0039
			3	CHUKAR	0,73	18,0	89,9	189,79 - j1,59	8232,02	25,94	0,469	0,595	0,0041
		10	0	BITTERN	0,87	18,4	89,9	166,86 - j1,83	9362,95	40,32	0,673	0,734	0,0047
				BLUEJAY	0,86	18,6	89,9	177,36 - j2,07	8808,48	32,23	0,723	0,782	0,0053
				CHUKAR	0,86	18,0	90,0	147,62 - j1,37	10583,37	57,87	0,546	0,624	0,0035
				DRAKE	0,82	19,0	90,0	206,92 - j2,79	7549,80	13,60	0,866	0,950	0,0072
				RAIL	0,85	18,8	90,0	192,28 - j2,38	8125,11	22,22	0,778	0,839	0,0061
			2	BITTERN	0,80	18,4	90,0	180,50 - j1,88	8655,67	30,53	0,622	0,729	0,0048
				BLUEJAY	0,79	18,6	89,9	193,62 - j2,14	8069,07	21,90	0,662	0,770	0,0055
				CHUKAR	0,82	18,0	90,0	155,21 - j1,40	10066,50	51,07	0,518	0,623	0,0036
				RAIL	0,76	18,8	89,9	212,62 - j2,46	7347,71	11,23	0,703	0,814	0,0063
			4	BITTERN	0,71	18,4	90,0	204,68 - j1,90	7633,22	13,02	0,548	0,686	0,0049

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1250	Não	10	4	CHUKAR	0,69	18,0	89,9	181,94 - j1,47	8587,29	26,52	0,441	0,597	0,0038
	Sim	10	0	CHUKAR	0,77	18,0	90,0	161,03 - j1,37	9702,40	22,05	0,499	0,568	0,0035
			2	CHUKAR	0,66	18,0	89,9	187,01 - j1,41	8354,89	5,73	0,429	0,518	0,0036

Tabela H.16: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1250	Não	9	0	BITTERN	8,33	19,34	48,81	1,79	5,00	4,98	1,05
				BLUEJAY	8,33	18,85	47,87	1,46	4,06	4,08	1,06
				CHUKAR	8,32	19,87	50,84	2,78	7,87	7,62	1,05
				RAIL	8,32	19,81	43,23	0,58	1,45	1,51	1,30
			1	BITTERN	8,32	20,00	47,48	1,98	3,67	3,69	1,32
				BLUEJAY	8,32	19,83	46,22	1,49	2,77	2,79	1,32
				CHUKAR	8,32	20,25	50,05	3,47	6,49	6,47	1,32
			3	CHUKAR	8,33	20,19	46,52	1,74	3,24	4,79	2,59
		10	0	BITTERN	8,32	19,81	50,01	2,18	5,74	7,52	1,24
				BLUEJAY	8,32	19,68	48,93	1,78	4,47	6,20	1,22
				CHUKAR	8,32	20,19	52,16	3,09	9,15	9,81	1,10
				DRAKE	8,32	19,72	43,37	0,93	2,56	2,97	1,30
				RAIL	8,32	19,52	47,32	1,34	3,24	4,68	1,24
			2	BITTERN	8,32	20,28	48,29	1,78	4,15	4,67	2,17
				BLUEJAY	8,31	20,17	46,97	1,32	3,09	3,57	2,02
				CHUKAR	8,33	20,36	50,96	3,21	7,42	8,09	2,28
				RAIL	8,31	20,03	45,02	0,80	1,98	2,44	1,57
			4	BITTERN	8,32	20,41	45,01	0,77	1,30	3,71	1,60

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1250	Não	10	4	CHUKAR	8,32	20,31	47,08	1,92	3,48	5,72	3,51
	Sim	10	0	CHUKAR	8,32	22,70	43,11	1,38	3,62	3,87	1,30
			2	CHUKAR	8,31	24,14	39,64	0,55	1,45	1,88	1,17

H.2 - EVOLUÇÃO DE CASOS REPRESENTATIVOS

Nesta secção são mostrados os resultados no mesmo formato que é explicado na secção 6.5.2, exceto para os níveis de tensão 765 kV e 1000 kV, que já foram apresentados no referido capítulo.

H.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Tensão de operação [kV]	138
Distância de isolação	Convencional (2,8 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	2

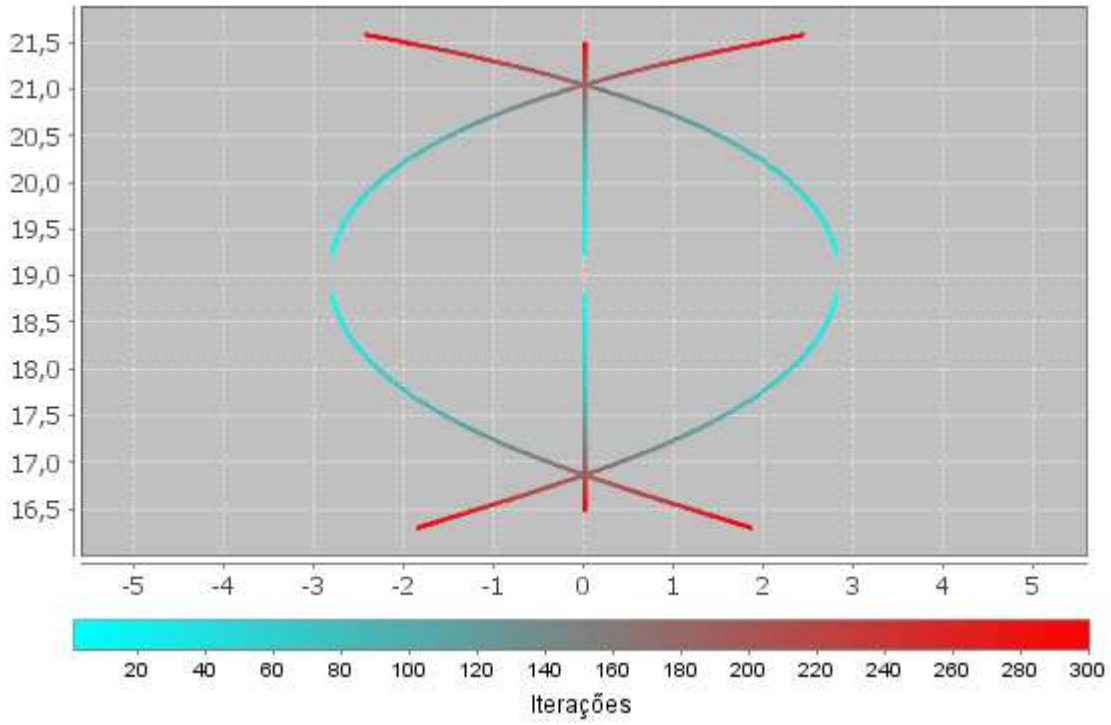

Figura H.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

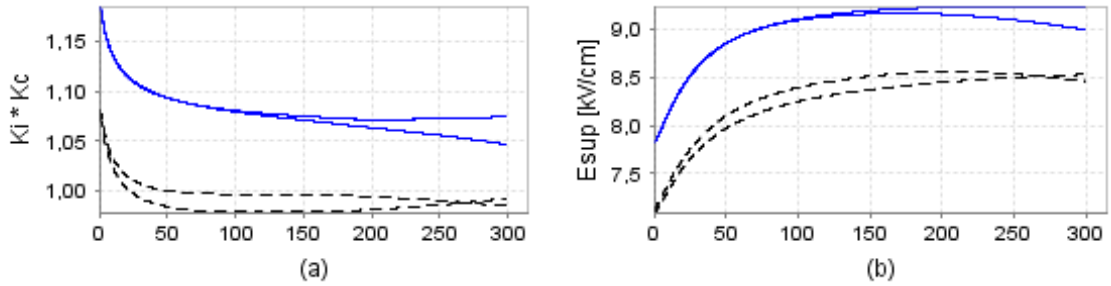

Figura H.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

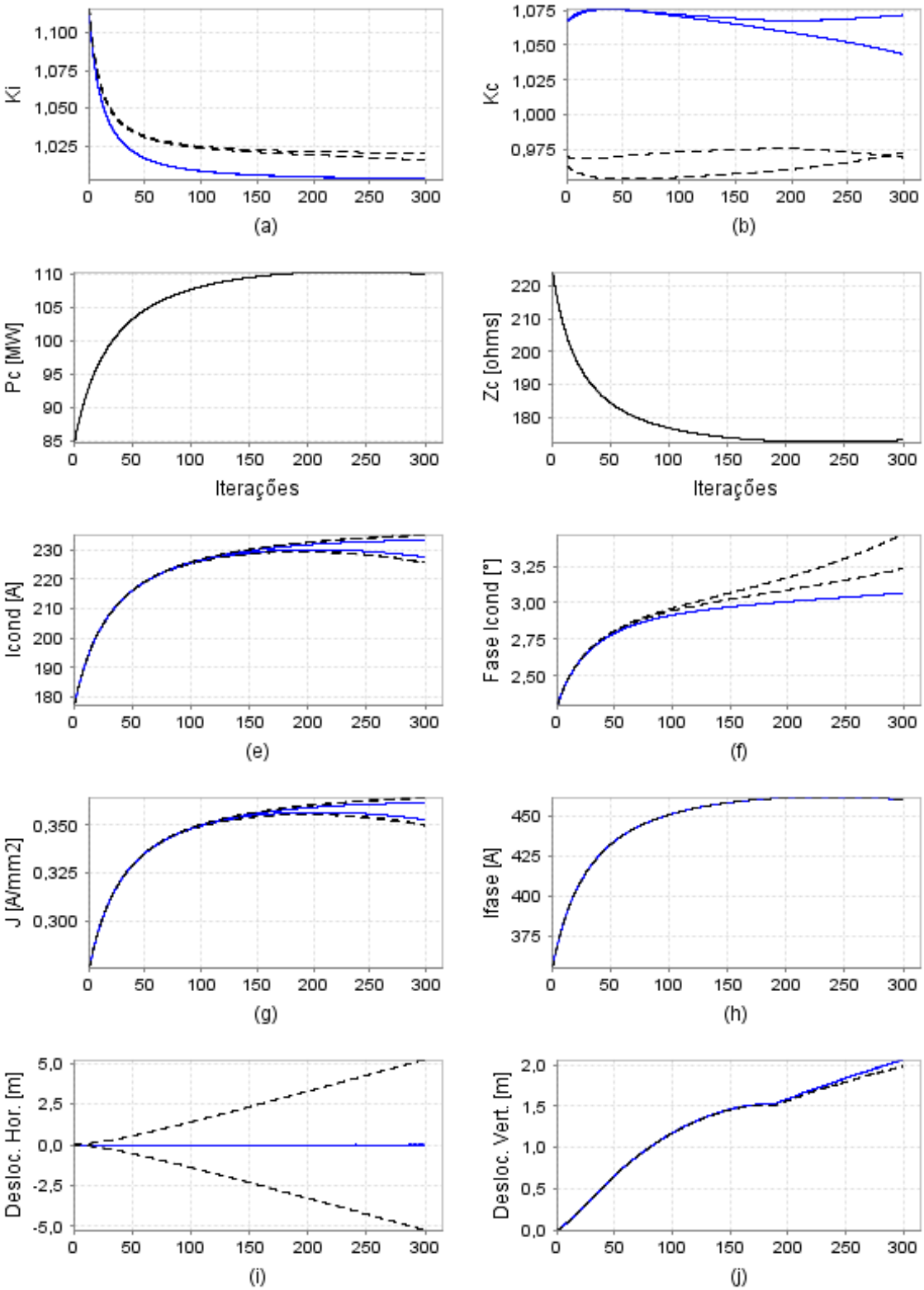

Figura H.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

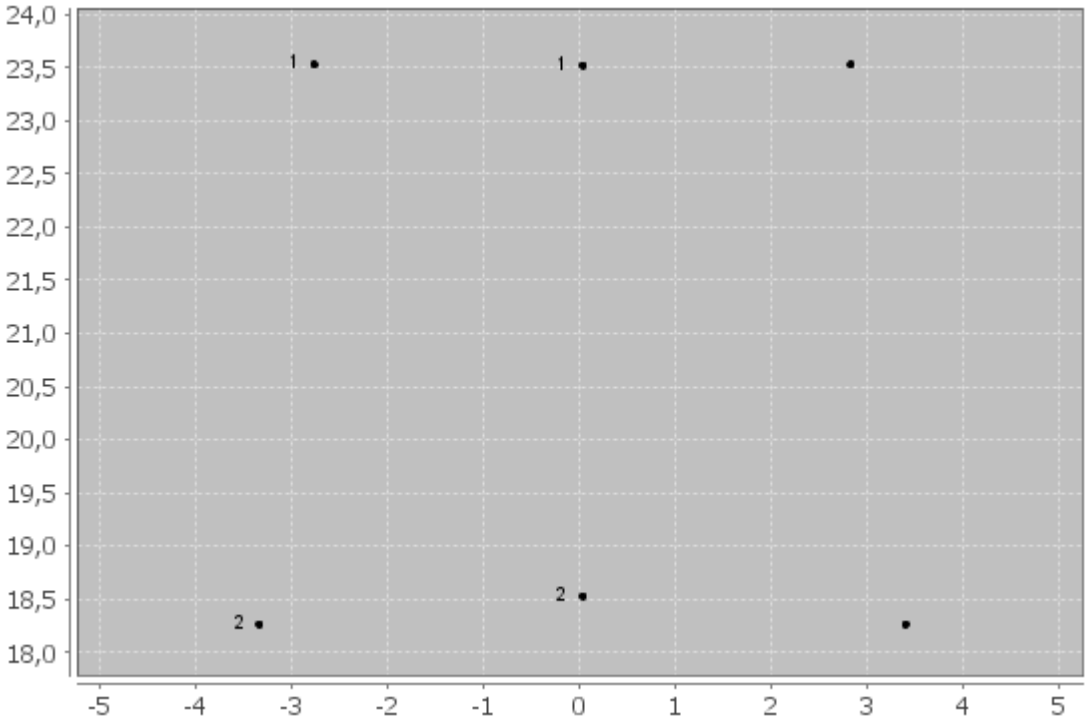

Figura H.4: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2									Média	Desvio
Ki * Kc	1,074	1,047									1,061	0,020
Ki	1,003	1,003									1,003	0,000
Kc	1,071	1,044									1,058	0,020
Icond [A]	233	228									230	4
Esup [kV/cm]	9,2	9,0									9,1	0,2

Tabela H.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2									Média	Desvio
Ki * Kc	0,992	0,985									0,989	0,005
Ki	1,020	1,016									1,018	0,003
Kc	0,973	0,970									0,971	0,002
Icond [A]	235	226									230	6
Esup [kV/cm]	8,5	8,5									8,5	0,0

Tensão de operação [kV]	230
Distância de isolação	Compacta (2,3 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	2

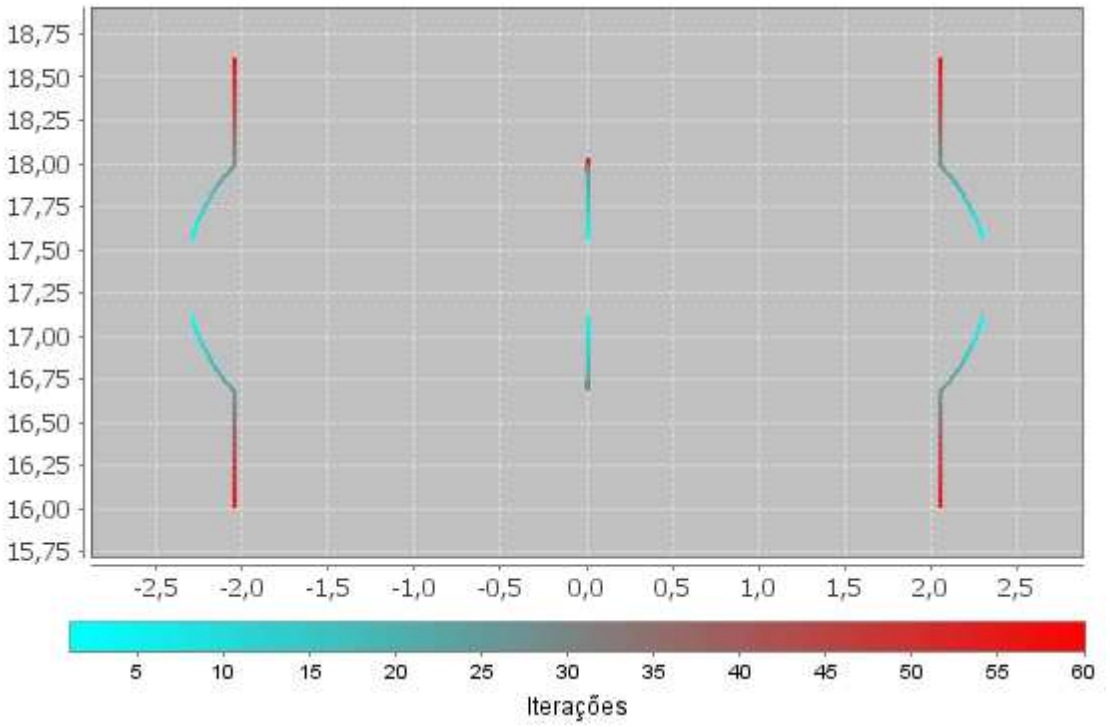

Figura H.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 1-I (27), 2-I (27)

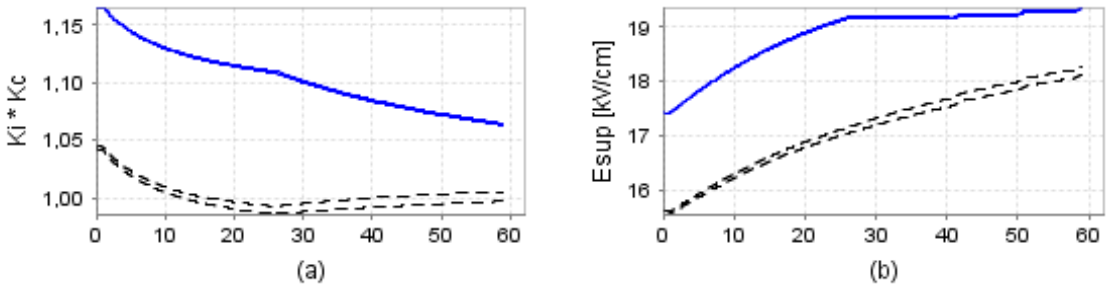

Figura H.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta

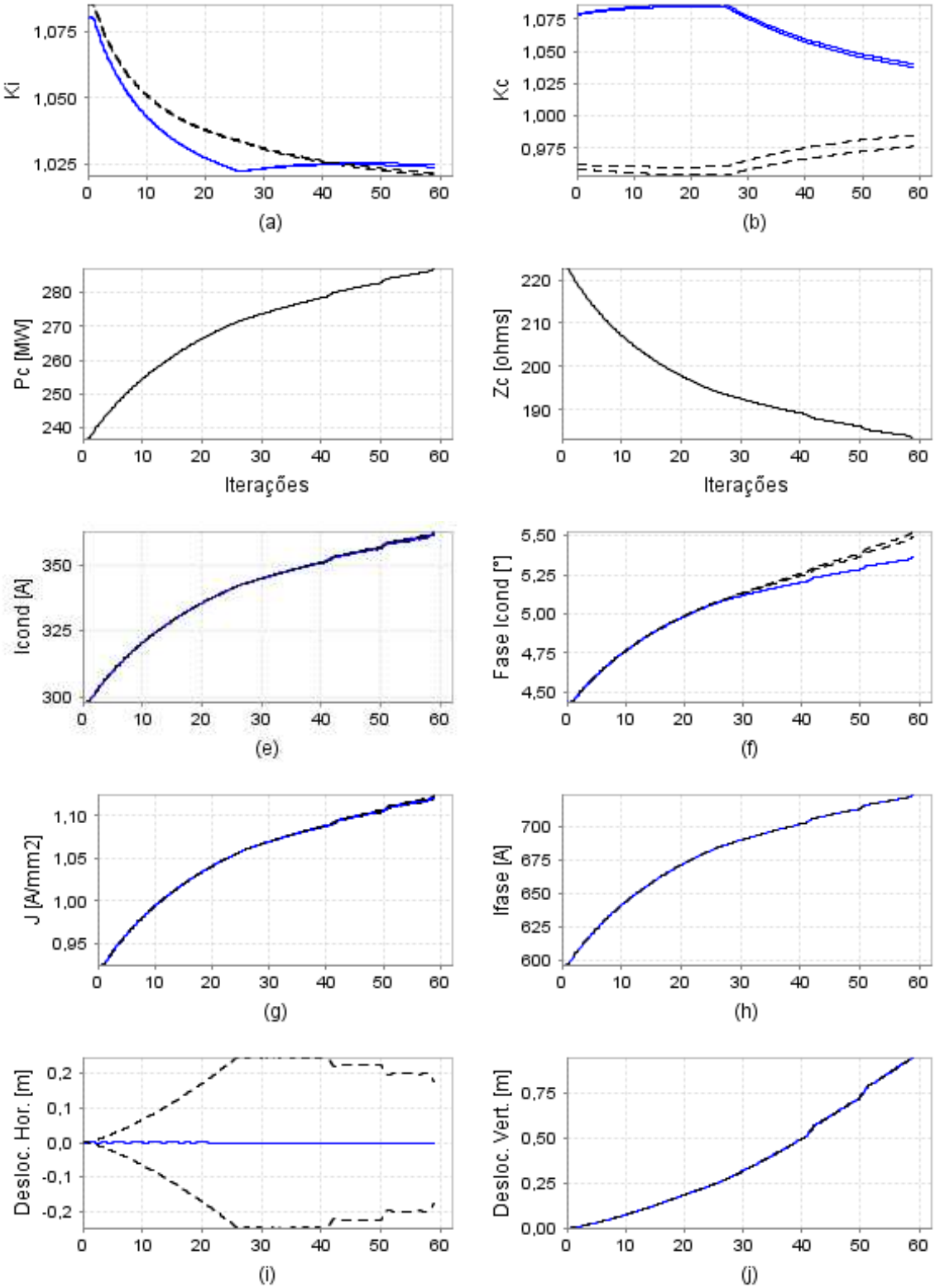

Figura H.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta

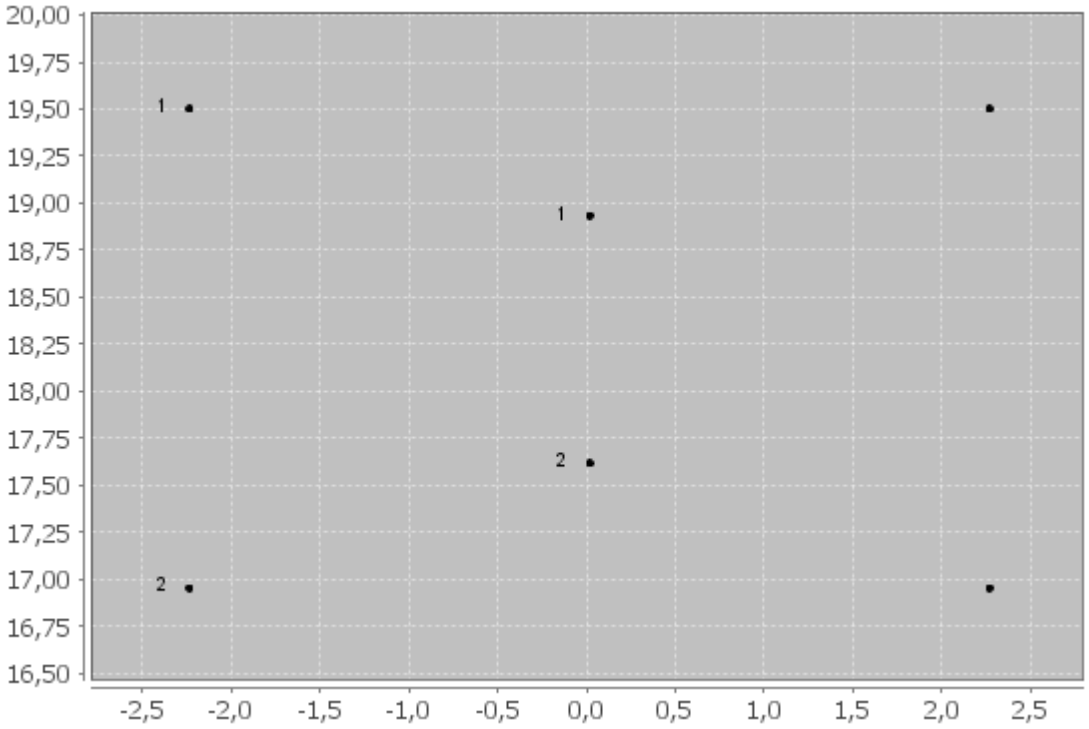

Figura H.8: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta

Tabela H.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2									Média	Desvio
Ki * Kc	1,065	1,064									1,065	0,001
Ki	1,024	1,025									1,024	0,001
Kc	1,041	1,038									1,040	0,002
Icond [A]	360	361									361	0
Esup [kV/cm]	19,3	19,3									19,3	0,0

Tabela H.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo GROSBEAK a 230 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2									Média	Desvio
Ki * Kc	0,997	1,005									1,001	0,006
Ki	1,021	1,021									1,021	0,001
Kc	0,976	0,985									0,980	0,006
Icond [A]	361	360									361	0
Esup [kV/cm]	18,1	18,2									18,1	0,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BLUEJAY
Nsub	3

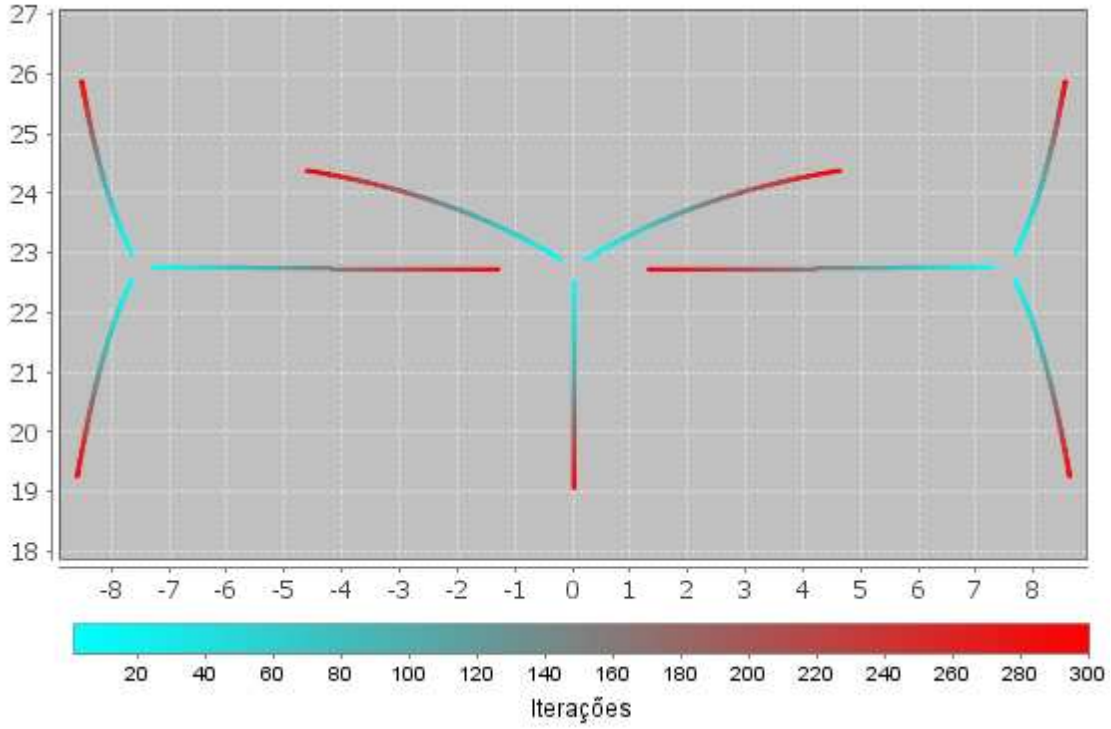

Figura H.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

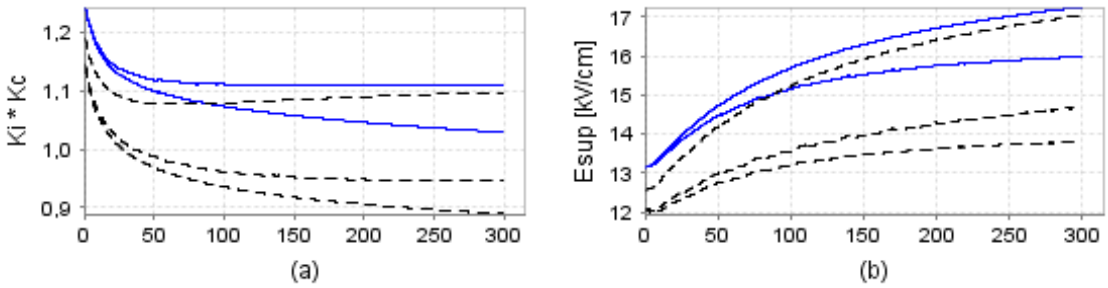

Figura H.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional

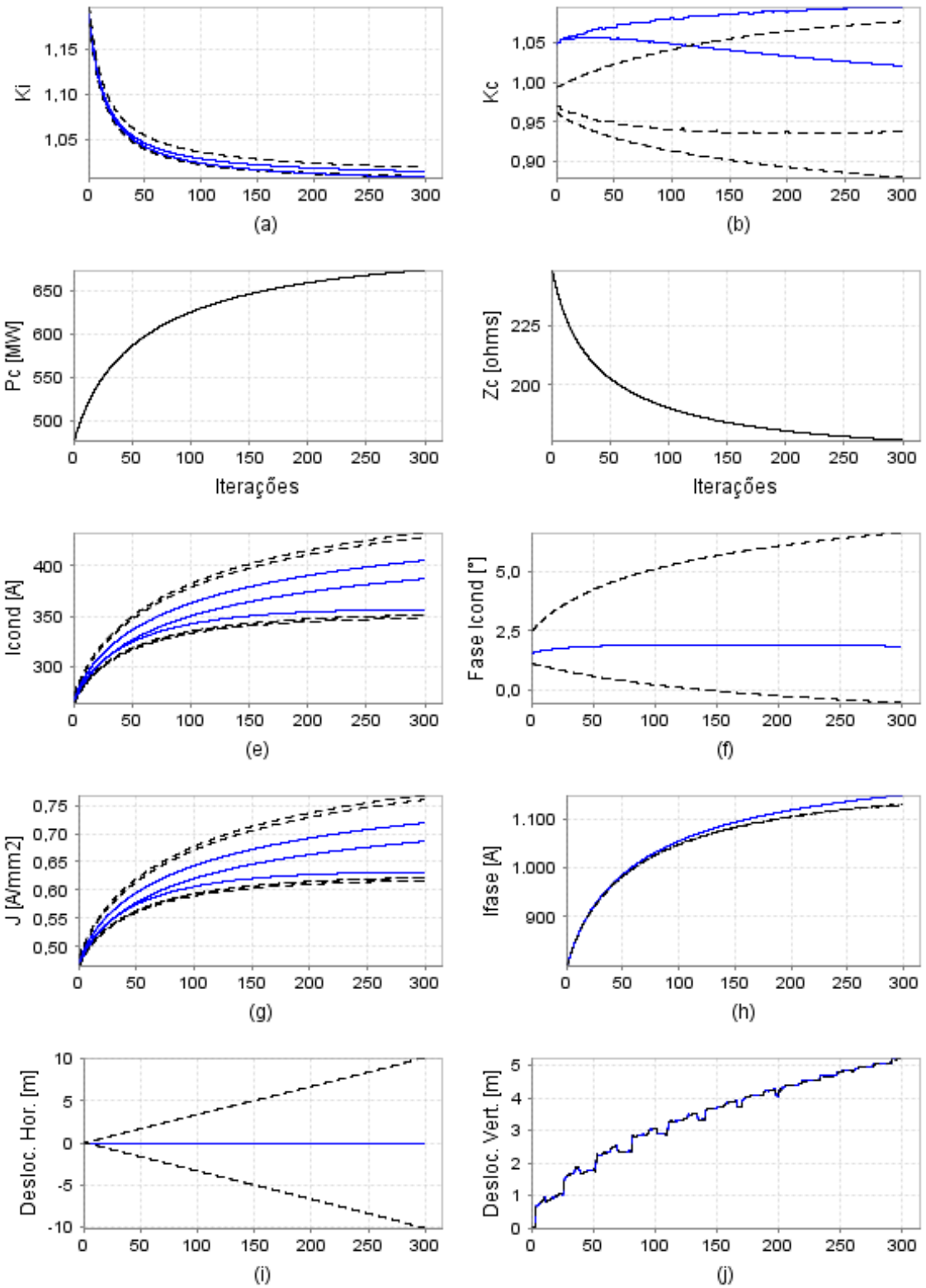

Figura H.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional

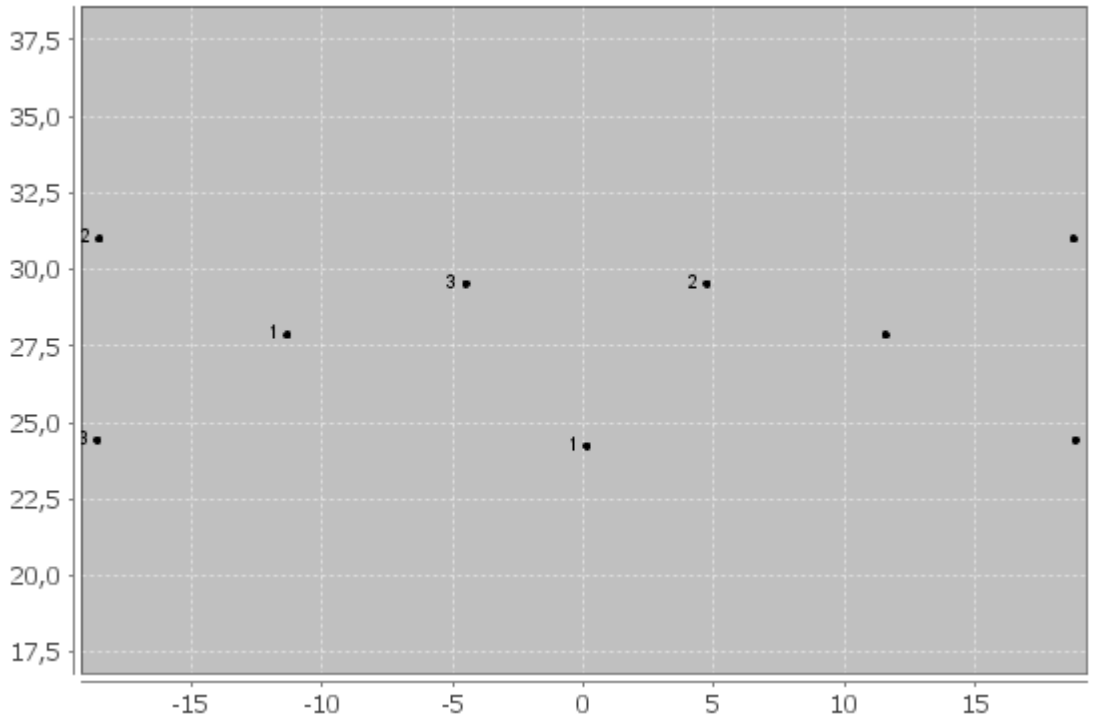

Figura H.12: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,029	1,112	1,112								1,084	0,067
Ki	1,008	1,015	1,015								1,013	0,005
Kc	1,021	1,095	1,095								1,070	0,061
Icond [A]	356	387	405								383	35
Esup [kV/cm]	16,0	17,3	17,3								16,8	1,0

Tabela H.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,097	0,889	0,946								0,977	0,152
Ki	1,019	1,010	1,009								1,013	0,008
Kc	1,076	0,881	0,938								0,965	0,142
Icond [A]	428	351	351								377	63
Esup [kV/cm]	17,0	13,8	14,7								15,2	2,4

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	3

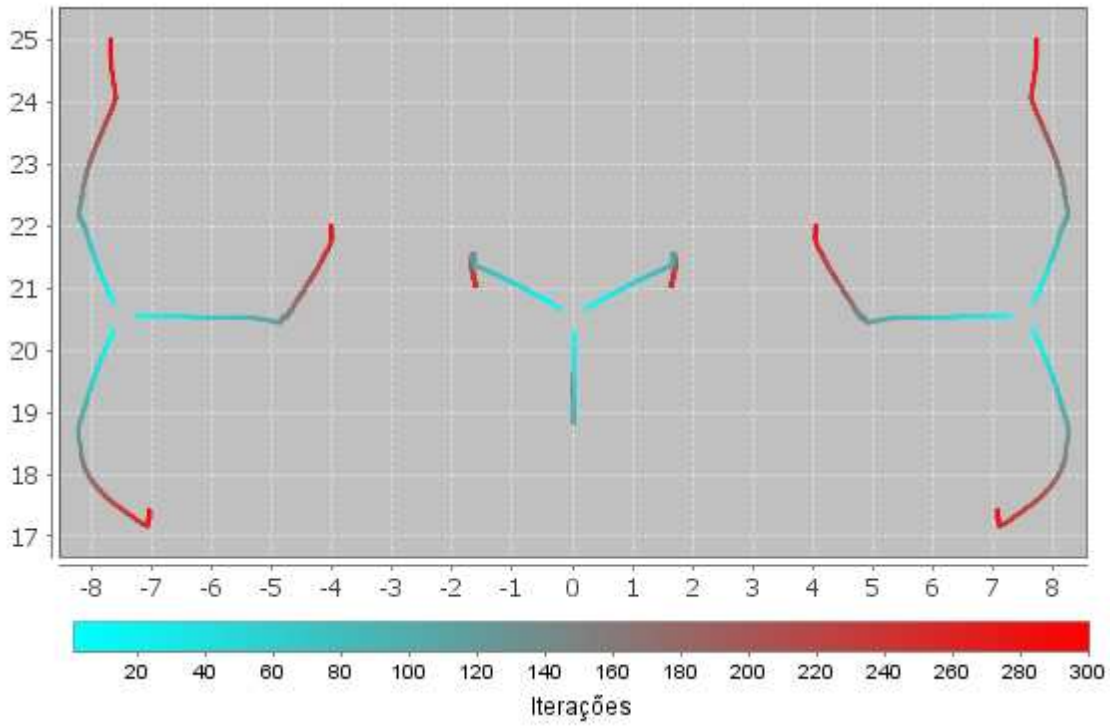

Figura H.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-I (97), 3-I (97), 1-E (120), 3-E (253)

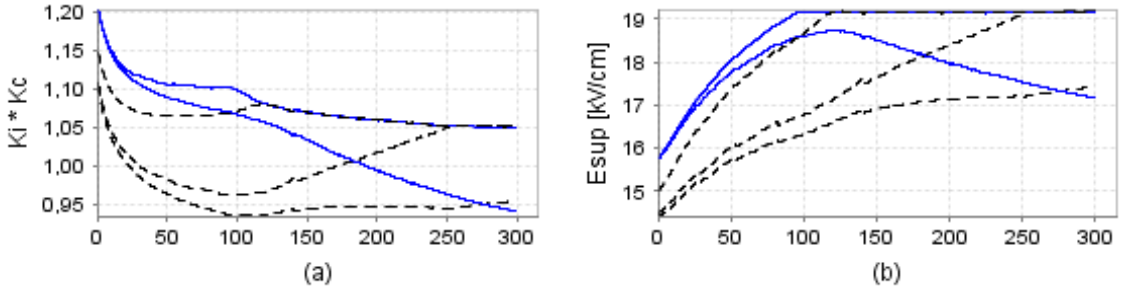

Figura H.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

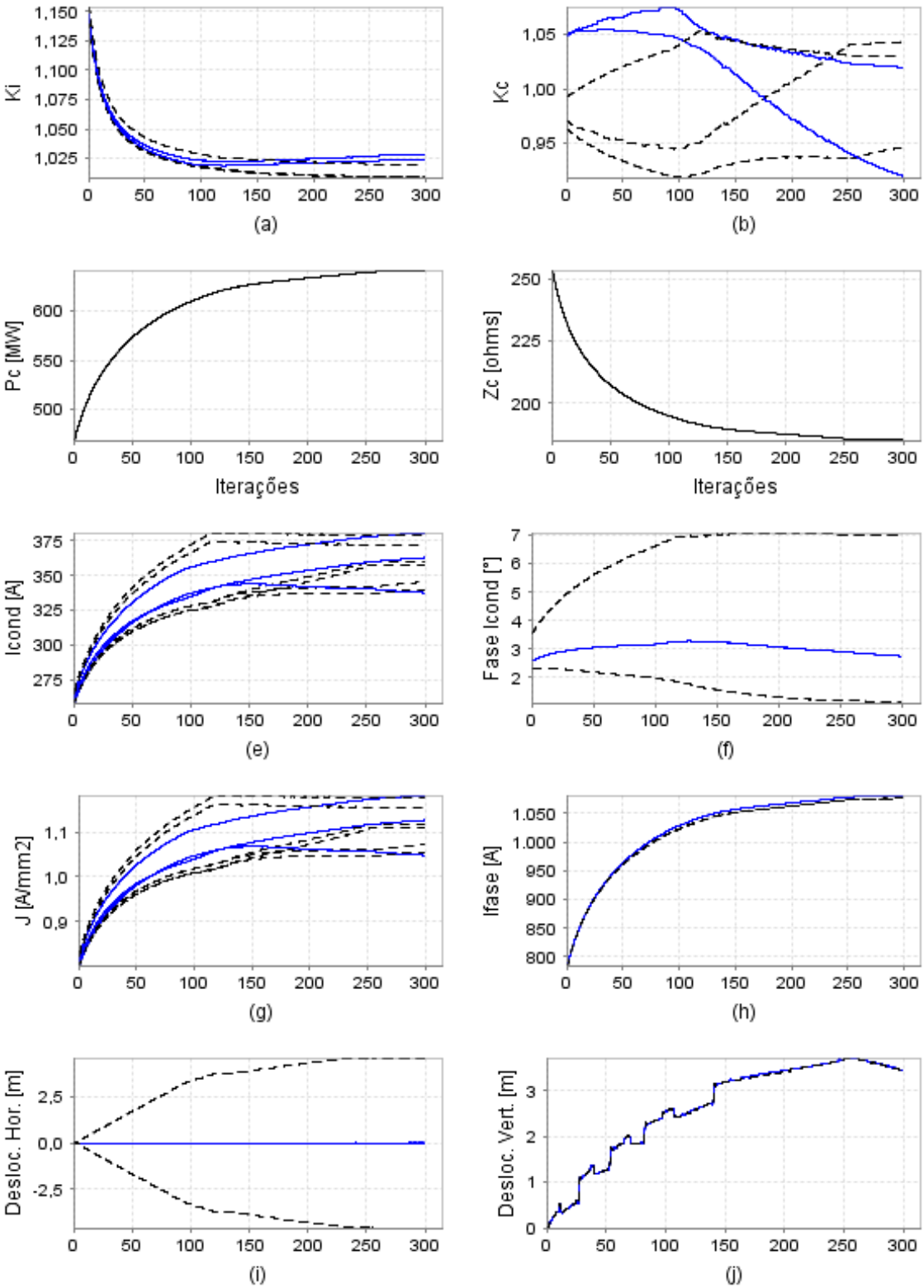

Figura H.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

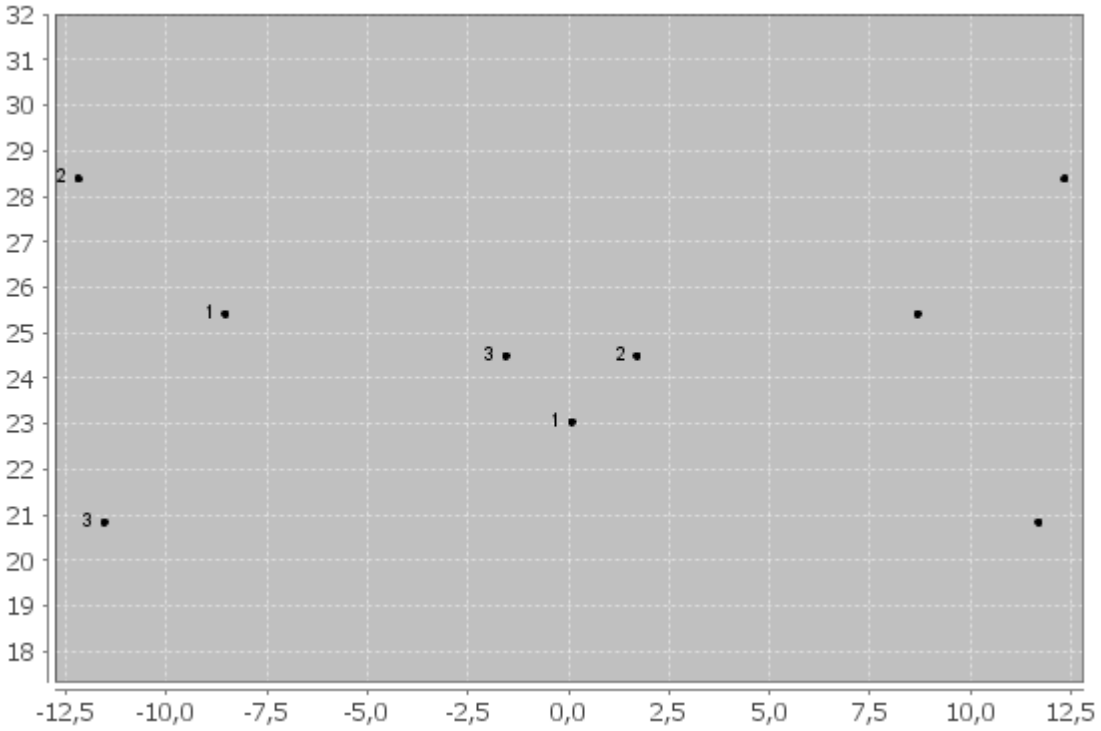

Figura H.16: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	0,941	1,049	1,049								1,013	0,088
Ki	1,023	1,029	1,029								1,027	0,004
Kc	0,920	1,020	1,020								0,987	0,082
Icond [A]	338	363	381								361	31
Esup [kV/cm]	17,2	19,1	19,1								18,5	1,6

Tabela H.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,050	0,954	1,053								1,019	0,080
Ki	1,019	1,009	1,009								1,012	0,008
Kc	1,031	0,946	1,043								1,007	0,075
Icond [A]	372	345	360								359	19
Esup [kV/cm]	19,2	17,4	19,2								18,6	1,5

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	4

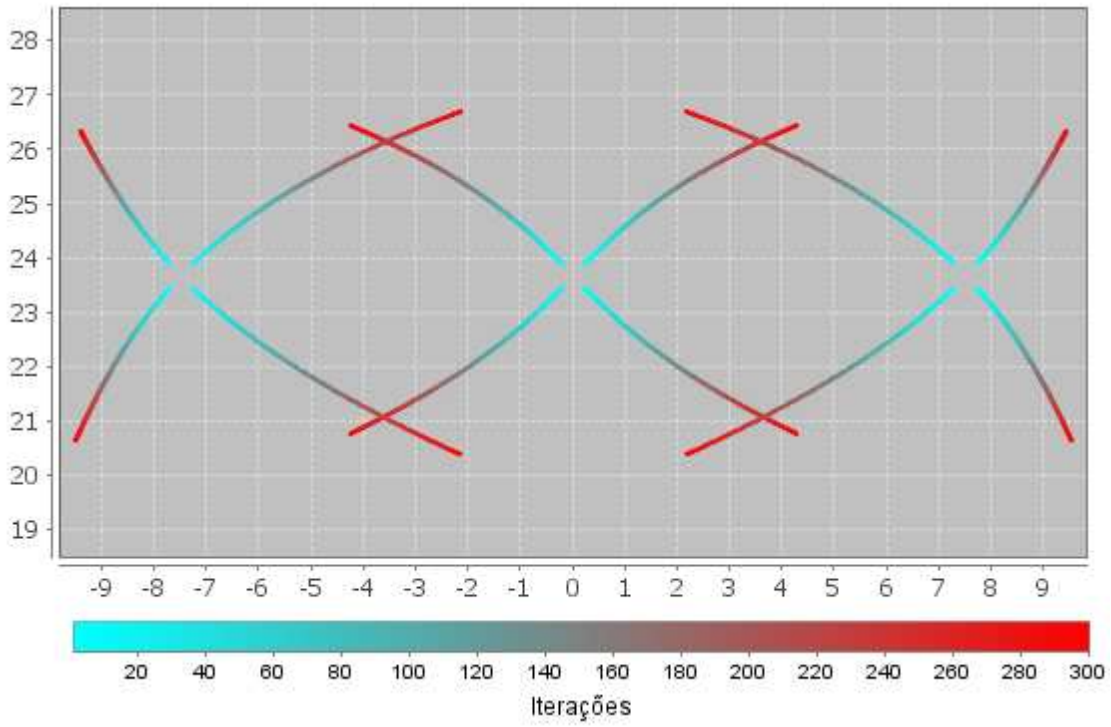

Figura H.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

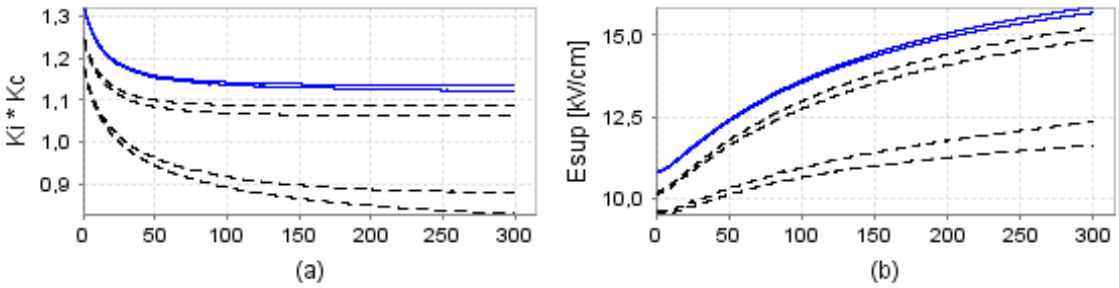

Figura H.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

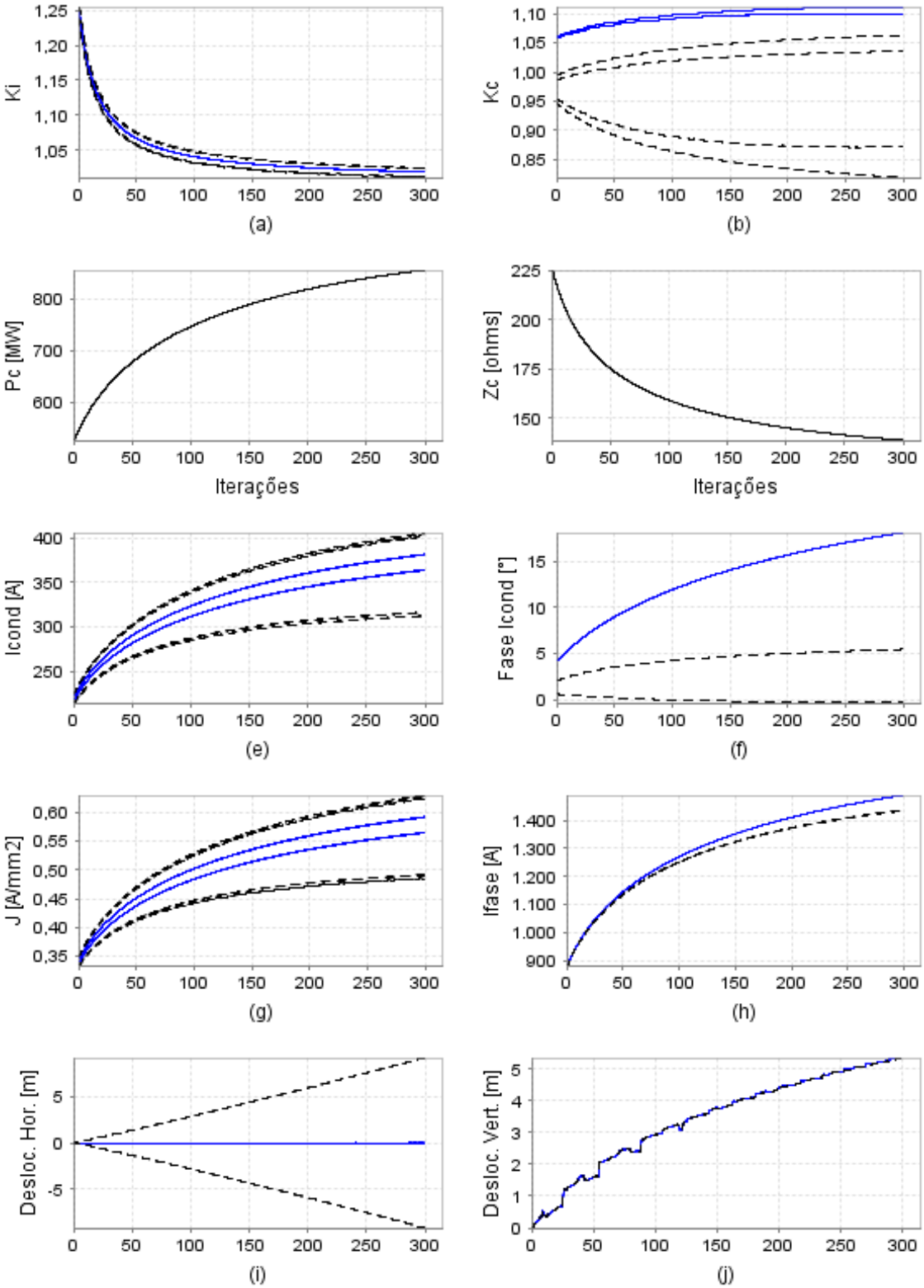

Figura H.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

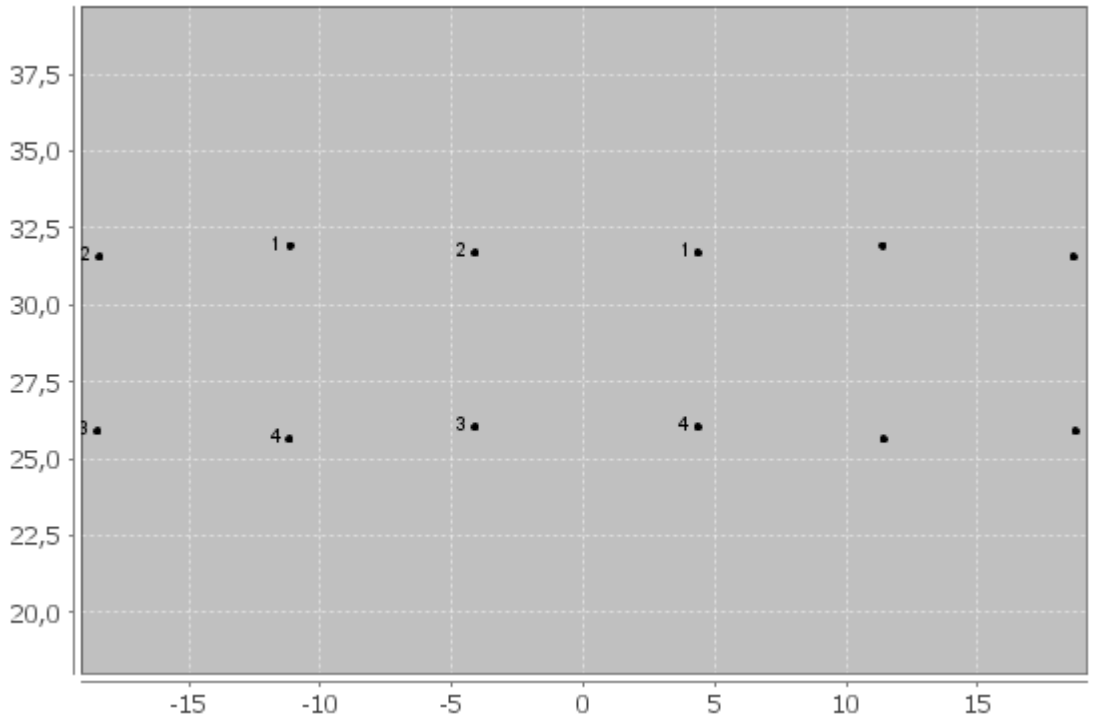

Figura H.20: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,120	1,120	1,133	1,133							1,126	0,013
Ki	1,019	1,019	1,019	1,019							1,019	0,000
Kc	1,099	1,099	1,112	1,112							1,105	0,013
Icond [A]	363	381	381	364							372	17
Esup [kV/cm]	15,7	15,7	15,9	15,9							15,8	0,2

Tabela H.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,061	0,830	0,882	1,088							0,965	0,222
Ki	1,025	1,012	1,011	1,024							1,018	0,012
Kc	1,035	0,820	0,872	1,062							0,947	0,207
Icond [A]	403	316	317	401							359	85
Esup [kV/cm]	14,8	11,6	12,3	15,2							13,5	3,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	4

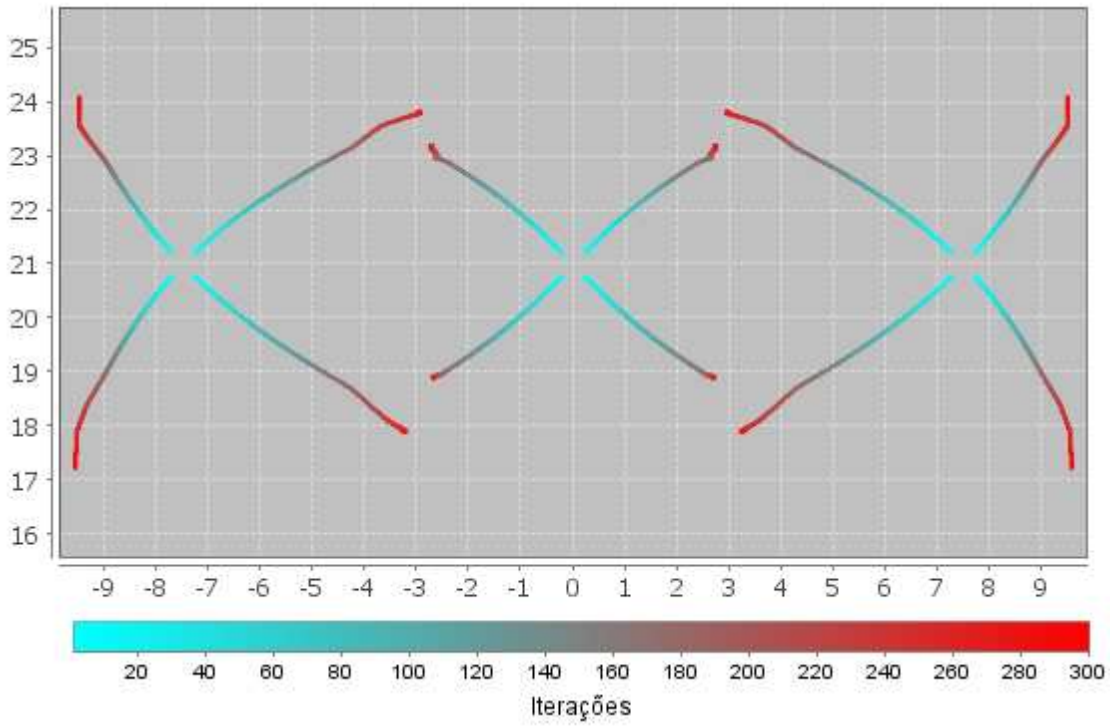

Figura H.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 3-I (174), 4-I (174), 1-I (185), 2-I (185), 4-E (225), 1-E (264)

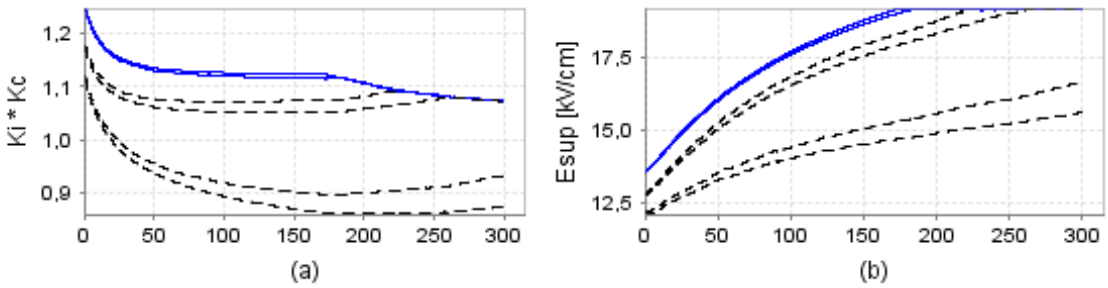

Figura H.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

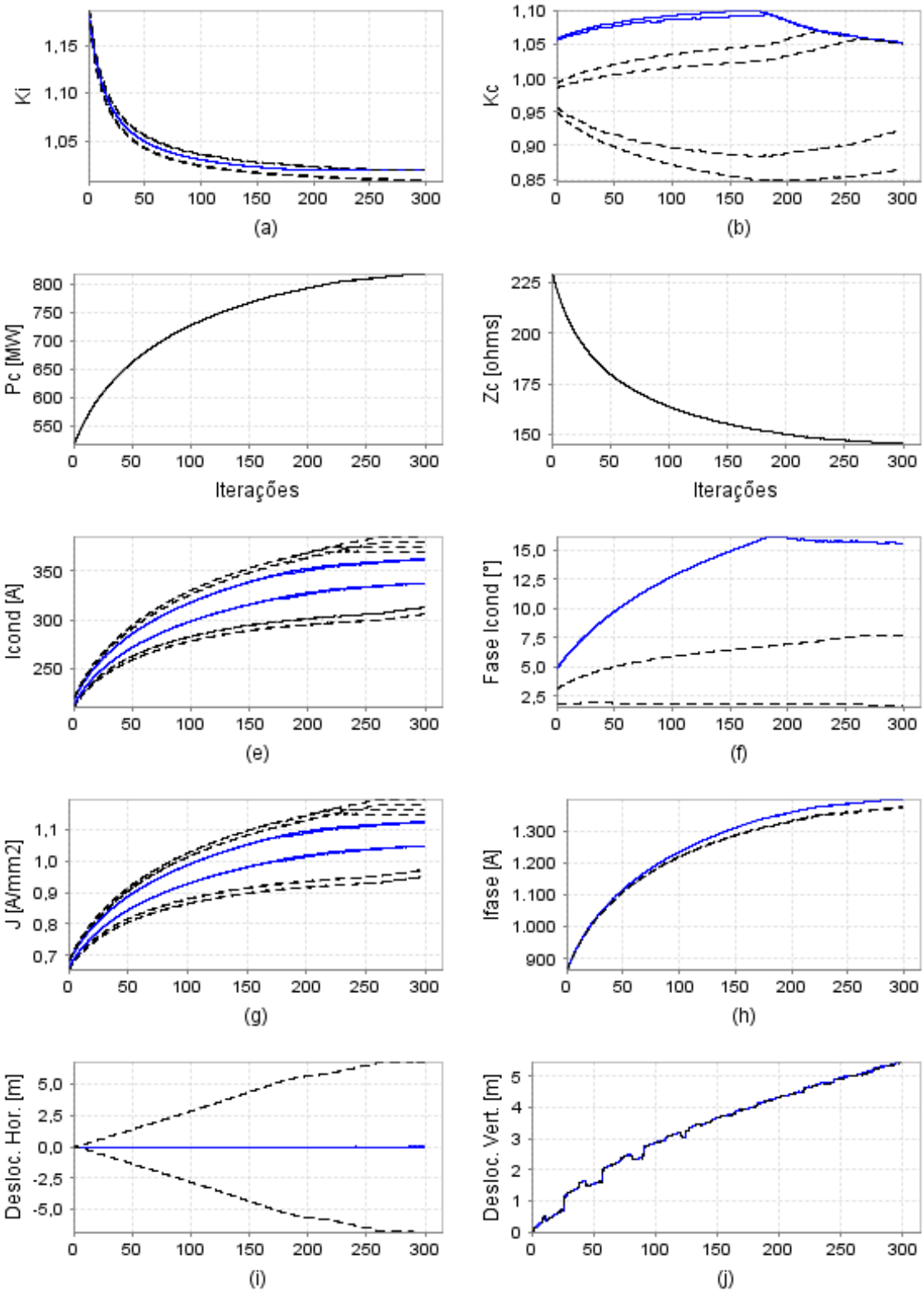

Figura H.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

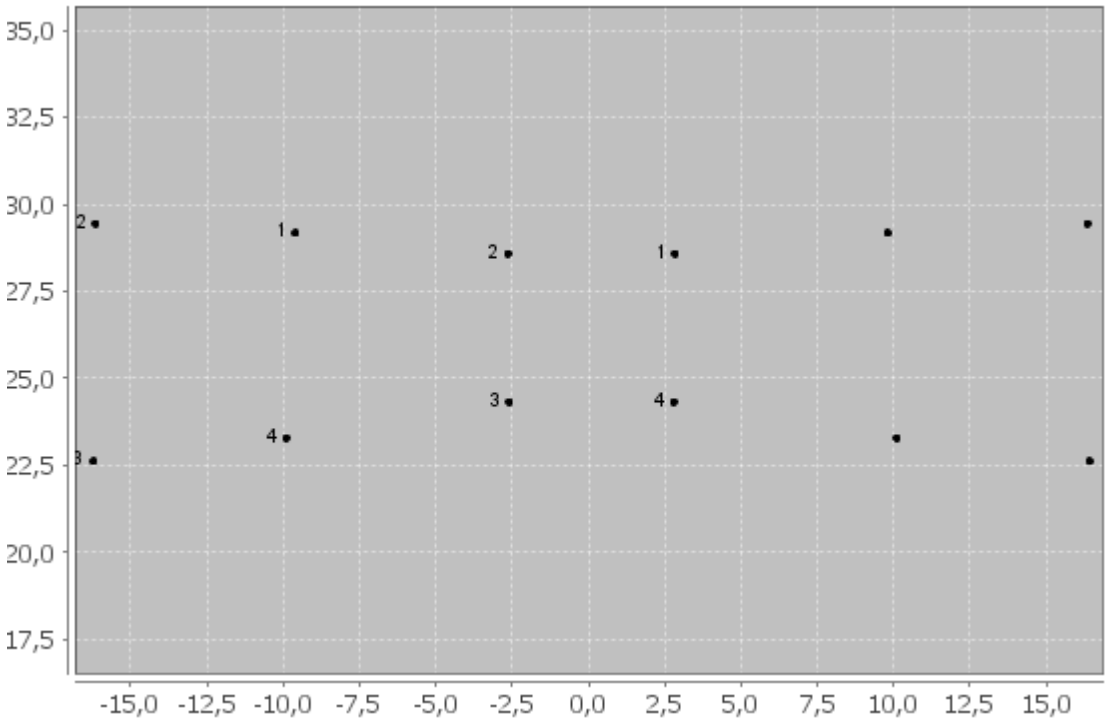

Figura H.24: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,073	1,073	1,073	1,073							1,073	0,001
Ki	1,019	1,019	1,019	1,019							1,019	0,000
Kc	1,054	1,054	1,053	1,053							1,053	0,001
Icond [A]	338	363	362	337							350	24
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	19,2	19,2							19,2	0,0

Tabela H.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,072	0,872	0,931	1,072							0,987	0,176
Ki	1,019	1,009	1,008	1,018							1,014	0,011
Kc	1,052	0,865	0,924	1,053							0,973	0,164
Icond [A]	379	313	313	369							344	62
Esup [kV/cm]	19,1	15,6	16,6	19,1							17,6	3,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	LINNET
Nsub	4

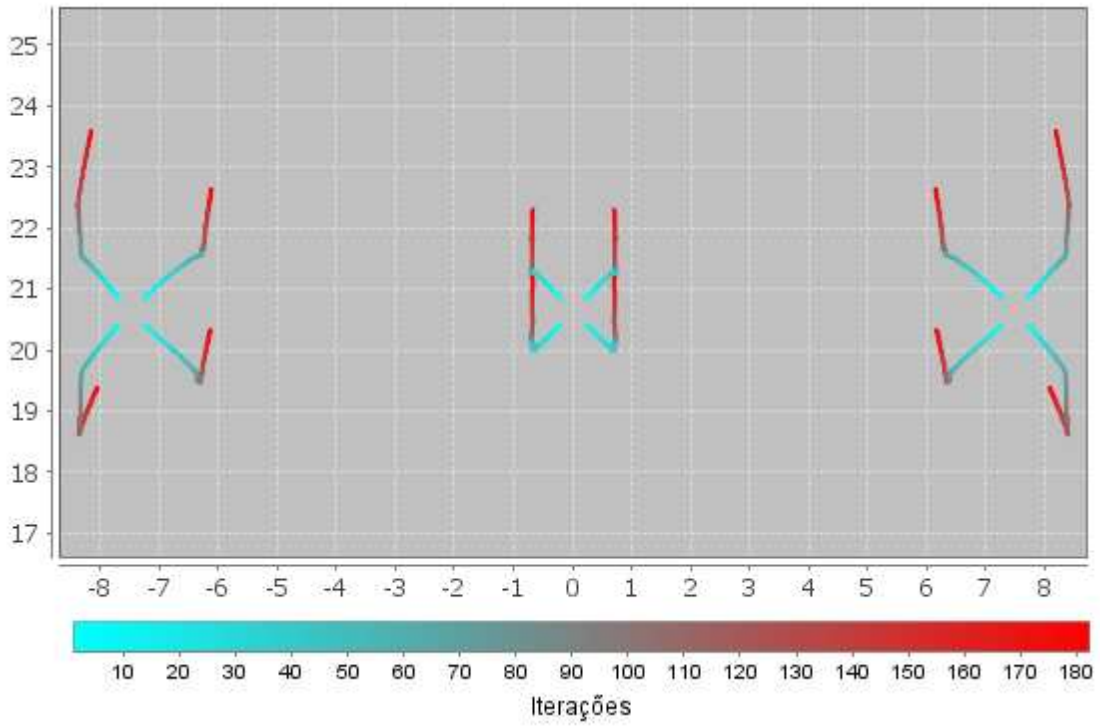

Figura H.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 3-I (36), 4-I (36), 1-I (37), 2-I (37), 4-E (57), 1-E (65), 3-E (117)

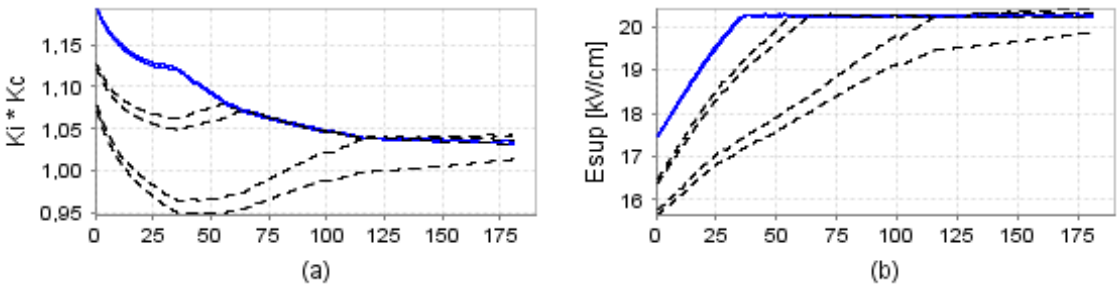

Figura H.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

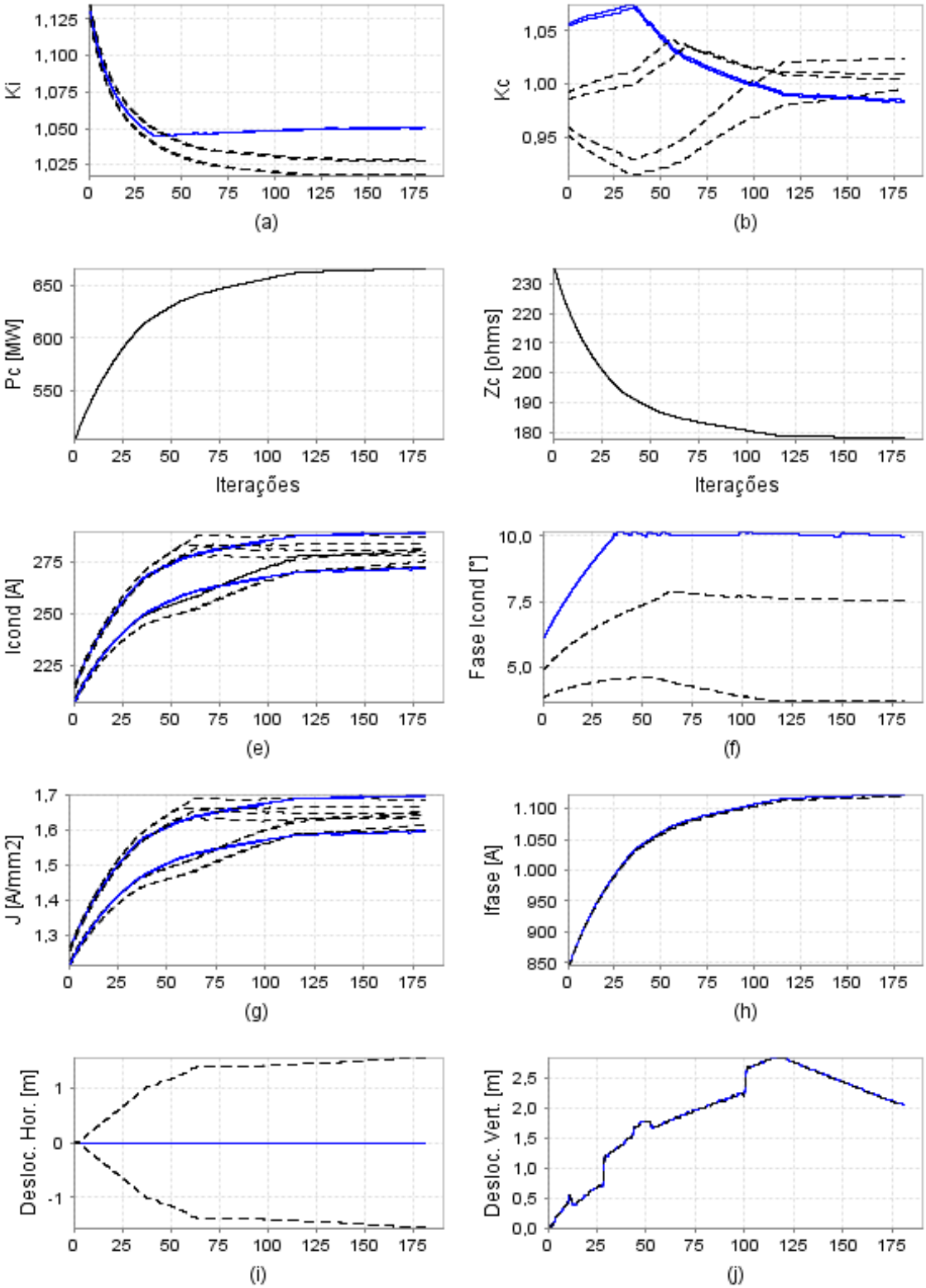

Figura H.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

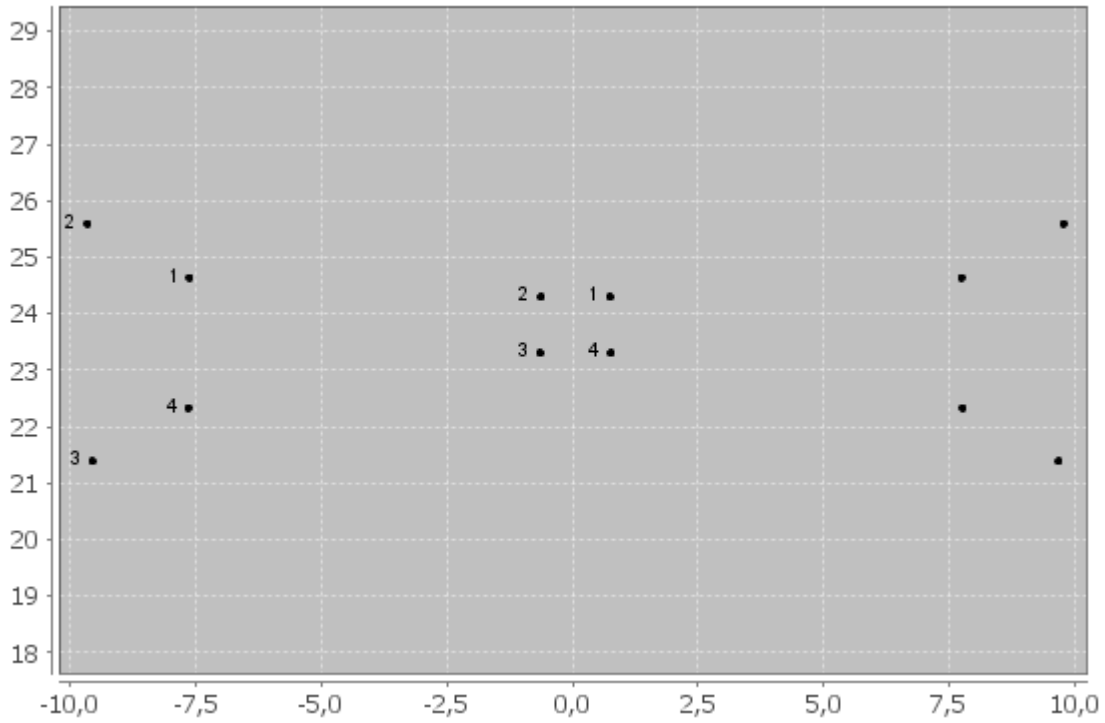

Figura H.28: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,032	1,032	1,035	1,035							1,034	0,003
Ki	1,050	1,050	1,051	1,051							1,050	0,001
Kc	0,983	0,983	0,985	0,985							0,984	0,002
Icond [A]	272	289	290	272							281	18
Esup [kV/cm]	20,2	20,2	20,3	20,3							20,3	0,1

Tabela H.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,032	1,014	1,042	1,037							1,031	0,022
Ki	1,028	1,018	1,018	1,027							1,023	0,010
Kc	1,004	0,995	1,024	1,009							1,008	0,021
Icond [A]	280	282	280	278							280	3
Esup [kV/cm]	20,2	19,9	20,4	20,3							20,2	0,4

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Compacta (3,5 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	4

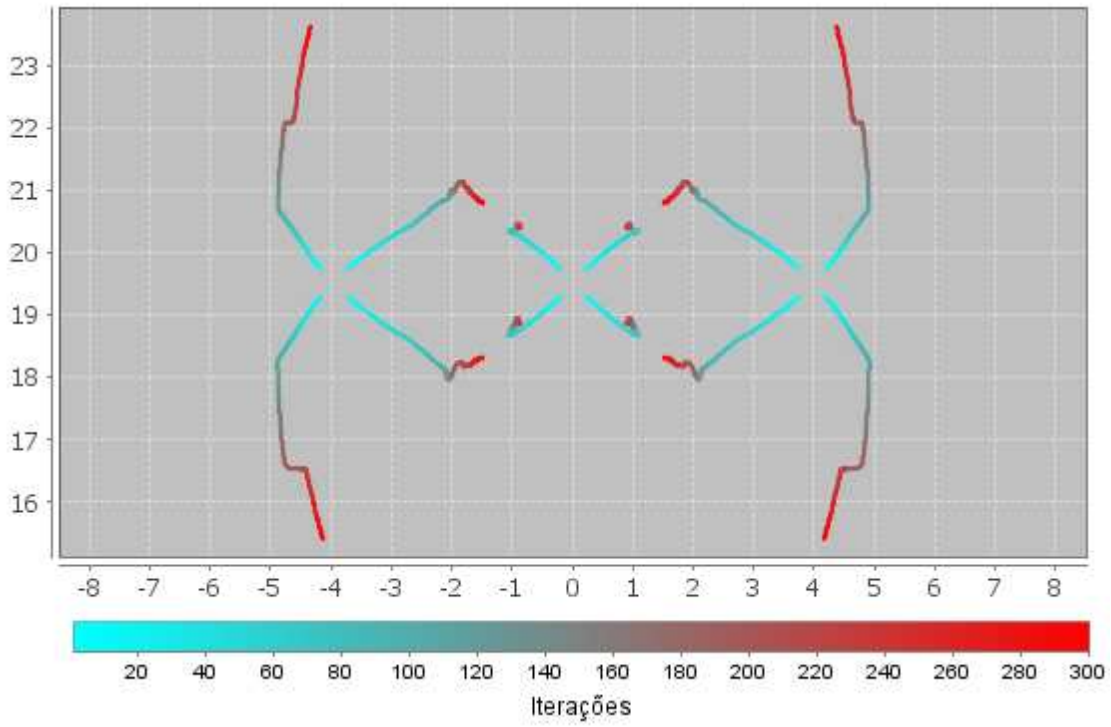

Figura H.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 1-I (65), 2-I (65), 3-I (66), 4-I (66), 4-E (100), 1-E (108)

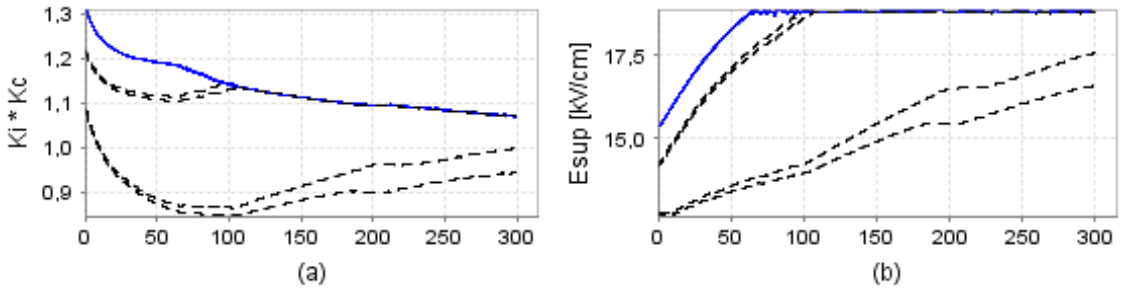

Figura H.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta

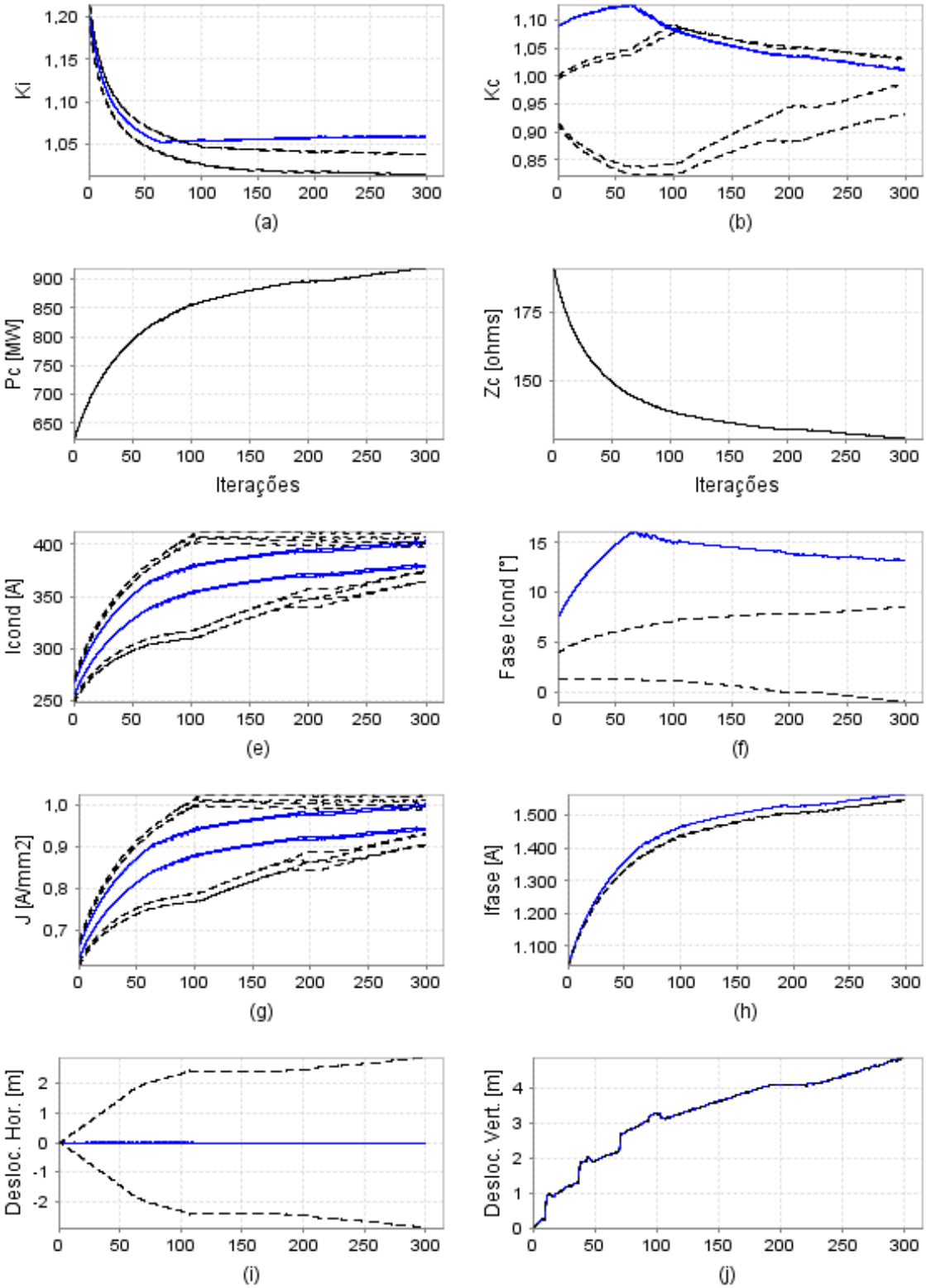

Figura H.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta

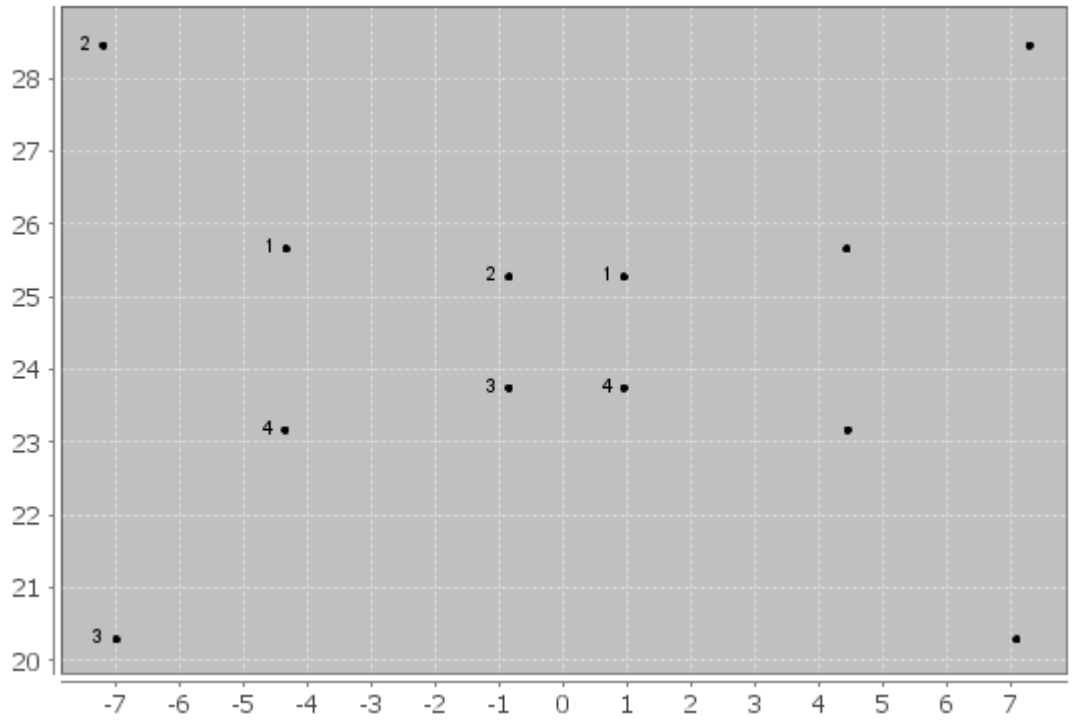

Figura H.32: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta

Tabela H.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,070	1,070	1,069	1,069							1,070	0,001
Ki	1,057	1,057	1,059	1,059							1,058	0,001
Kc	1,012	1,012	1,010	1,010							1,011	0,003
Icond [A]	379	401	403	380							391	23
Esup [kV/cm]	18,8	18,8	18,8	18,8							18,8	0,0

Tabela H.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,070	0,942	0,997	1,070							1,020	0,108
Ki	1,038	1,013	1,013	1,037							1,025	0,024
Kc	1,031	0,930	0,985	1,032							0,994	0,084
Icond [A]	402	373	375	398							387	26
Esup [kV/cm]	18,8	16,6	17,6	18,8							18,0	1,9

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Compacta (3,5 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	4

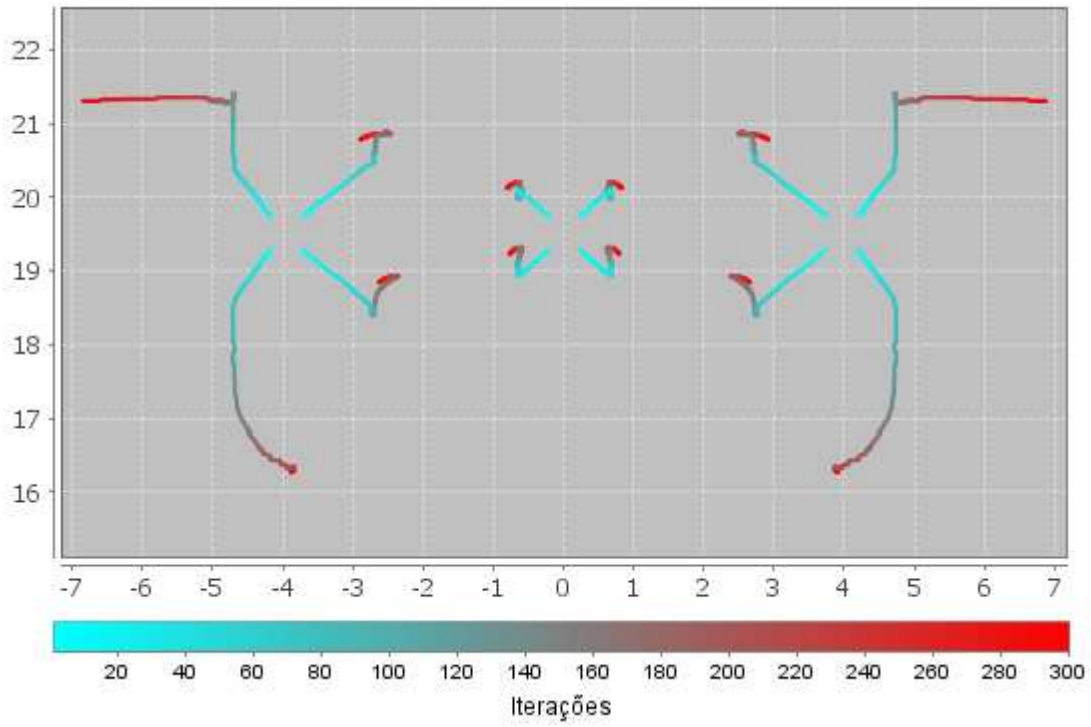

Figura H.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 1-I (35), 2-I (35), 3-I (36), 4-I (36), 4-E (62), 1-E (69), 3-E (212)

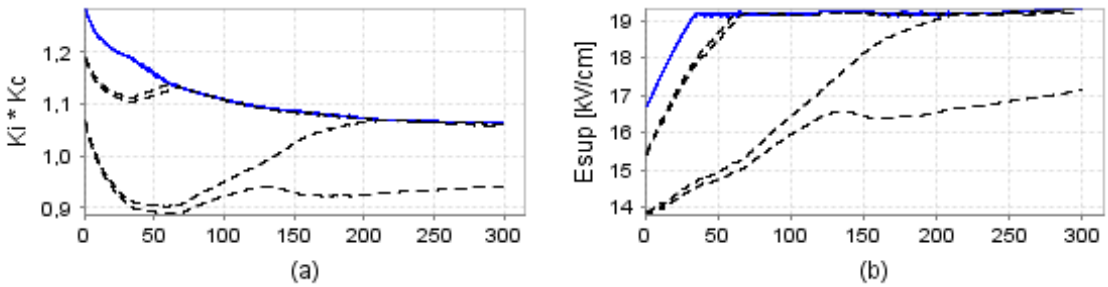

Figura H.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta

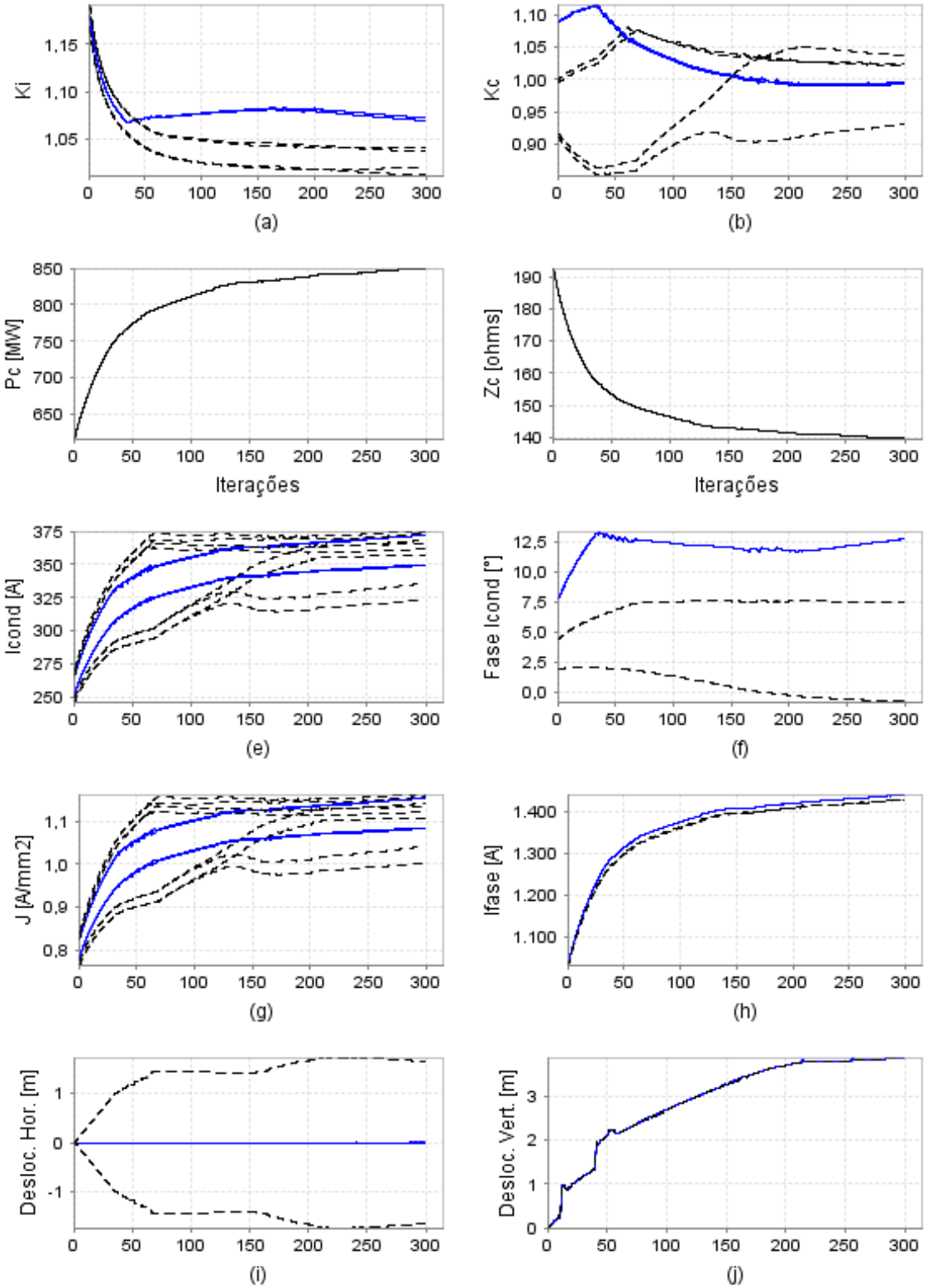

Figura H.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta

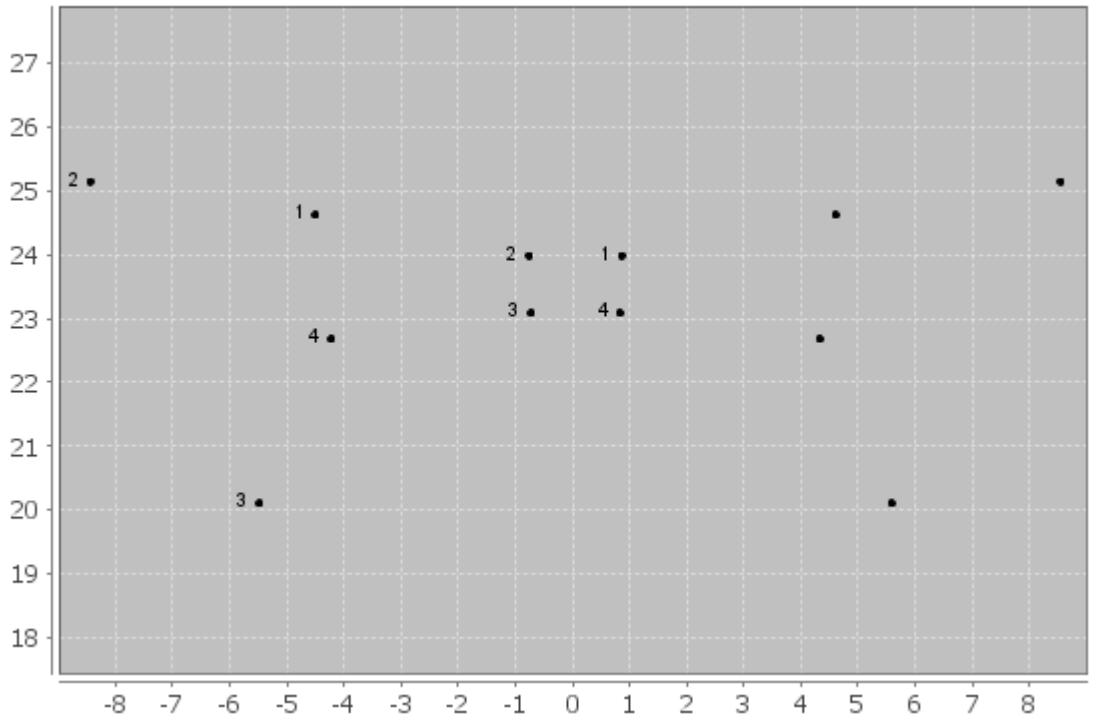

Figura H.36: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta

Tabela H.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,064	1,064	1,064	1,064							1,064	0,000
Ki	1,070	1,070	1,072	1,072							1,071	0,003
Kc	0,995	0,995	0,992	0,992							0,993	0,003
Icond [A]	349	372	372	350							361	22
Esup [kV/cm]	19,3	19,3	19,3	19,3							19,3	0,0

Tabela H.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,062	0,942	1,056	1,063							1,031	0,103
Ki	1,037	1,012	1,019	1,040							1,027	0,024
Kc	1,024	0,931	1,036	1,022							1,003	0,084
Icond [A]	368	336	365	362							358	26
Esup [kV/cm]	19,3	17,1	19,2	19,3							18,7	1,9

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Compacta (5,0 m)
Condutor	BLUEJAY
Nsub	4

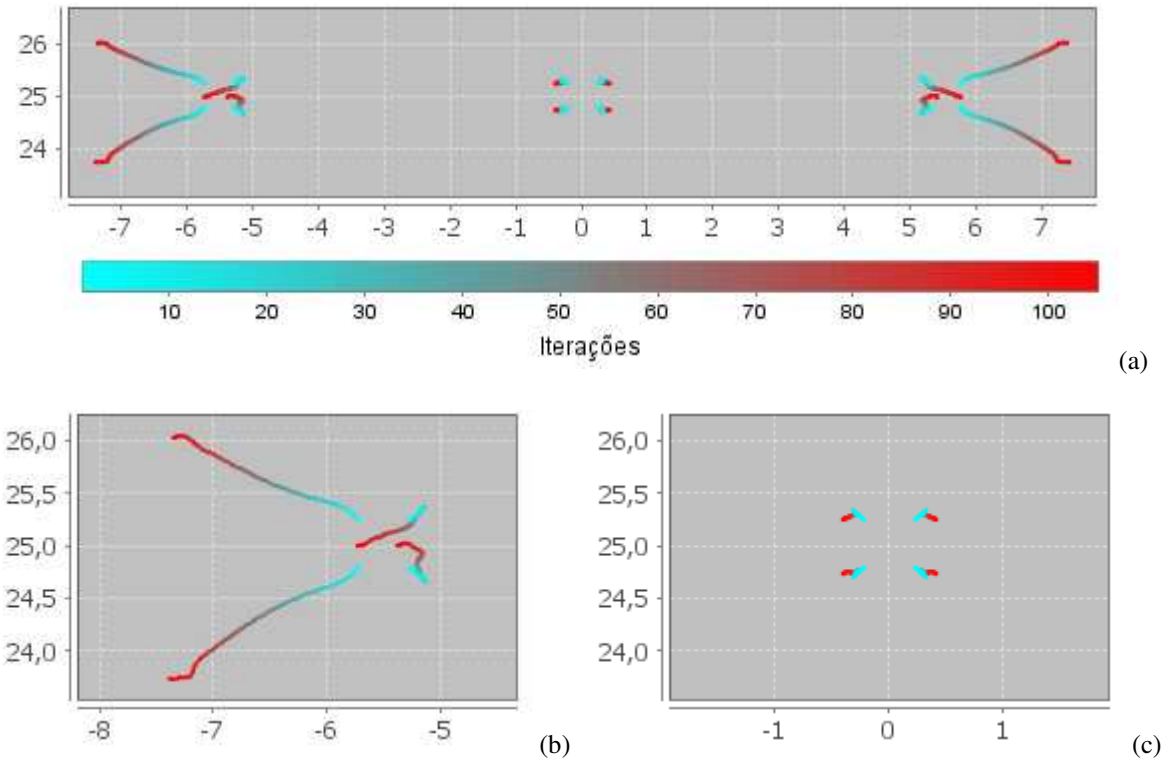

Figura H.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (9), 2-I (9), 3-I (9), 4-I (9), 4-E (84), 3-E (96)

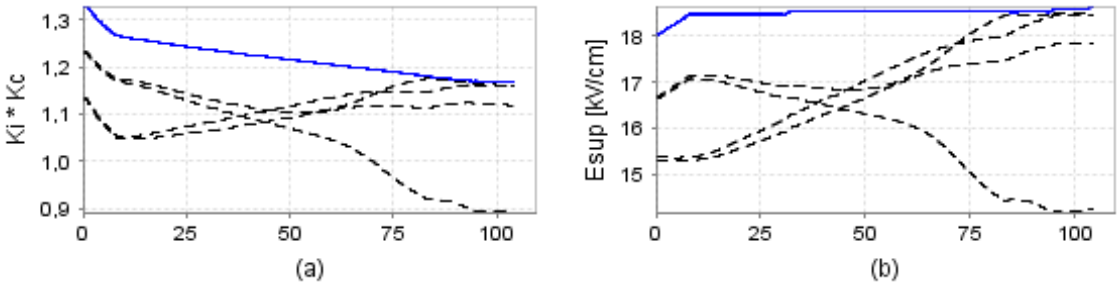

Figura H.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

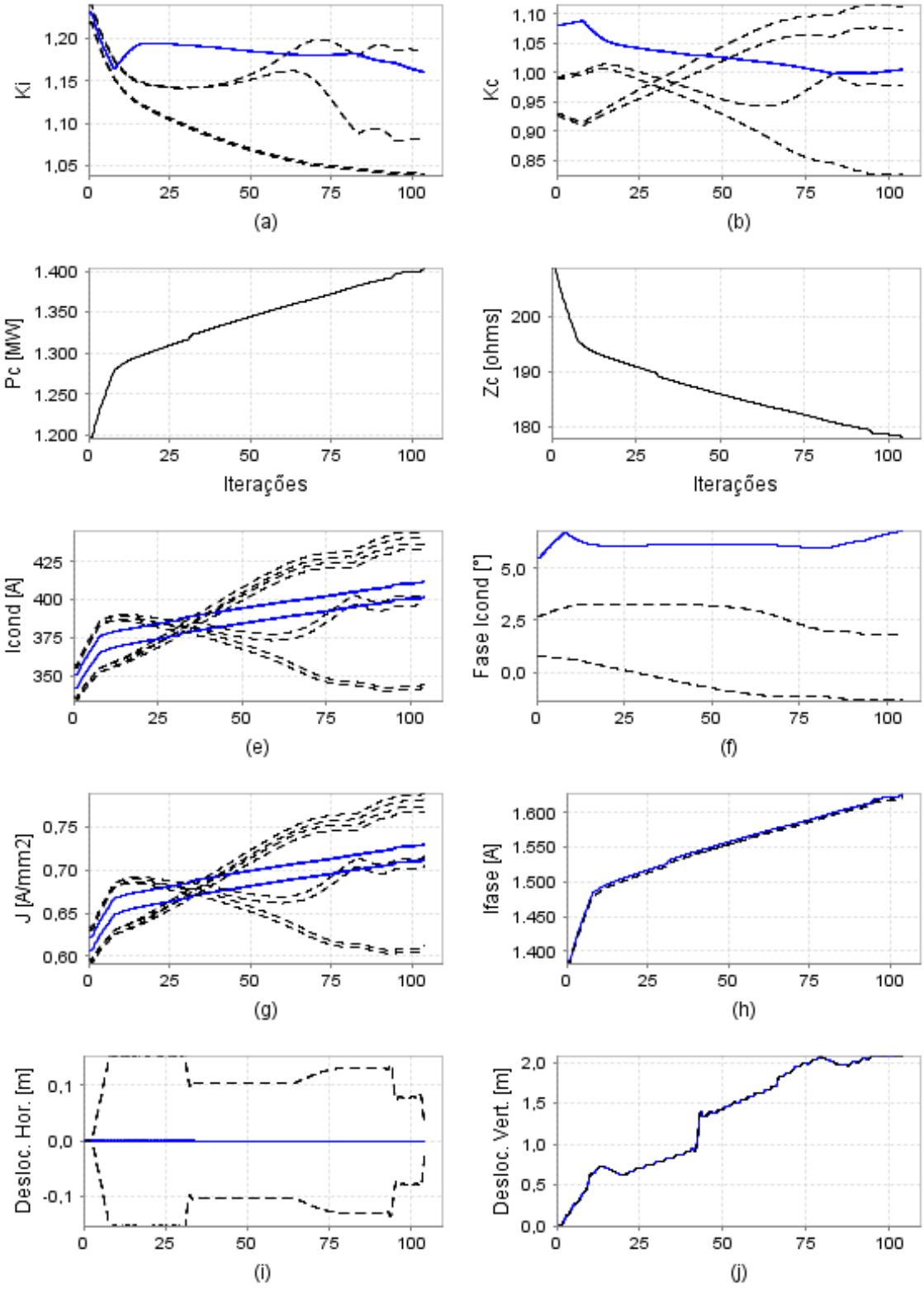

Figura H.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

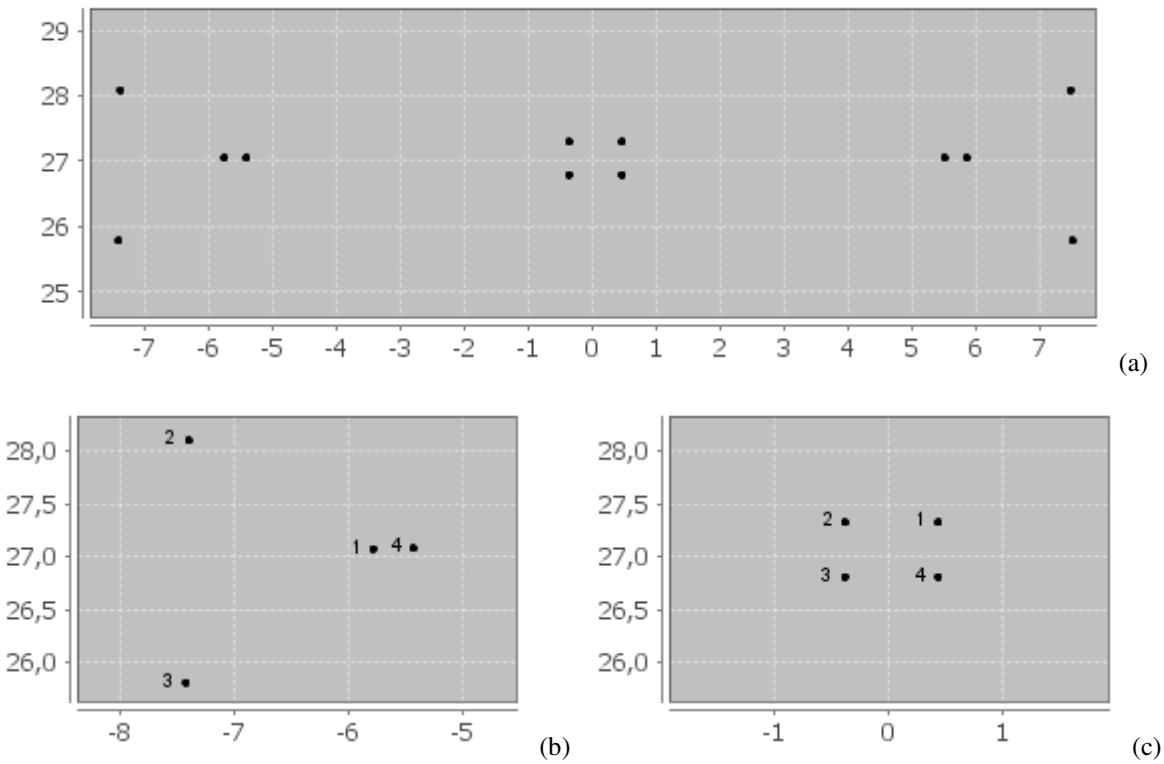

Figura H.40: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela H.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,167	1,167	1,166	1,166							1,166	0,001
Ki	1,160	1,160	1,161	1,161							1,161	0,001
Kc	1,005	1,005	1,004	1,004							1,005	0,001
Icond [A]	401	411	411	401							406	10
Esup [kV/cm]	18,6	18,6	18,6	18,6							18,6	0,0

Tabela H.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	0,892	1,118	1,157	1,161							1,082	0,222
Ki	1,081	1,042	1,040	1,186							1,087	0,119
Kc	0,825	1,073	1,113	0,978							0,998	0,222
Icond [A]	342	436	445	397							405	82
Esup [kV/cm]	14,2	17,8	18,5	18,5							17,3	3,5

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	5

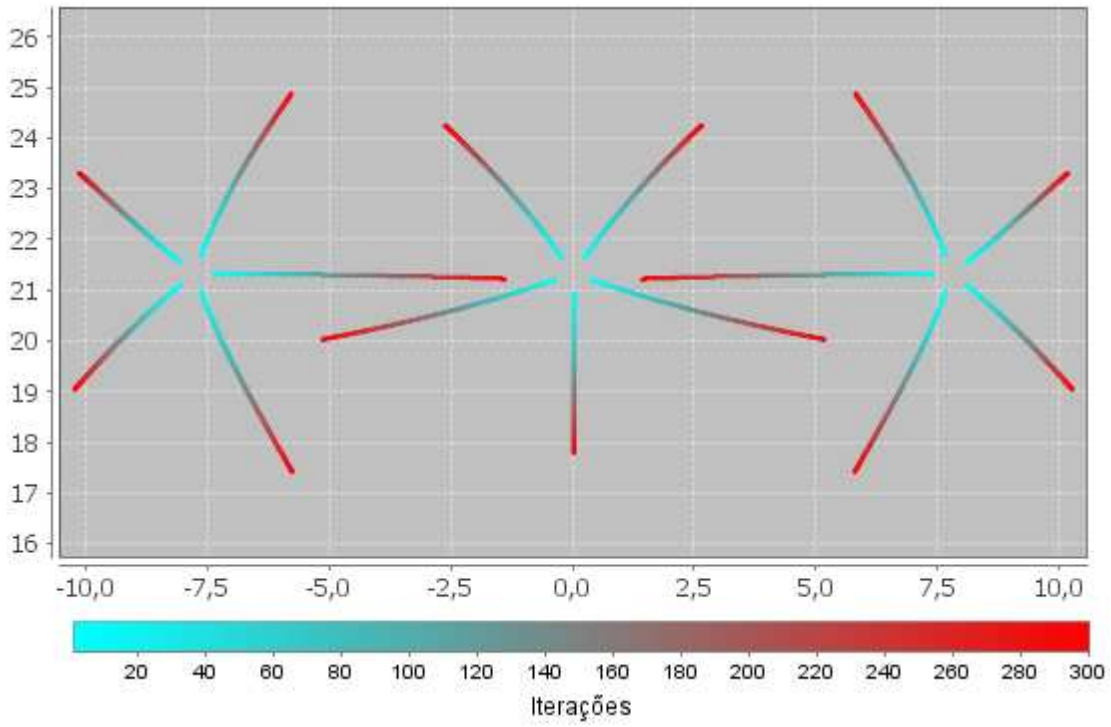

Figura H.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

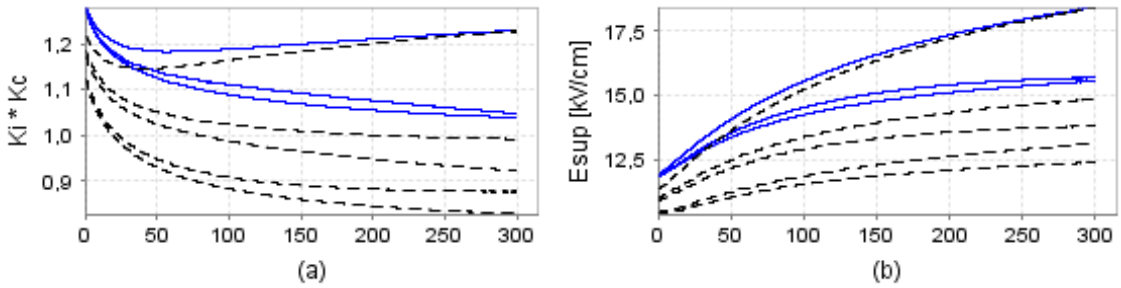

Figura H.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

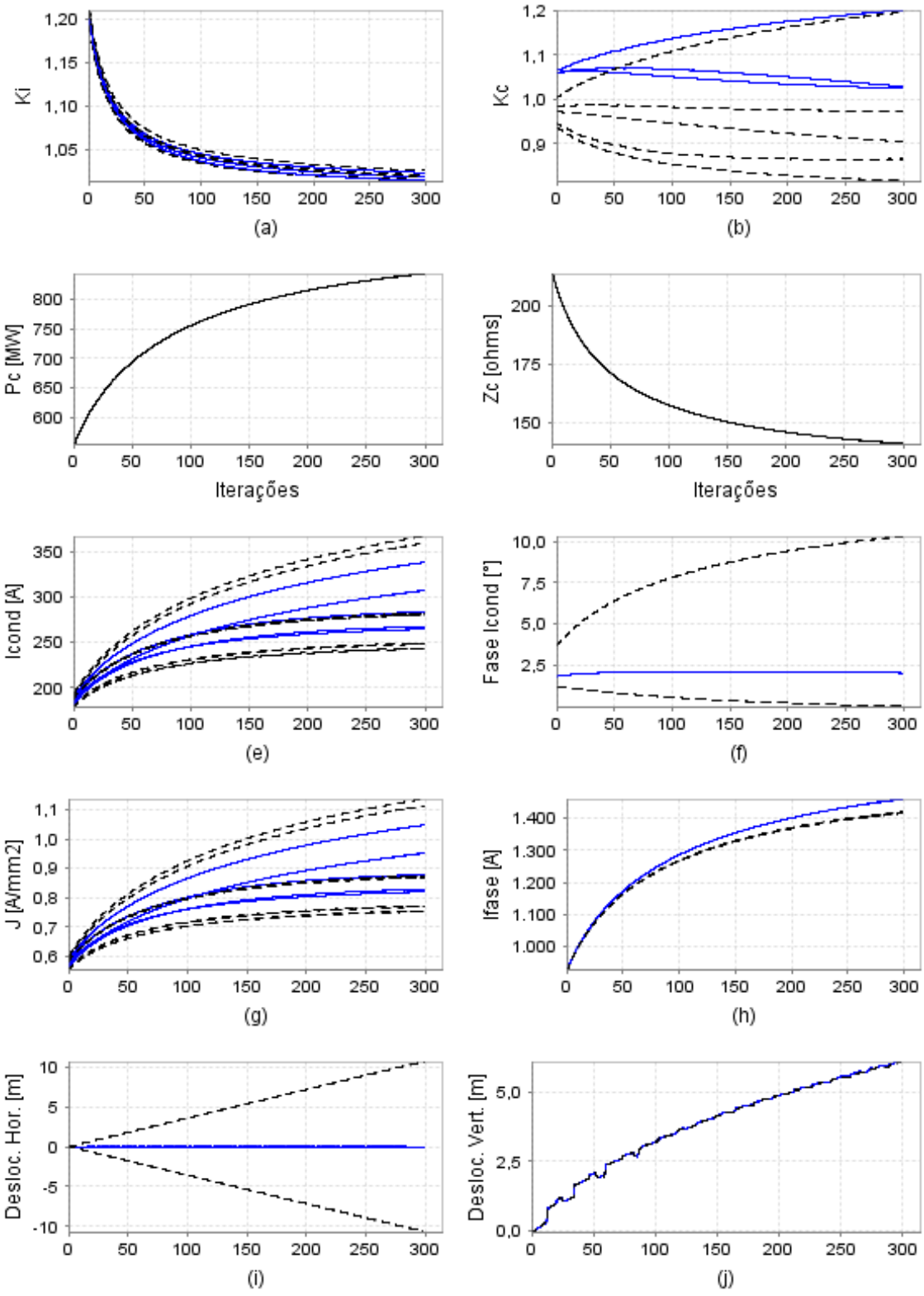

Figura H.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

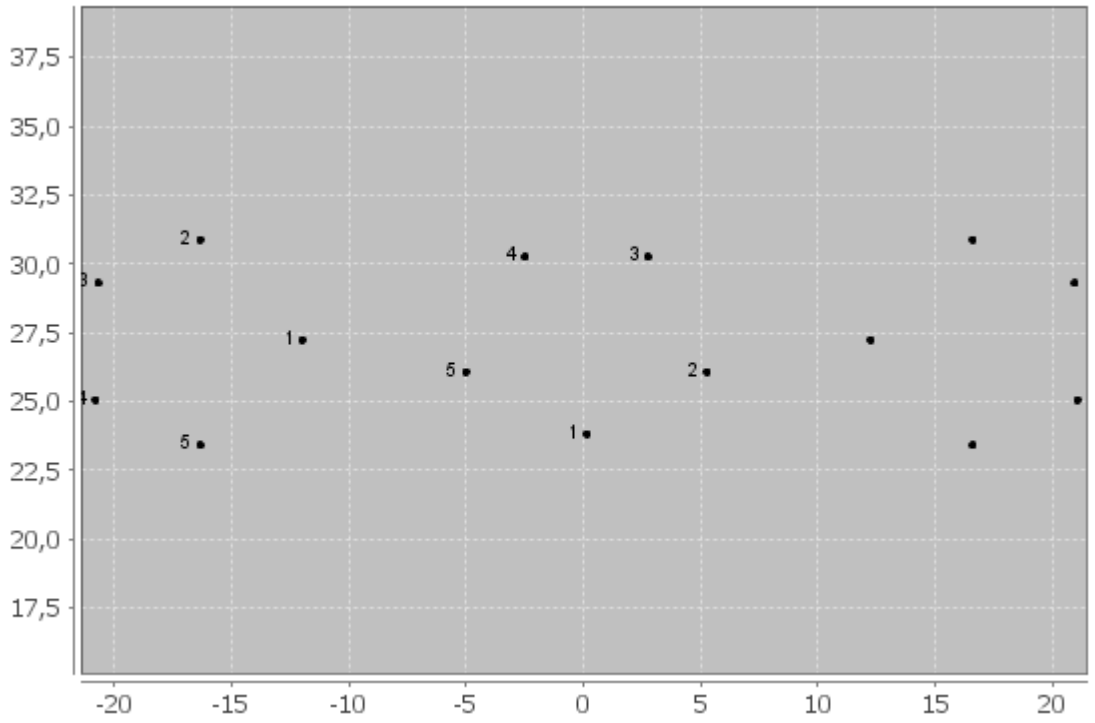

Figura H.44: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,039	1,228	1,048	1,048	1,228						1,118	0,201
Ki	1,013	1,023	1,017	1,017	1,023						1,019	0,008
Kc	1,025	1,201	1,030	1,030	1,201						1,097	0,189
Icond [A]	264	306	267	283	337						292	61
Esup [kV/cm]	15,6	18,4	15,7	15,7	18,4						16,7	3,0

Tabela H.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,226	0,923	0,829	0,877	0,992						0,969	0,311
Ki	1,025	1,020	1,015	1,014	1,019						1,018	0,009
Kc	1,196	0,905	0,817	0,865	0,974						0,951	0,297
Icond [A]	358	280	248	249	282						284	90
Esup [kV/cm]	18,4	13,8	12,4	13,1	14,9						14,5	4,7

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	LINNET
Nsub	5

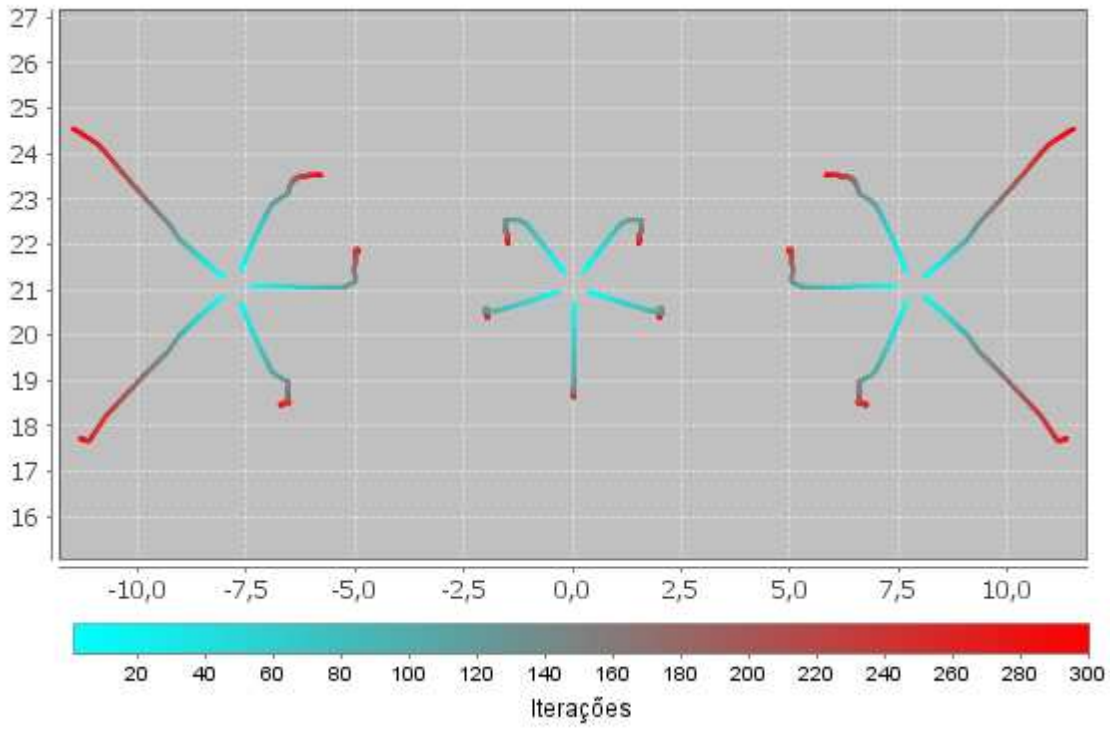

Figura H.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-I (93), 5-I (93), 1-E (106), 3-I (124), 4-I (124), 1-I (133), 5-E (233), 4-E (266)

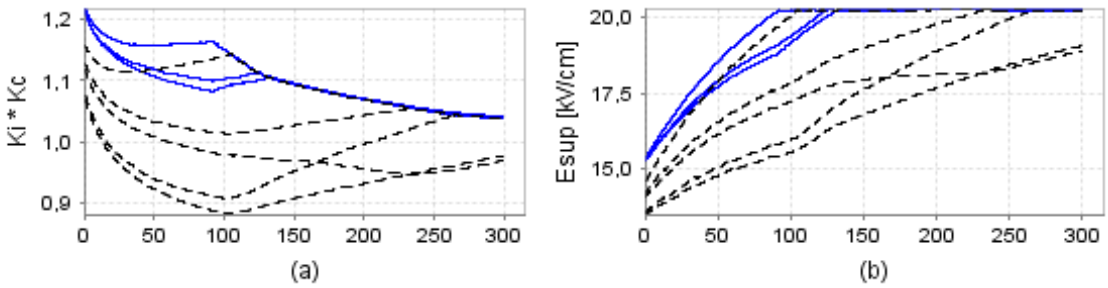

Figura H.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

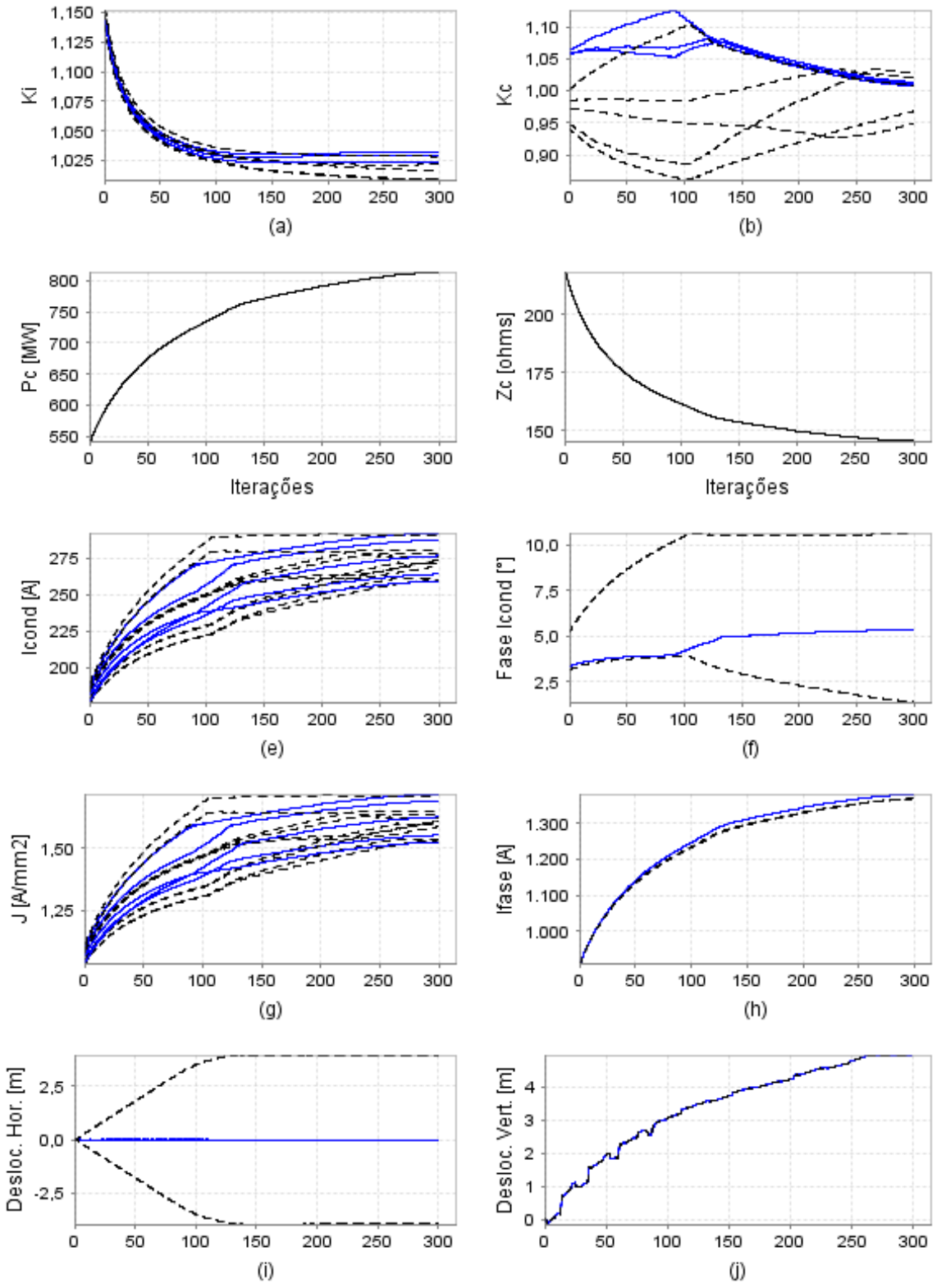

Figura H.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

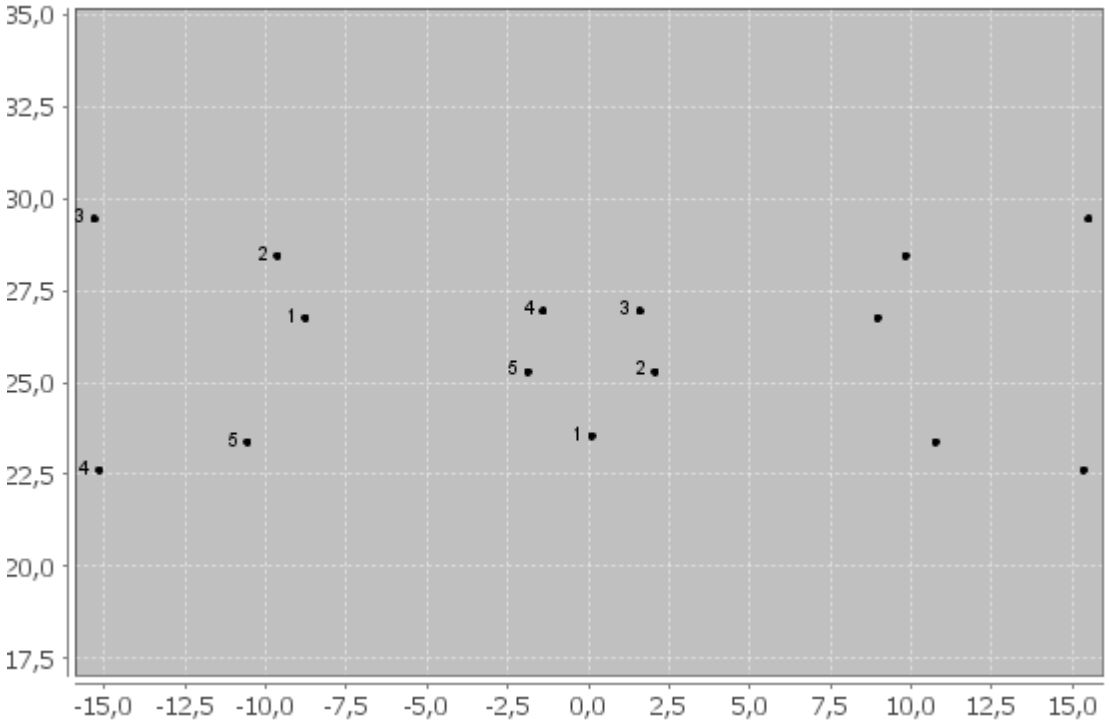

Figura H.48: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,038	1,040	1,041	1,041	1,040						1,040	0,003
Ki	1,024	1,032	1,030	1,030	1,032						1,030	0,007
Kc	1,014	1,007	1,011	1,011	1,007						1,010	0,005
Icond [A]	277	260	264	288	293						276	29
Esup [kV/cm]	20,2	20,3	20,3	20,3	20,3						20,3	0,1

Tabela H.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,038	0,969	0,977	1,038	1,038						1,012	0,072
Ki	1,029	1,022	1,009	1,009	1,017						1,017	0,017
Kc	1,009	0,948	0,968	1,028	1,021						0,995	0,070
Icond [A]	278	270	274	271	276						274	7
Esup [kV/cm]	20,2	18,9	19,0	20,2	20,2						19,7	1,4

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Compacta (3,5 m)
Condutor	LINNET
Nsub	5

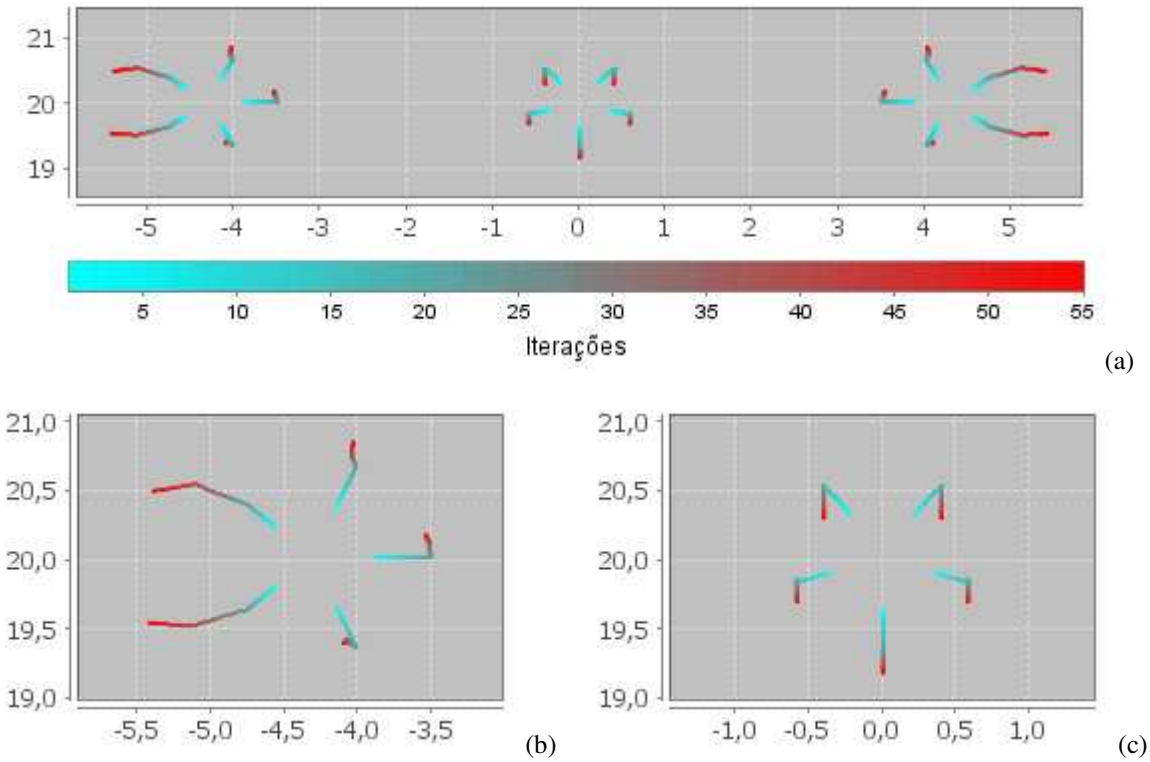

Figura H.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 2-I (13), 5-I (13), 3-I (17), 4-I (17), 1-I (21), 1-E (40)

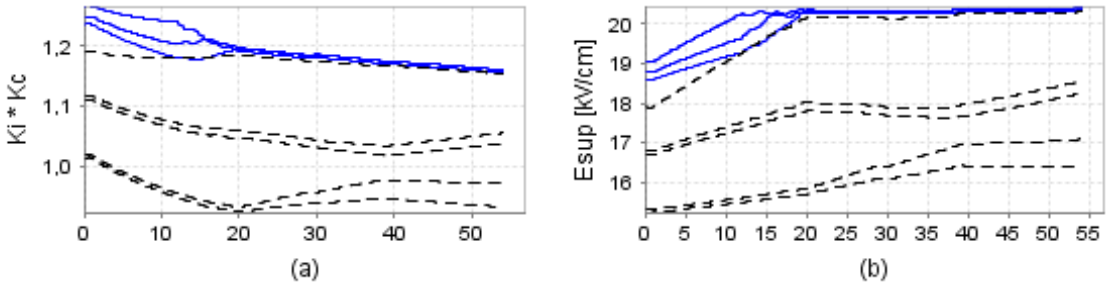

Figura H.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta

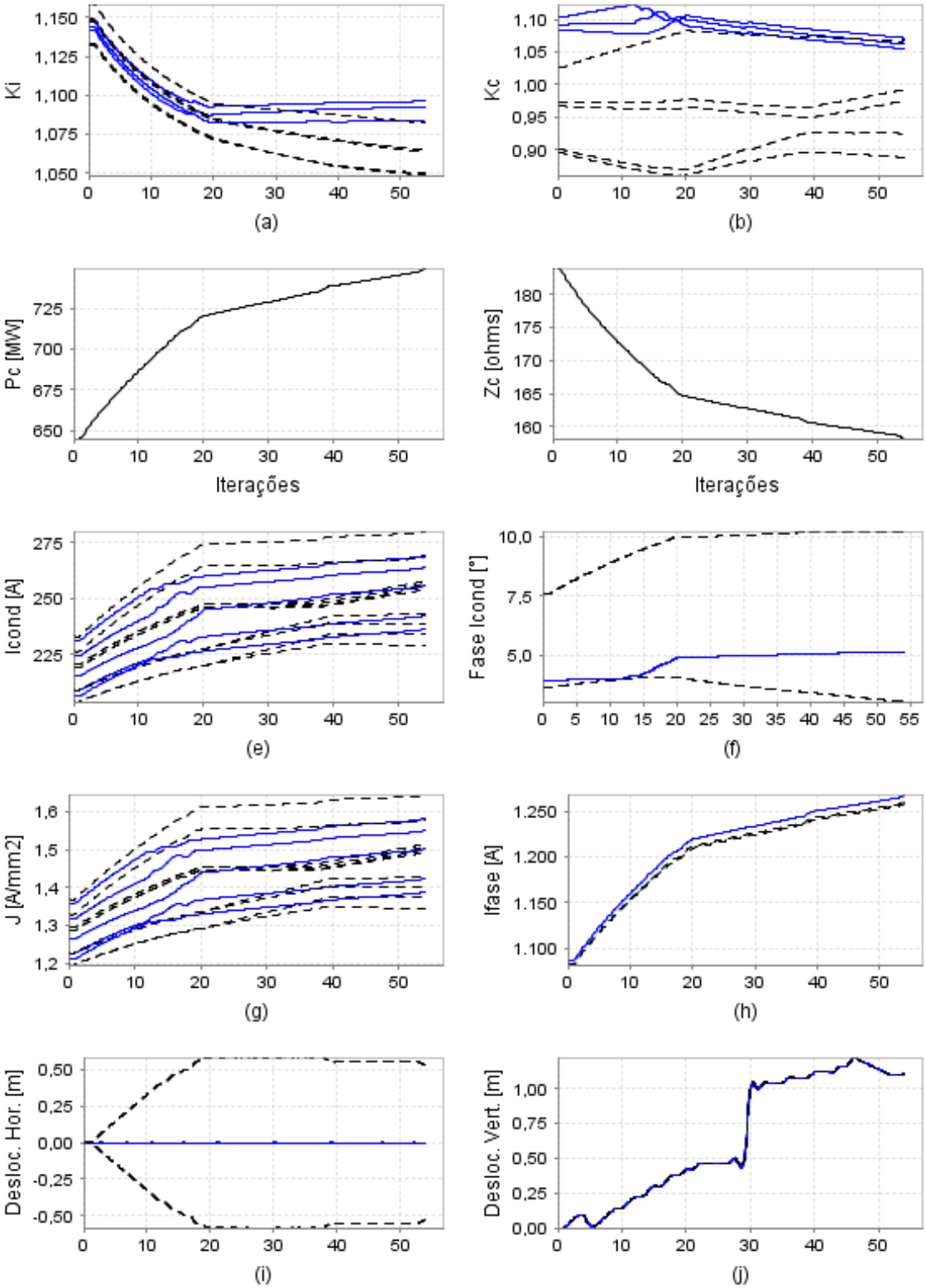

Figura H.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta

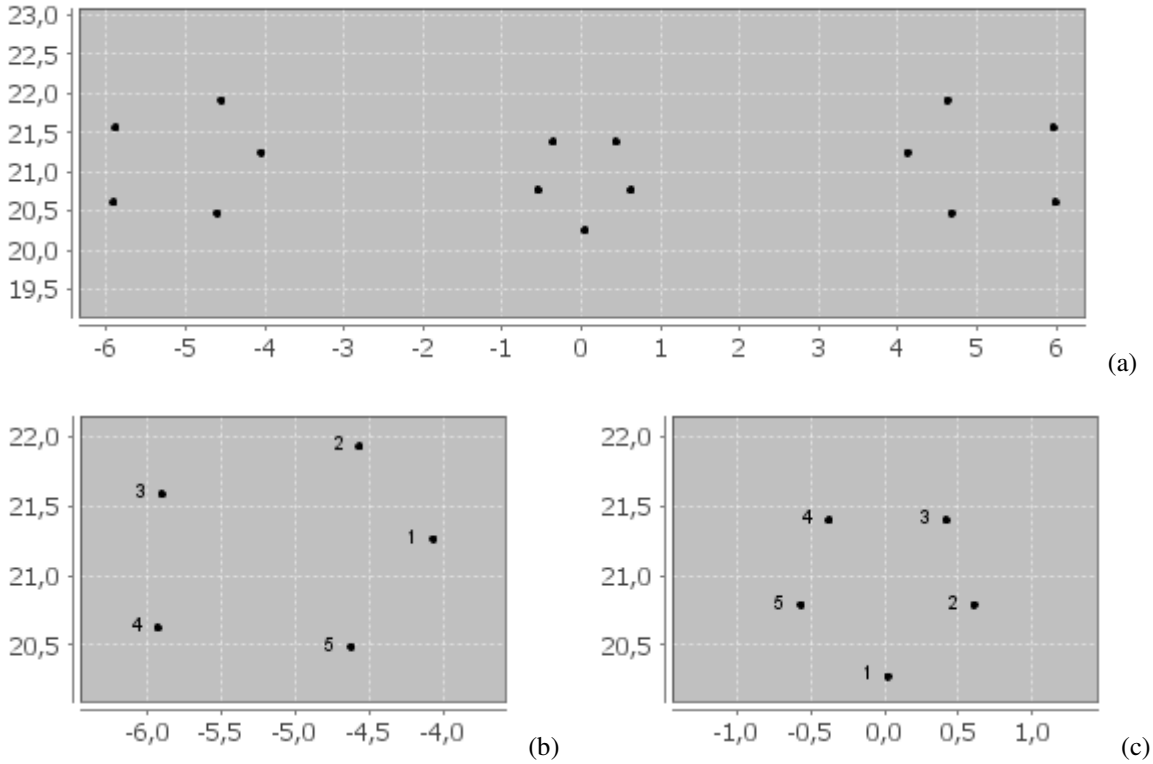

Figura H.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela H.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,162	1,157	1,162	1,162	1,157						1,160	0,005
Ki	1,083	1,096	1,093	1,093	1,096						1,092	0,011
Kc	1,072	1,056	1,063	1,063	1,056						1,062	0,014
Icond [A]	255	236	242	263	268						253	28
Esup [kV/cm]	20,4	20,3	20,4	20,4	20,3						20,4	0,1

Tabela H.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,155	1,037	0,933	0,972	1,054						1,030	0,170
Ki	1,082	1,065	1,049	1,050	1,064						1,062	0,027
Kc	1,067	0,973	0,889	0,925	0,990						0,969	0,135
Icond [A]	268	255	239	243	254						252	23
Esup [kV/cm]	20,3	18,2	16,4	17,1	18,5						18,1	3,0

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	5

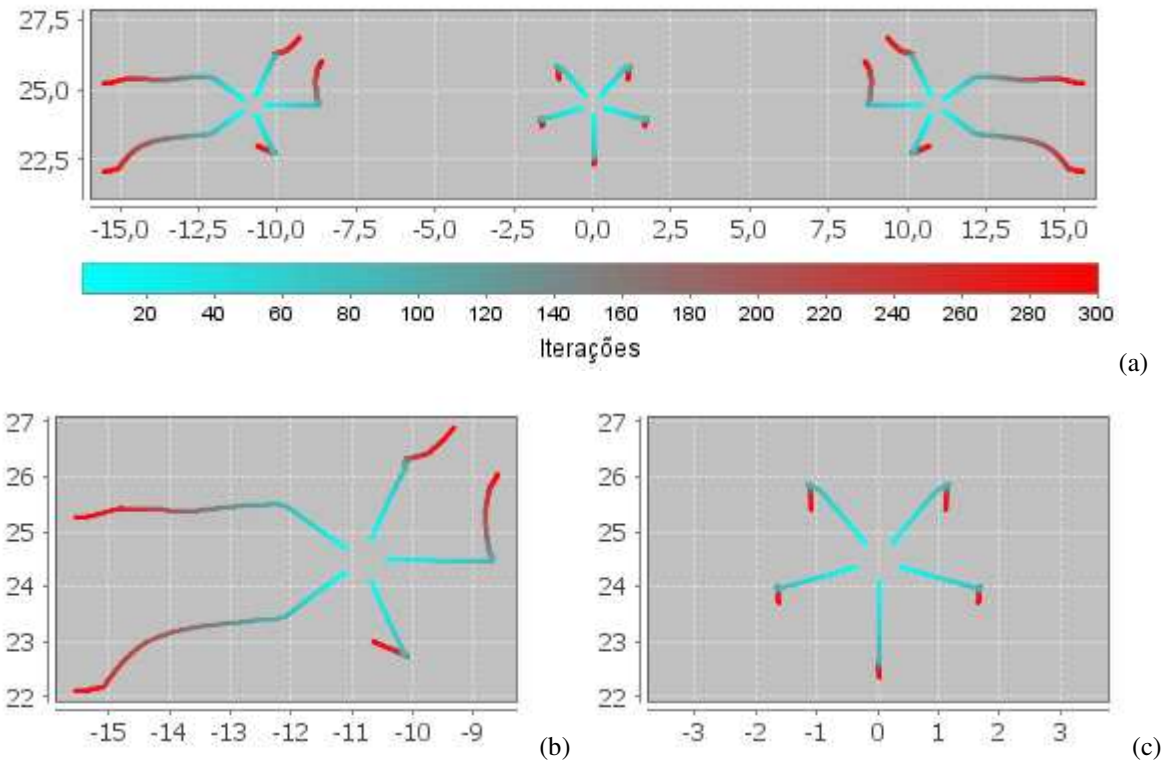

Figura H.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 2-I (74), 5-I (74), 1-I (89), 3-I (89), 4-I (89), 1-E (98), 5-E (211), 4-E (262)

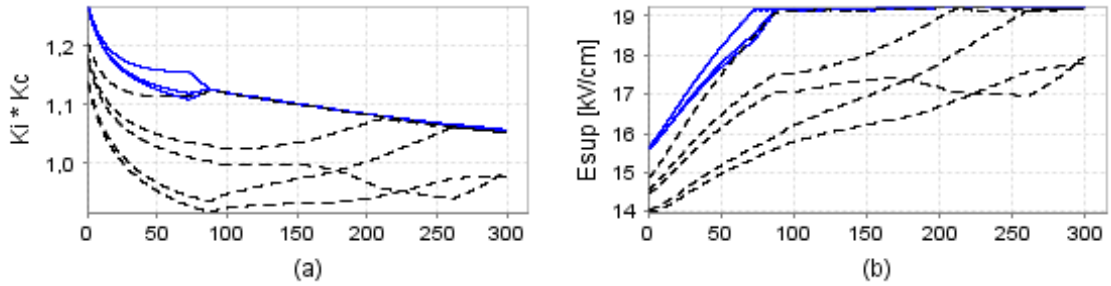

Figura H.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

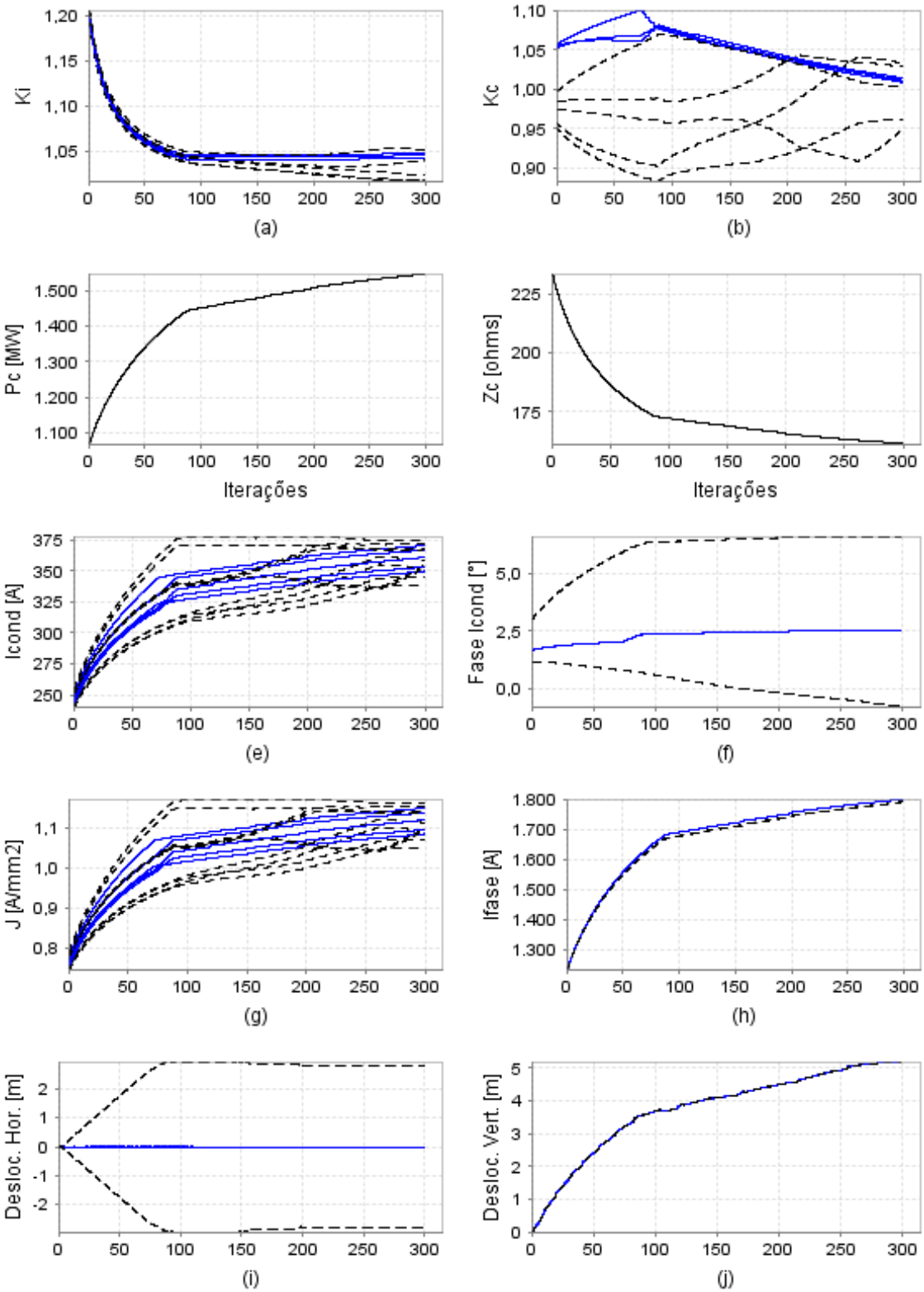

Figura H.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

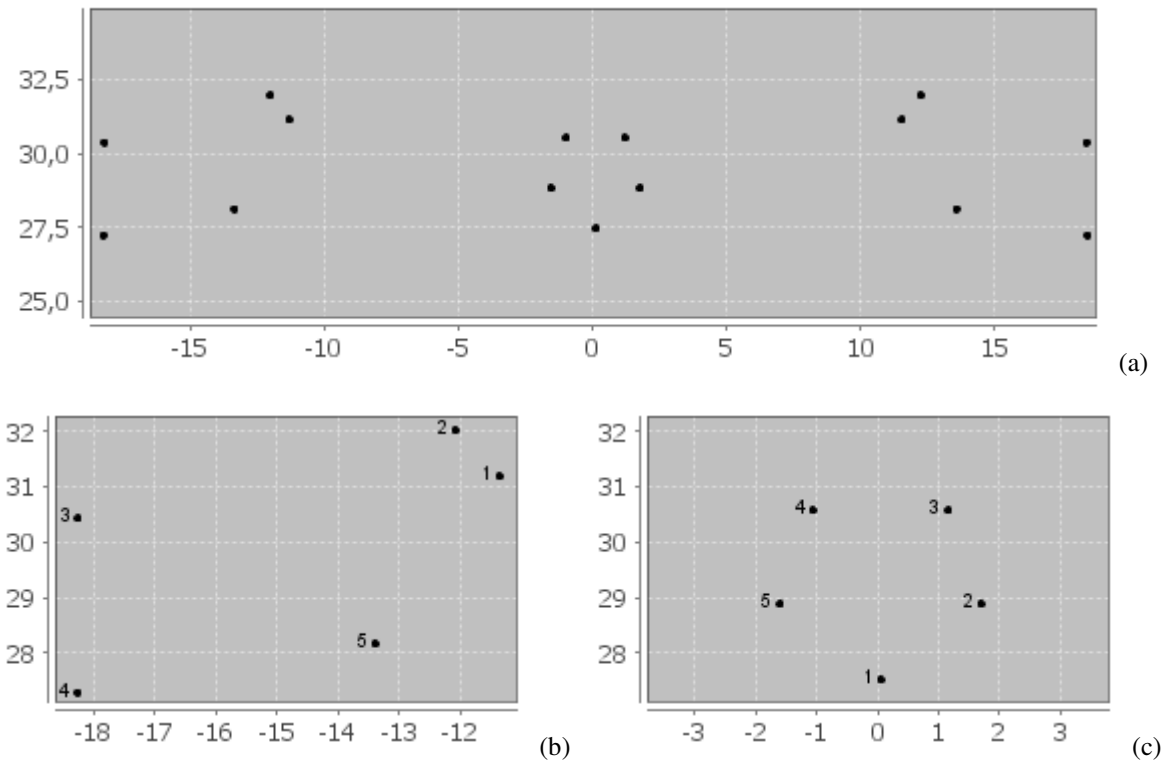

Figura H.56: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela H.43: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,056	1,057	1,057	1,057	1,057						1,057	0,001
Ki	1,041	1,047	1,046	1,046	1,047						1,046	0,005
Kc	1,014	1,009	1,011	1,011	1,009						1,011	0,004
Icond [A]	361	350	353	367	370						360	18
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2						19,2	0,0

Tabela H.44: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,054	0,985	0,977	1,052	1,052						1,024	0,079
Ki	1,051	1,039	1,017	1,018	1,023						1,030	0,030
Kc	1,003	0,948	0,961	1,033	1,029						0,995	0,078
Icond [A]	367	352	345	359	368						358	20
Esup [kV/cm]	19,2	17,9	17,8	19,2	19,2						18,6	1,4

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Compacta (5,0 m)
Condutor	BLUEJAY
Nsub	5

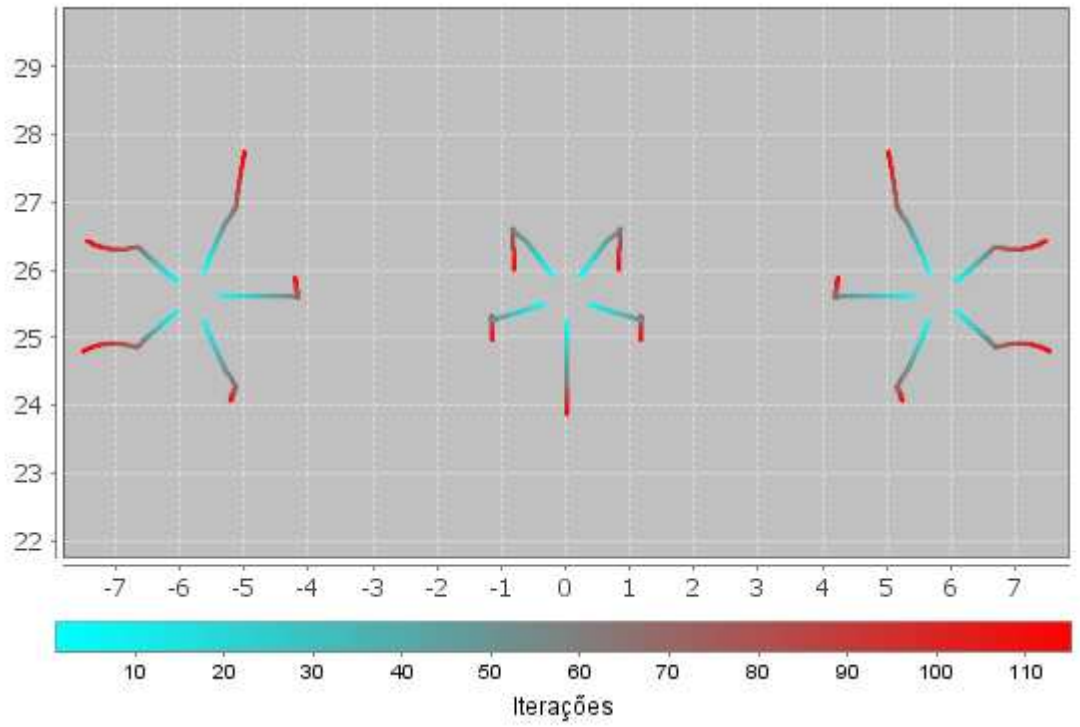

Figura H.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 2-I (46), 5-I (46), 1-E (56), 3-I (61), 4-I (61), 1-I (69)

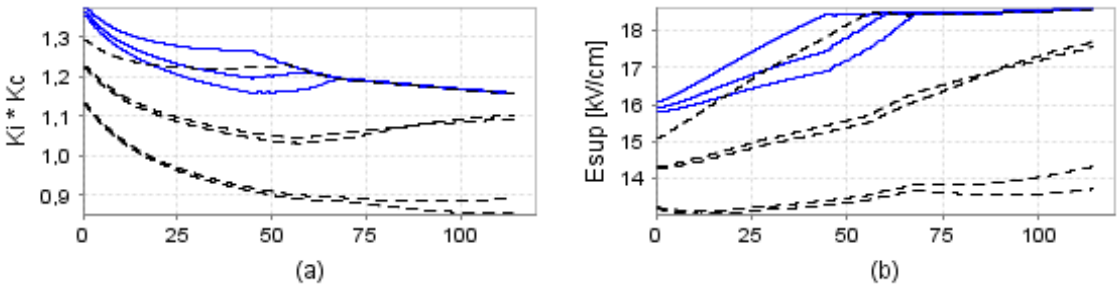

Figura H.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

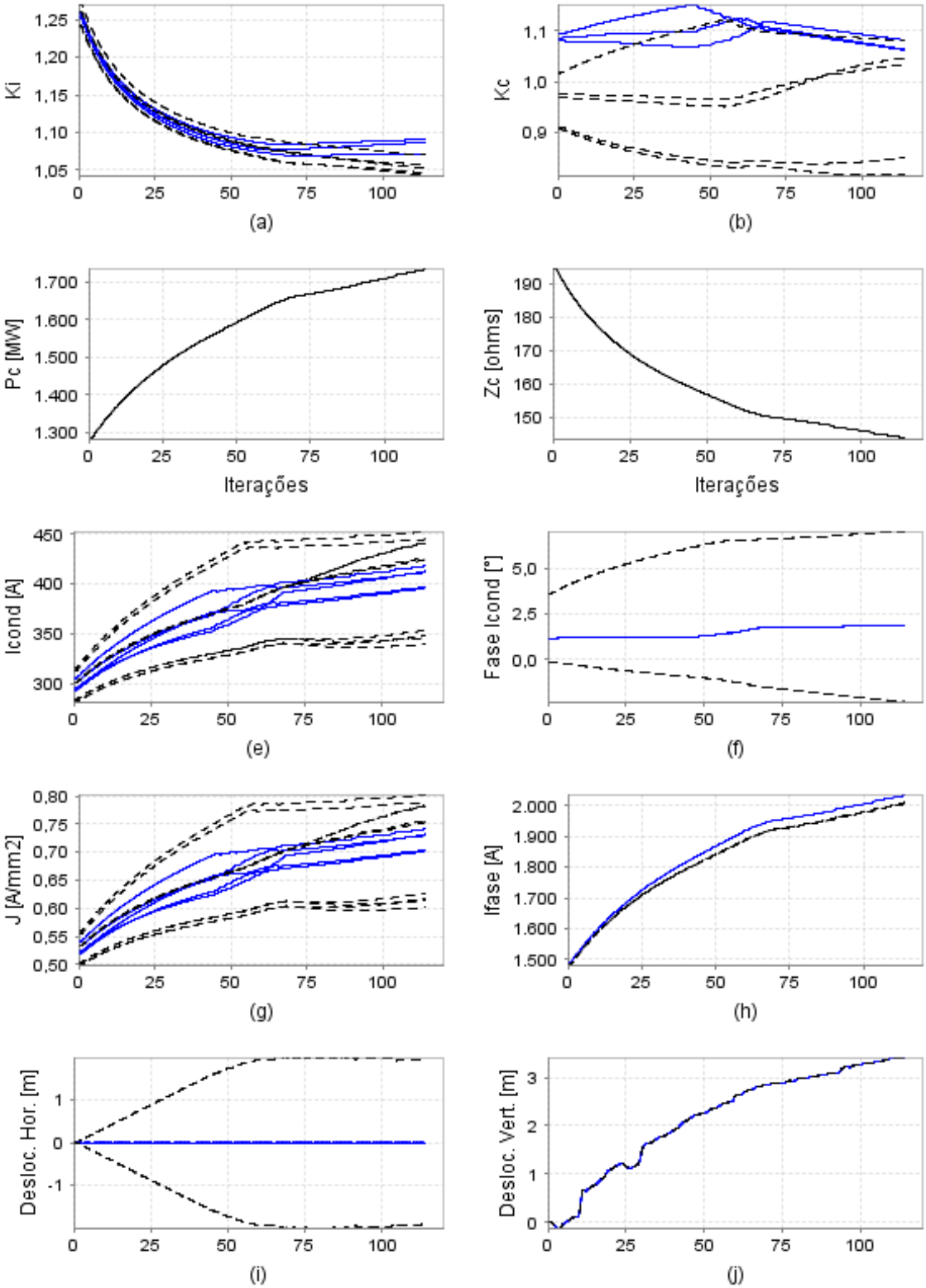

Figura H.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

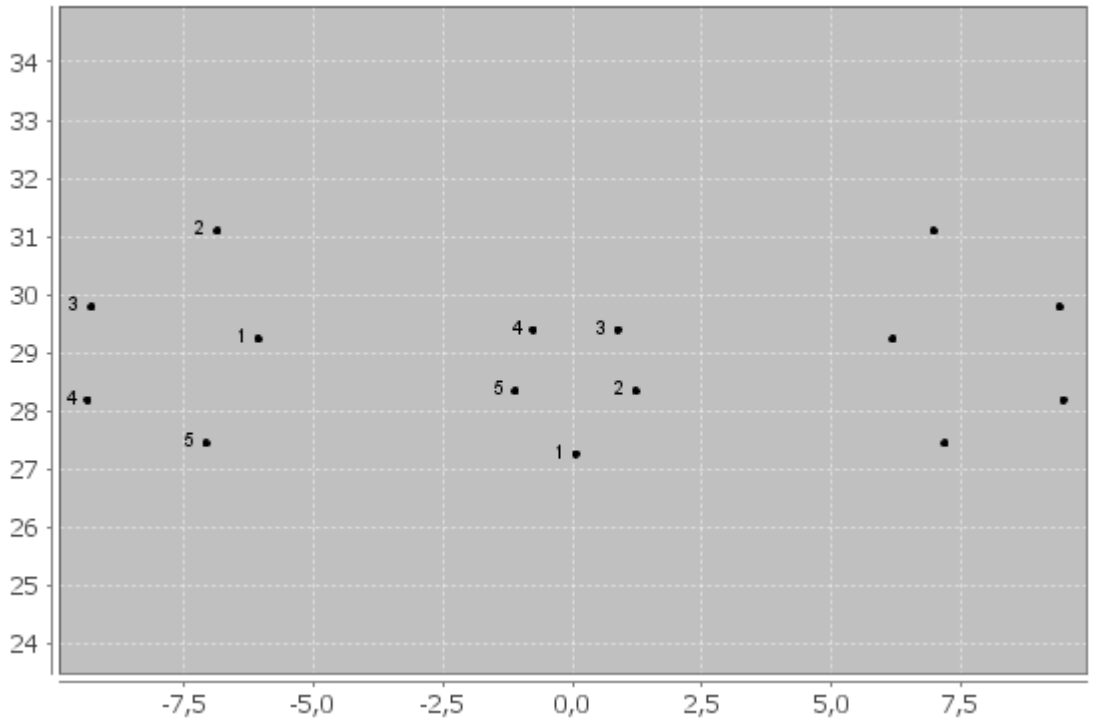

Figura H.60: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

Tabela H.45: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,159	1,160	1,157	1,157	1,160						1,158	0,003
Ki	1,070	1,091	1,087	1,087	1,091						1,085	0,017
Kc	1,083	1,063	1,064	1,064	1,063						1,068	0,017
Icond [A]	412	395	396	411	417						406	20
Esup [kV/cm]	18,6	18,6	18,5	18,5	18,6						18,6	0,1

Tabela H.46: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,157	1,101	0,854	0,892	1,093						1,019	0,273
Ki	1,070	1,053	1,044	1,047	1,057						1,054	0,021
Kc	1,081	1,046	0,818	0,852	1,034						0,966	0,243
Icond [A]	444	441	346	353	424						401	96
Esup [kV/cm]	18,5	17,7	13,7	14,3	17,5						16,3	4,4

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BLUEJAY
Nsub	6

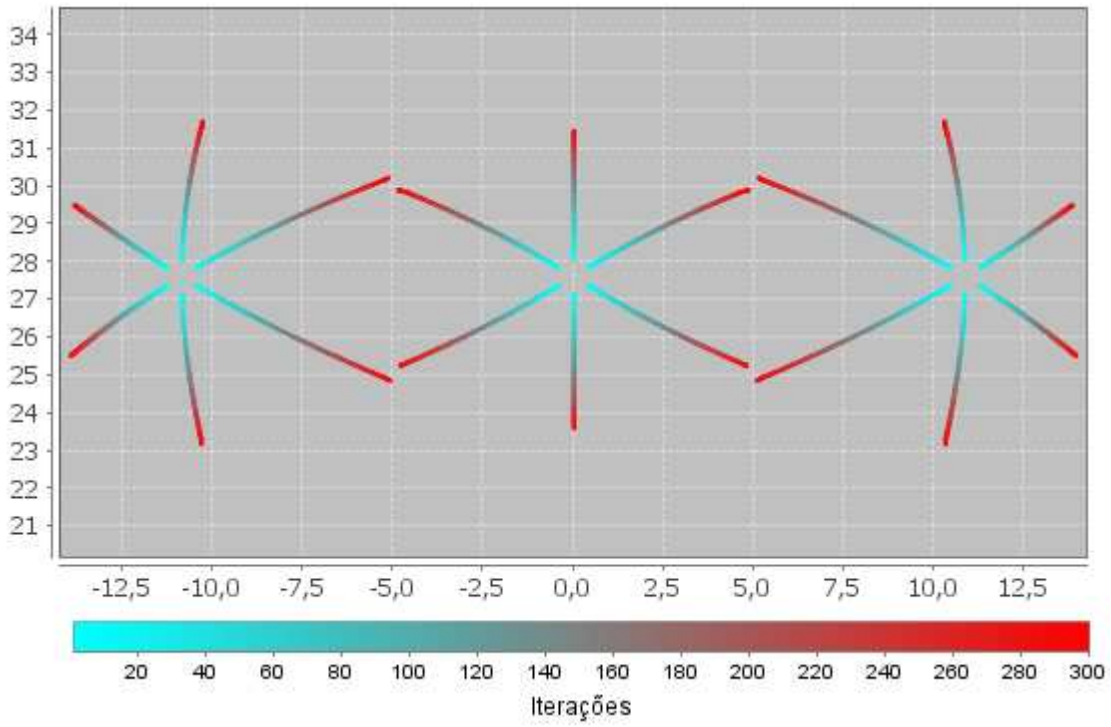

Figura H.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 4-I (288), 6-I (288), 1-I (295), 3-I (295)

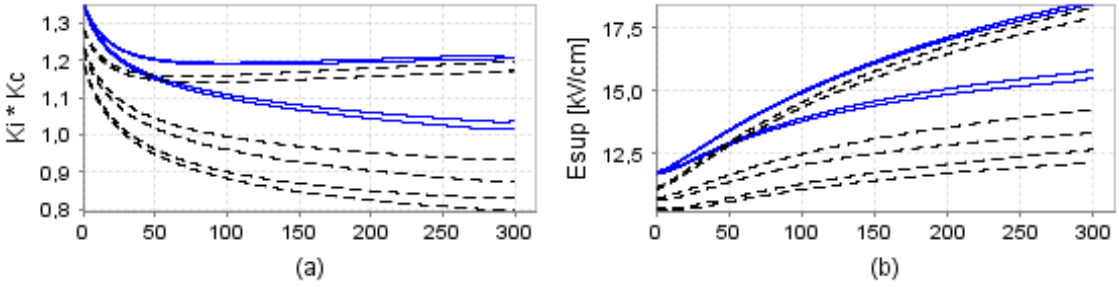

Figura H.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

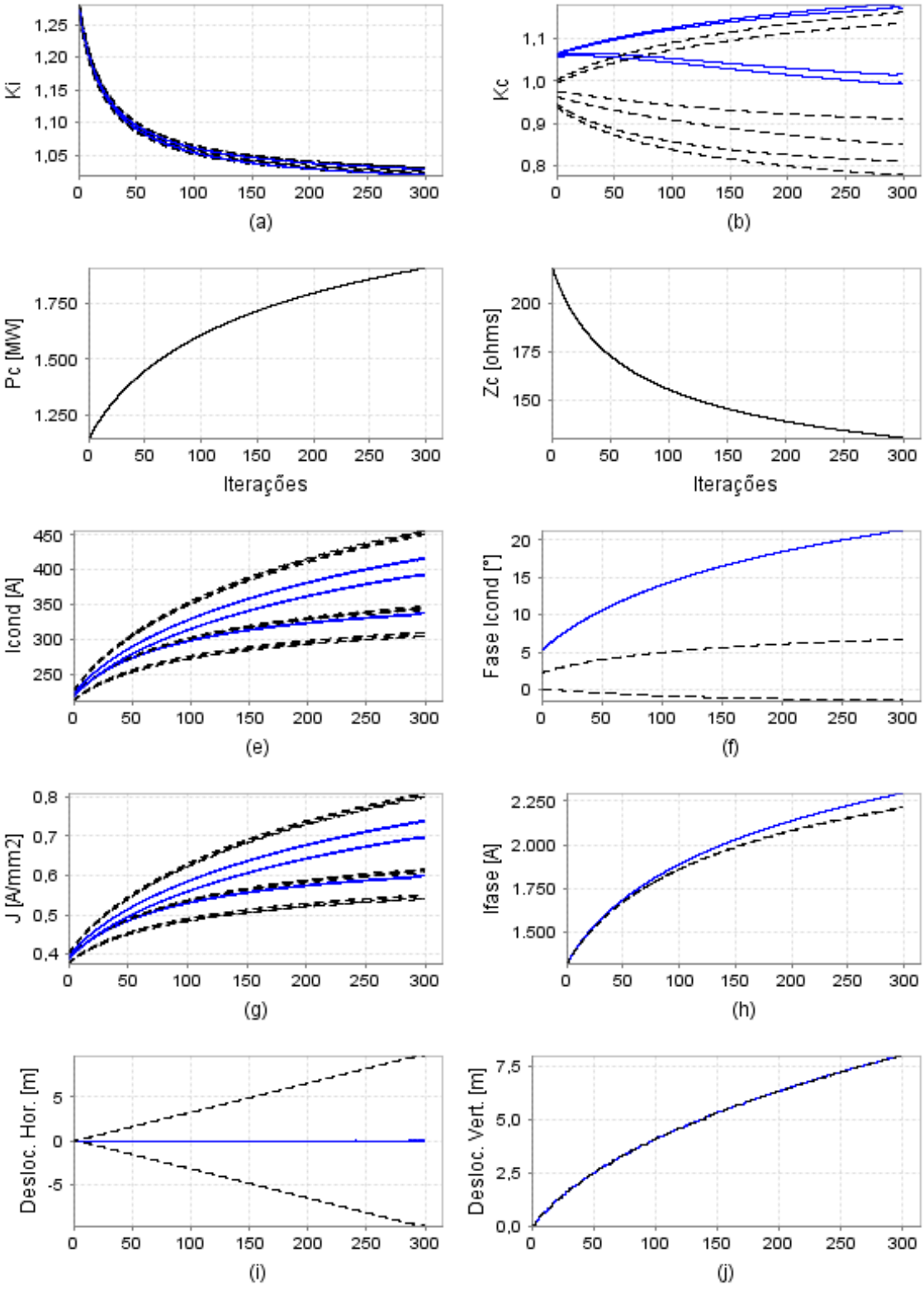

Figura H.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

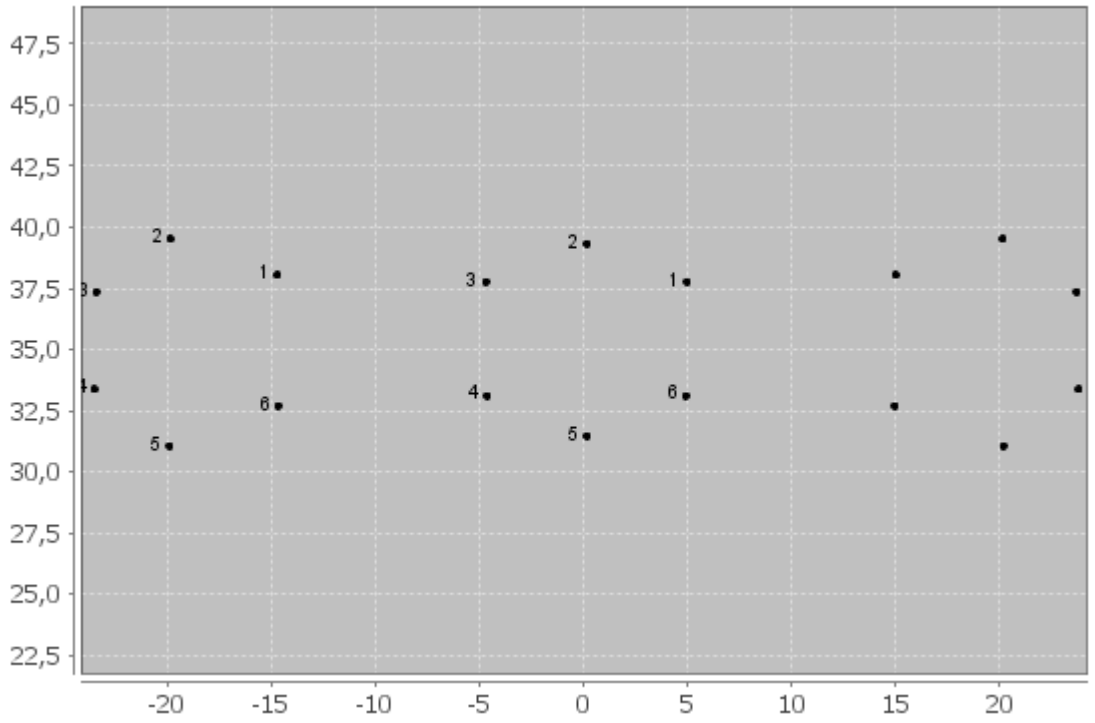

Figura H.64: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.47: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,206	1,015	1,206	1,206	1,036	1,206					1,146	0,209
Ki	1,029	1,020	1,029	1,029	1,020	1,029					1,026	0,011
Kc	1,172	0,995	1,172	1,172	1,016	1,172					1,116	0,193
Icond [A]	394	338	416	414	339	392					382	79
Esup [kV/cm]	18,4	15,5	18,4	18,4	15,8	18,4					17,5	3,2

Tabela H.48: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,172	0,872	0,796	0,829	0,933	1,197					0,967	0,392
Ki	1,032	1,025	1,021	1,020	1,023	1,031					1,026	0,011
Kc	1,136	0,851	0,779	0,812	0,912	1,161					0,942	0,372
Icond [A]	450	344	309	311	348	451					369	146
Esup [kV/cm]	17,9	13,3	12,2	12,7	14,3	18,3					14,8	6,0

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	6

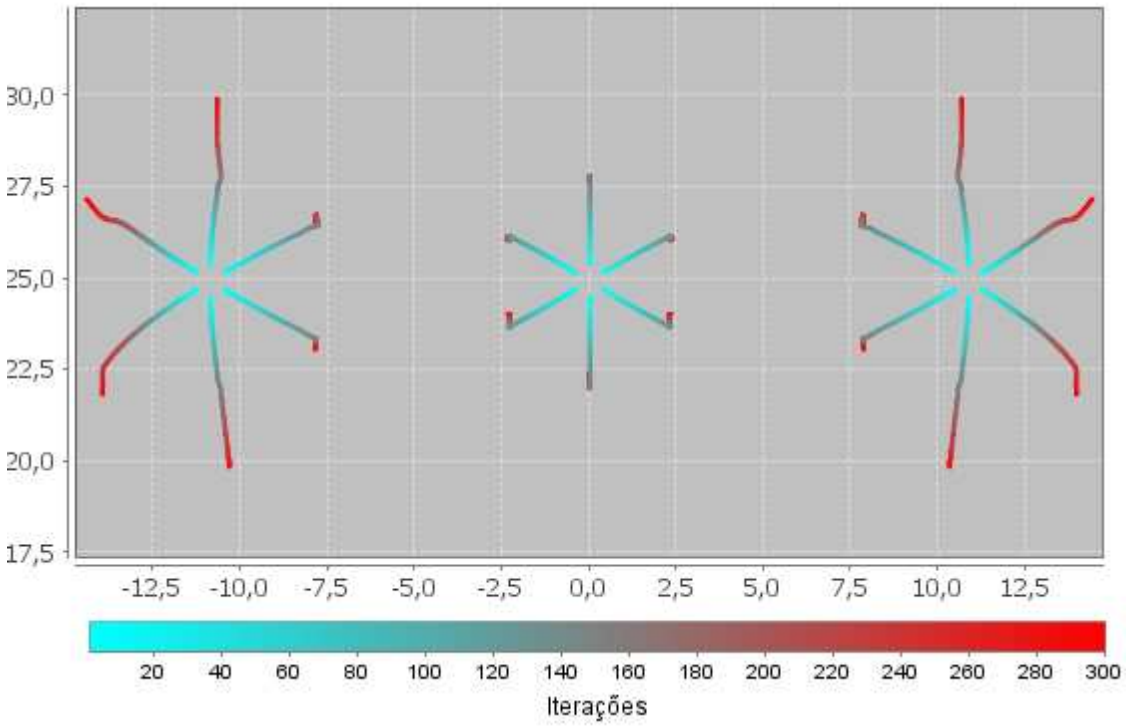

Figura H.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 4-I (124), 6-I (124), 1-I (126), 3-I (126), 6-E (141), 1-E (153), 5-I (160), 2-I (167), 5-E (248)

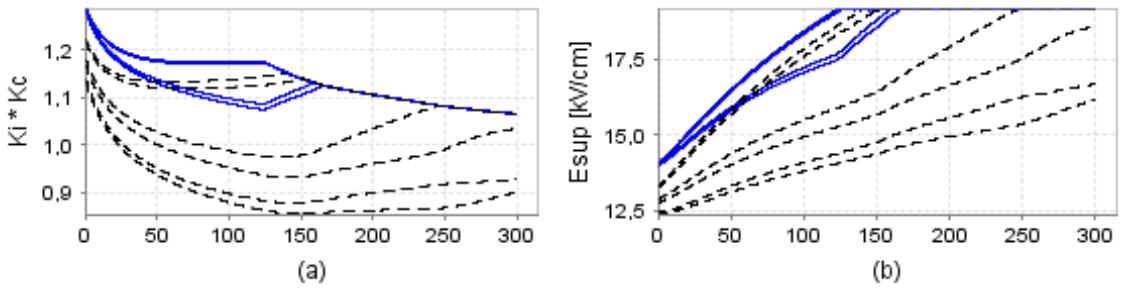

Figura H.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

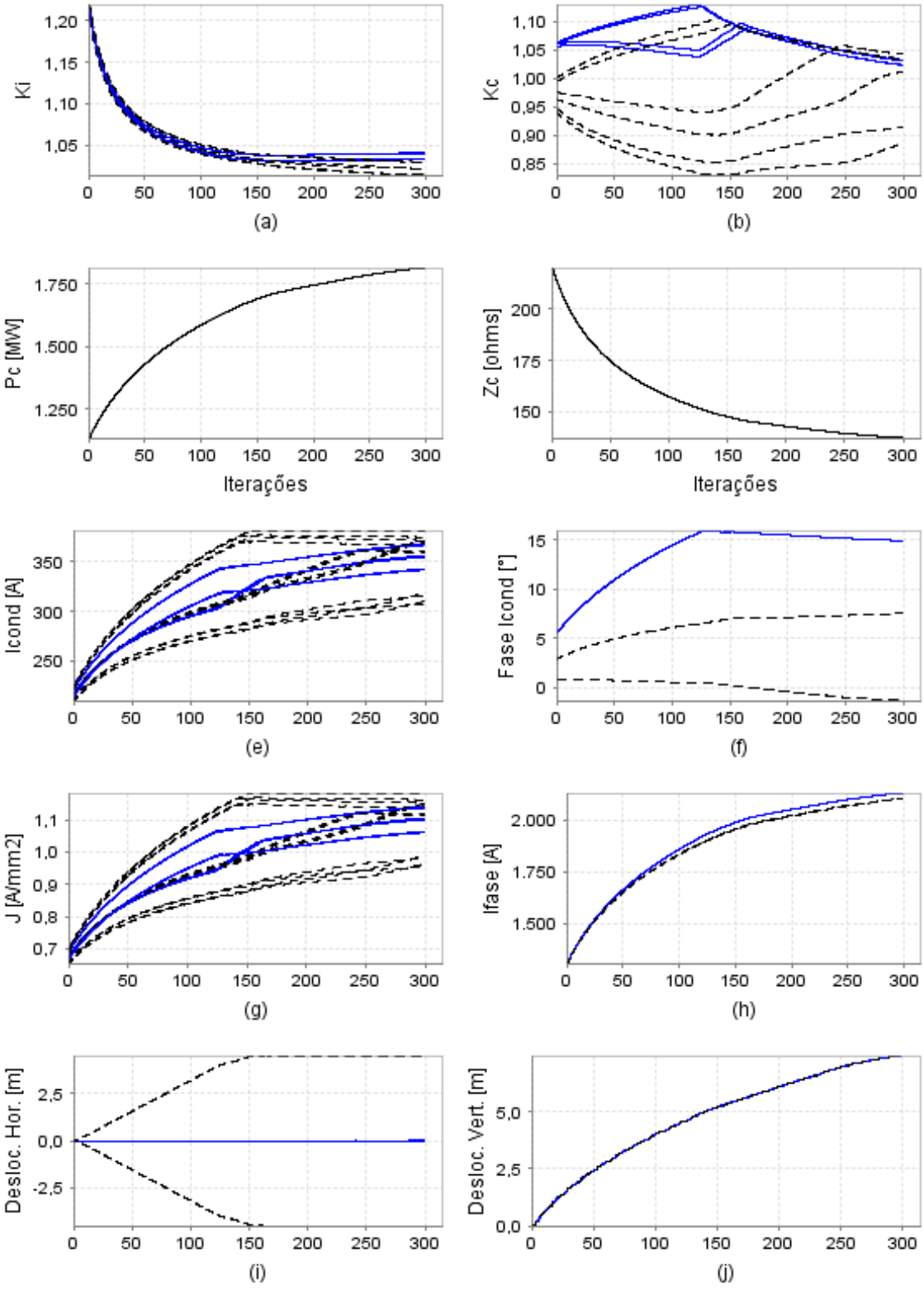

Figura H.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

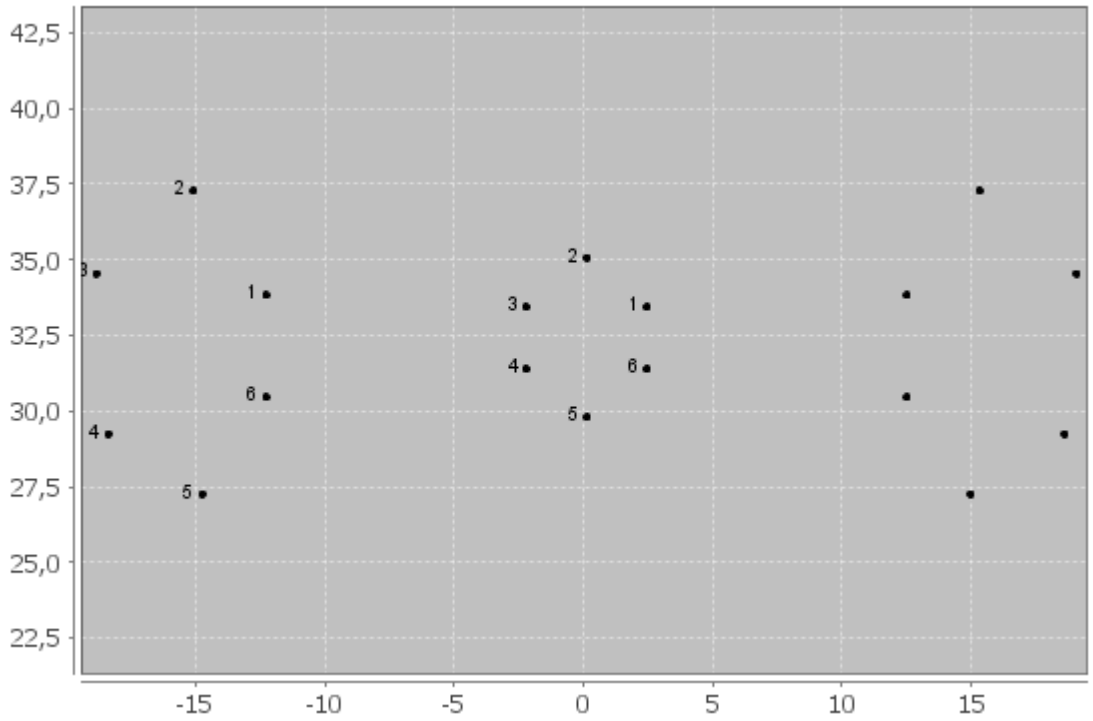

Figura H.68: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.49: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,066	1,067	1,066	1,066	1,066	1,066					1,066	0,001
Ki	1,041	1,033	1,041	1,042	1,034	1,042					1,039	0,009
Kc	1,024	1,032	1,024	1,023	1,031	1,023					1,026	0,009
Icond [A]	342	355	367	368	356	343					355	25
Esup [kV/cm]	19,1	19,2	19,1	19,2	19,2	19,2					19,2	0,0

Tabela H.50: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,066	1,034	0,899	0,927	1,067	1,066					1,010	0,171
Ki	1,031	1,022	1,015	1,015	1,023	1,031					1,023	0,016
Kc	1,034	1,011	0,885	0,914	1,043	1,034					0,987	0,155
Icond [A]	372	371	318	316	361	366					351	59
Esup [kV/cm]	19,1	18,6	16,1	16,7	19,2	19,1					18,1	3,1

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	7

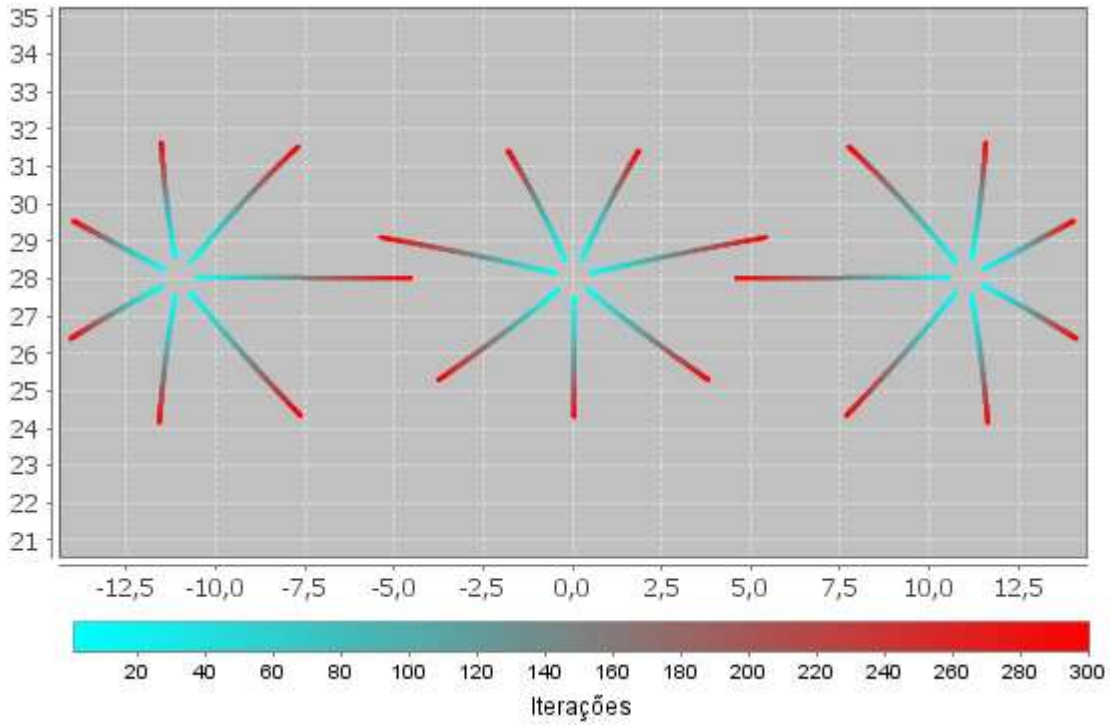

Figura H.69: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

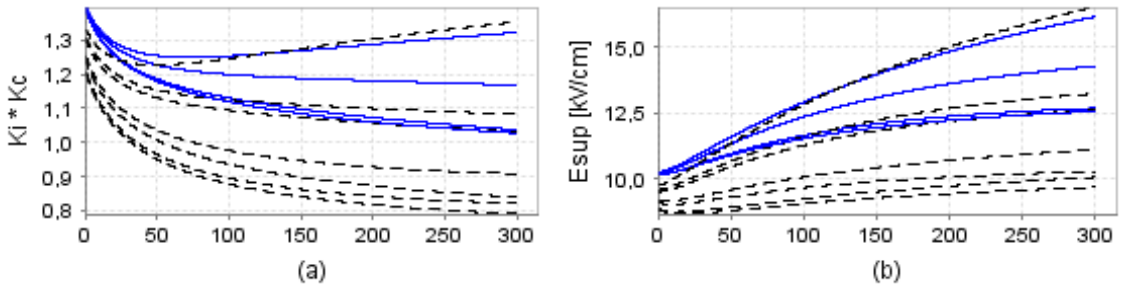

Figura H.70: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

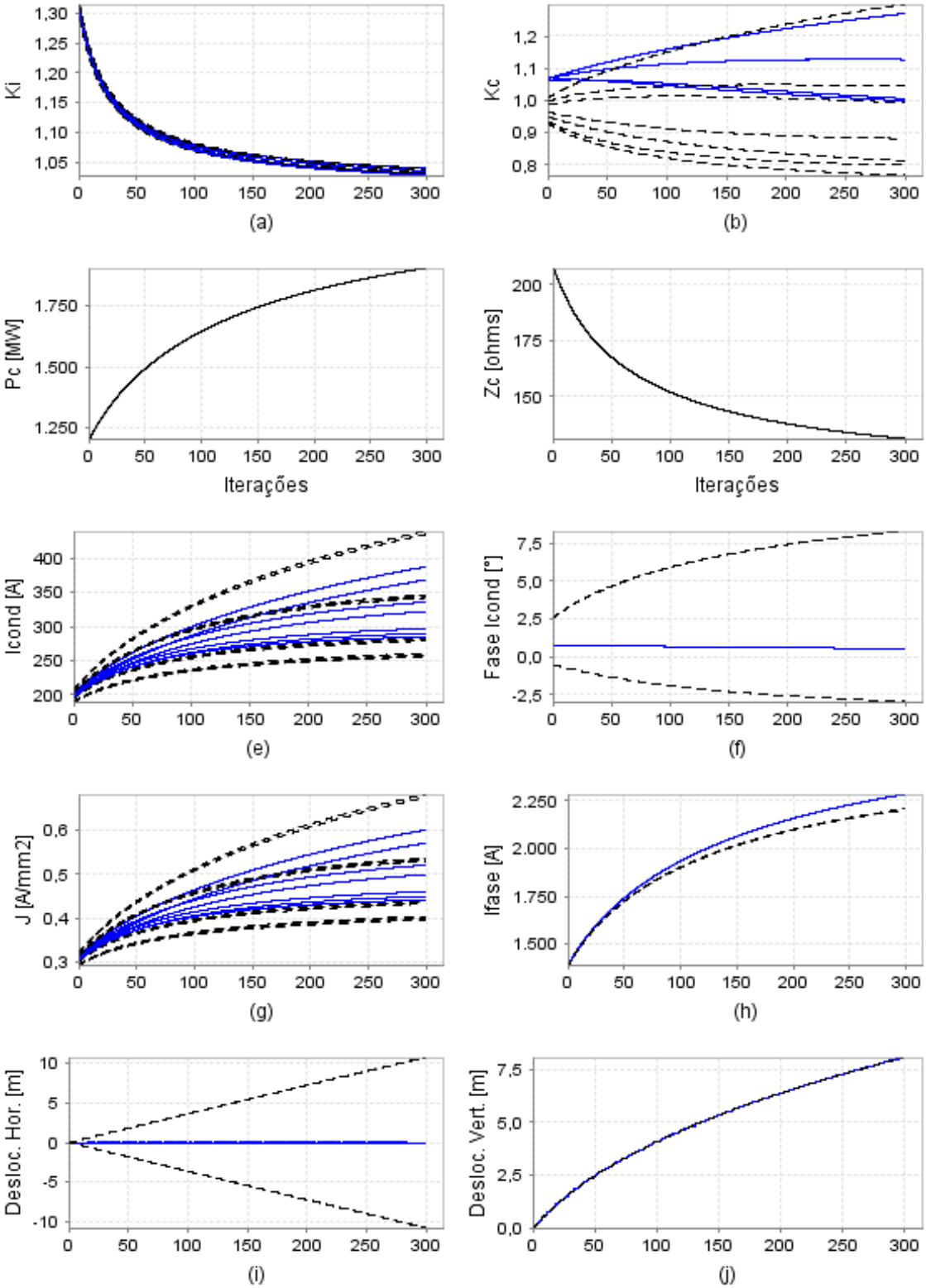

Figura H.71: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

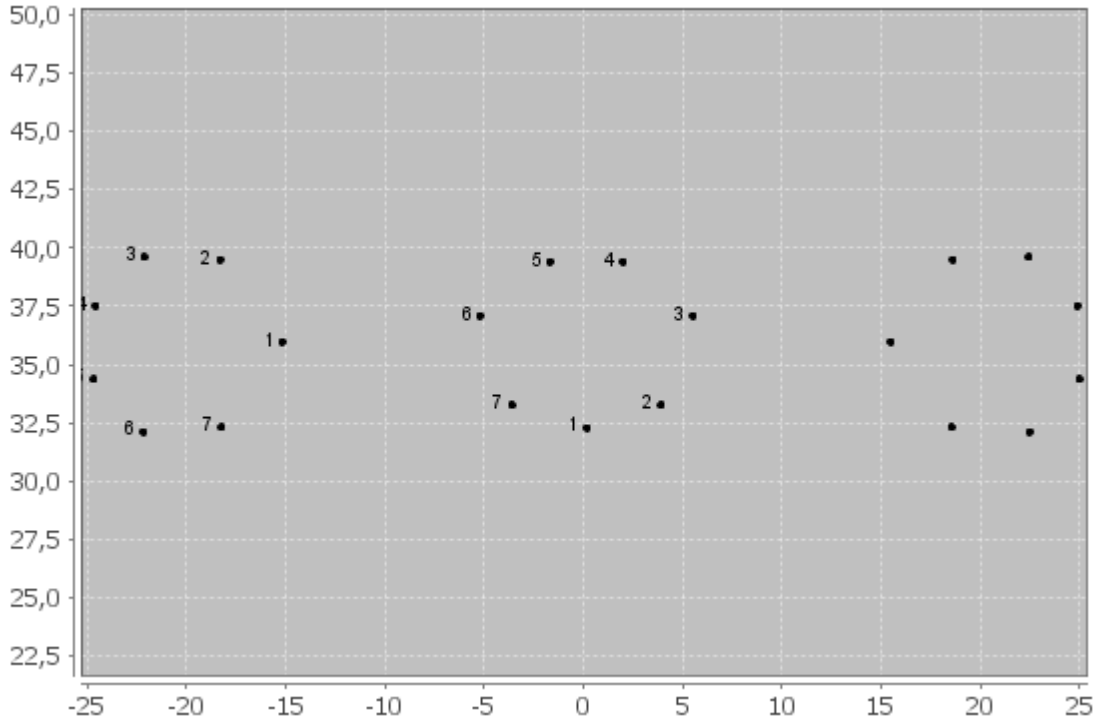

Figura H.72: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.51: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,028	1,168	1,321	1,038	1,038	1,321	1,168				1,154	0,314
Ki	1,029	1,036	1,040	1,032	1,032	1,040	1,036				1,035	0,011
Kc	0,999	1,127	1,270	1,006	1,006	1,270	1,127				1,115	0,292
Icond [A]	285	322	368	290	297	387	336				326	97
Esup [kV/cm]	12,6	14,3	16,1	12,7	12,7	16,1	14,3				14,1	3,8

Tabela H.52: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,351	1,032	0,841	0,792	0,823	0,909	1,083				0,976	0,485
Ki	1,041	1,038	1,035	1,032	1,030	1,032	1,036				1,035	0,009
Kc	1,299	0,994	0,813	0,768	0,799	0,881	1,045				0,943	0,460
Icond [A]	434	342	281	259	261	285	345				315	155
Esup [kV/cm]	16,5	12,6	10,3	9,7	10,1	11,1	13,2				11,9	5,9

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	7

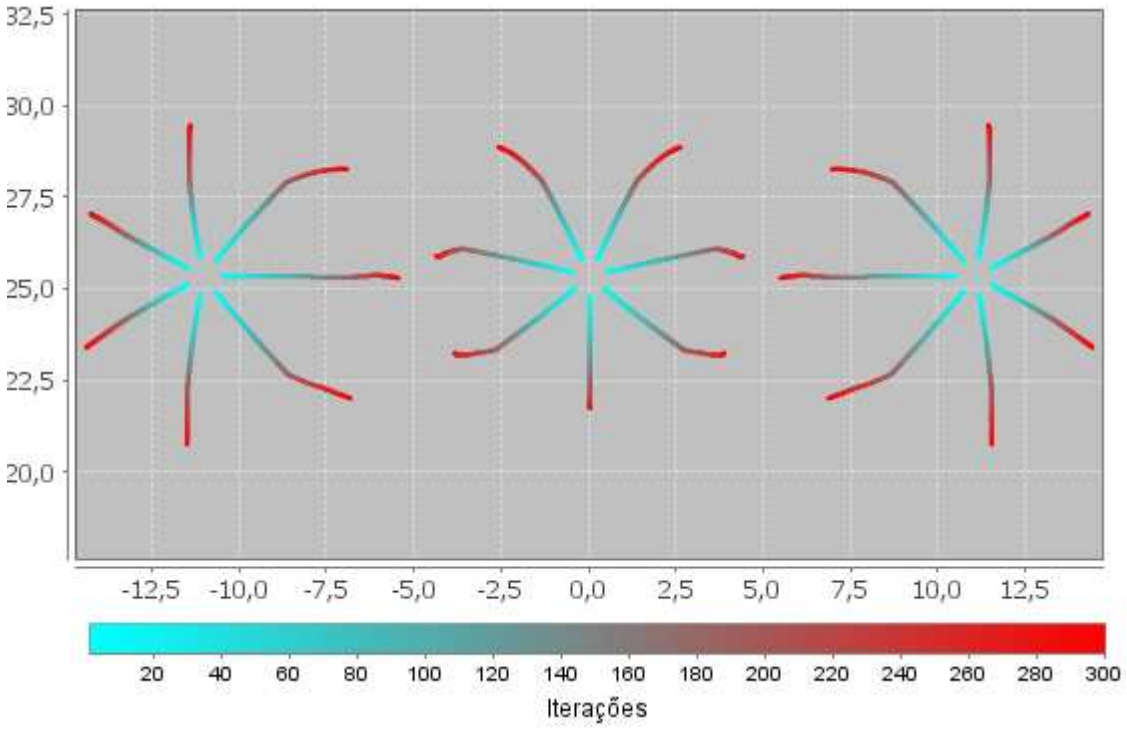

Figura H.73: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 1-E (189), 3-I (192), 6-I (192), 2-I (246), 7-I (246)

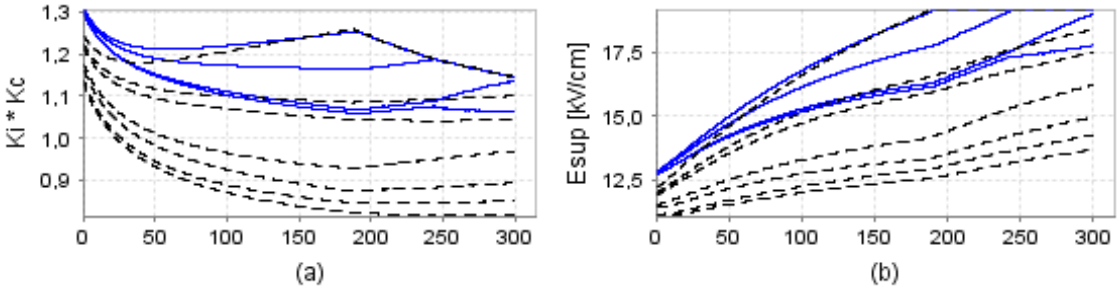

Figura H.74: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

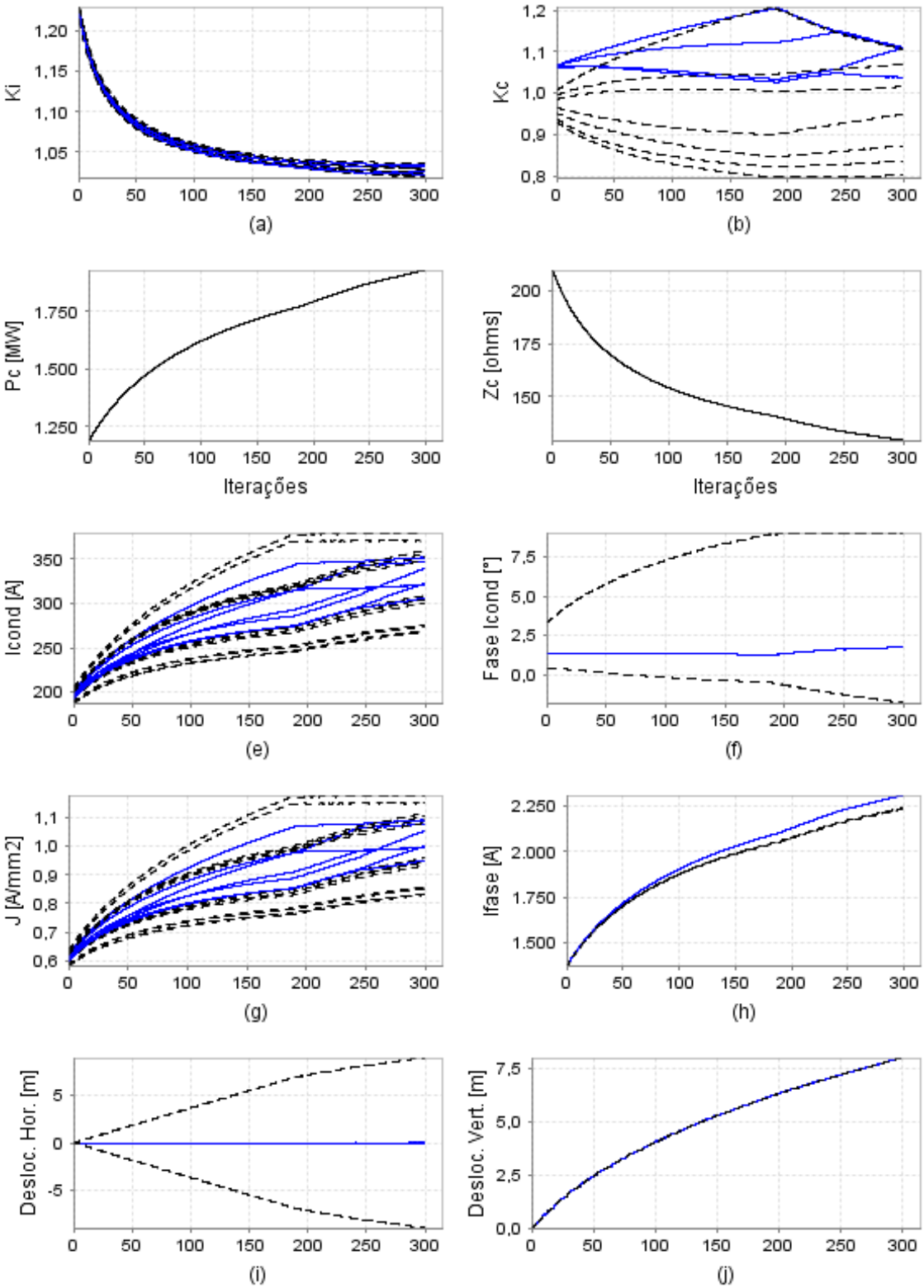

Figura H.75: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

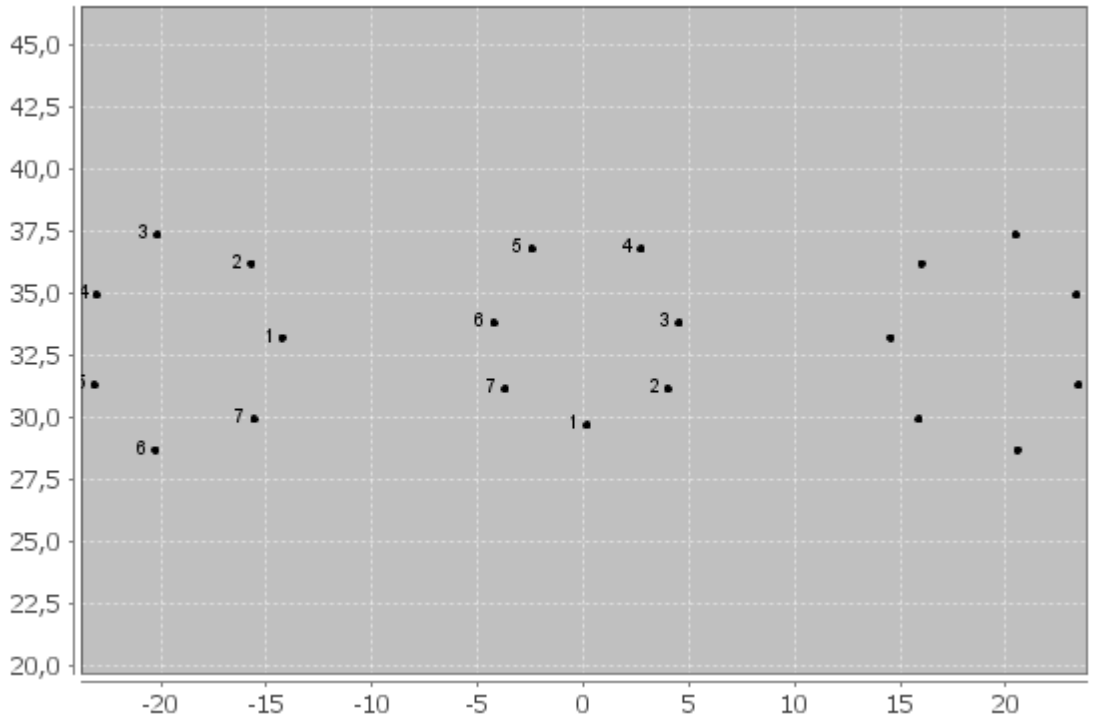

Figura H.76: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.53: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,062	1,146	1,146	1,135	1,135	1,146	1,146				1,131	0,075
Ki	1,023	1,031	1,034	1,025	1,025	1,034	1,031				1,029	0,011
Kc	1,038	1,111	1,109	1,107	1,107	1,109	1,111				1,099	0,065
Icond [A]	306	321	321	322	339	352	347				330	41
Esup [kV/cm]	17,7	19,1	19,2	19,0	19,0	19,2	19,1				18,9	1,3

Tabela H.54: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,146	1,047	0,895	0,819	0,852	0,969	1,100				0,976	0,310
Ki	1,036	1,030	1,024	1,020	1,019	1,022	1,029				1,026	0,015
Kc	1,107	1,016	0,874	0,803	0,837	0,949	1,070				0,951	0,289
Icond [A]	371	348	304	274	276	309	356				320	95
Esup [kV/cm]	19,2	17,5	15,0	13,7	14,2	16,2	18,4				16,3	5,2

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	LINNET
Nsub	7

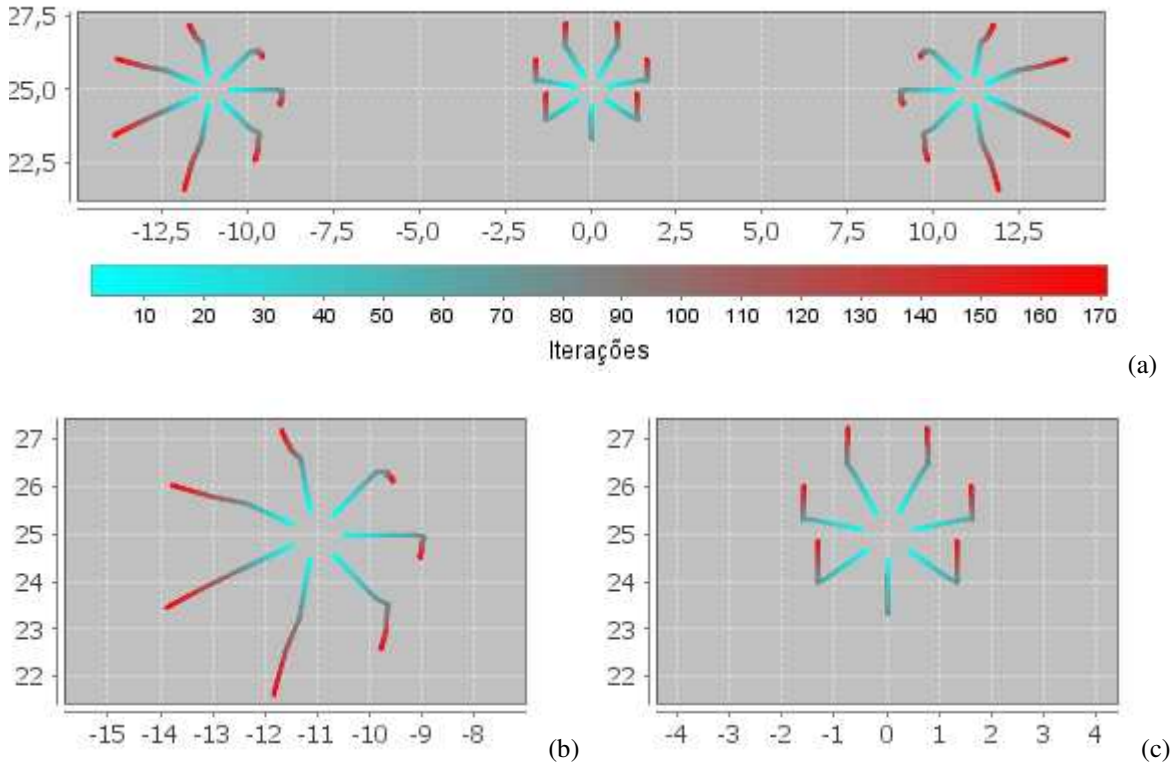

Figura H.77: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 3-I (60), 6-I (60), 2-I (68), 7-I (68), 1-E (69), 4-I (74), 5-I (74), 1-I (83), 7-E (123), 6-E (169)

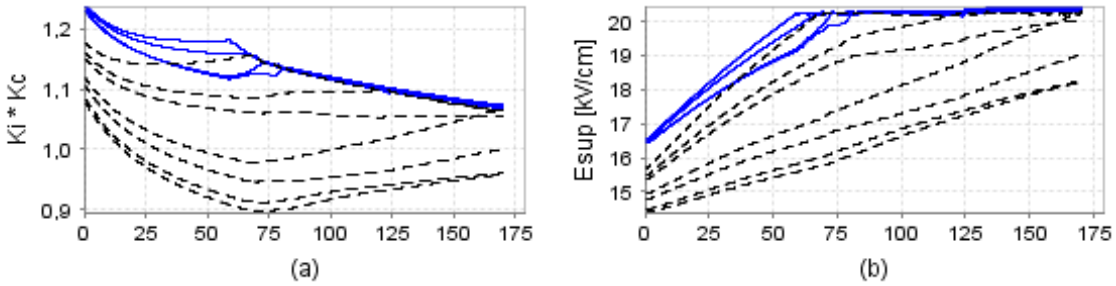

Figura H.78: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

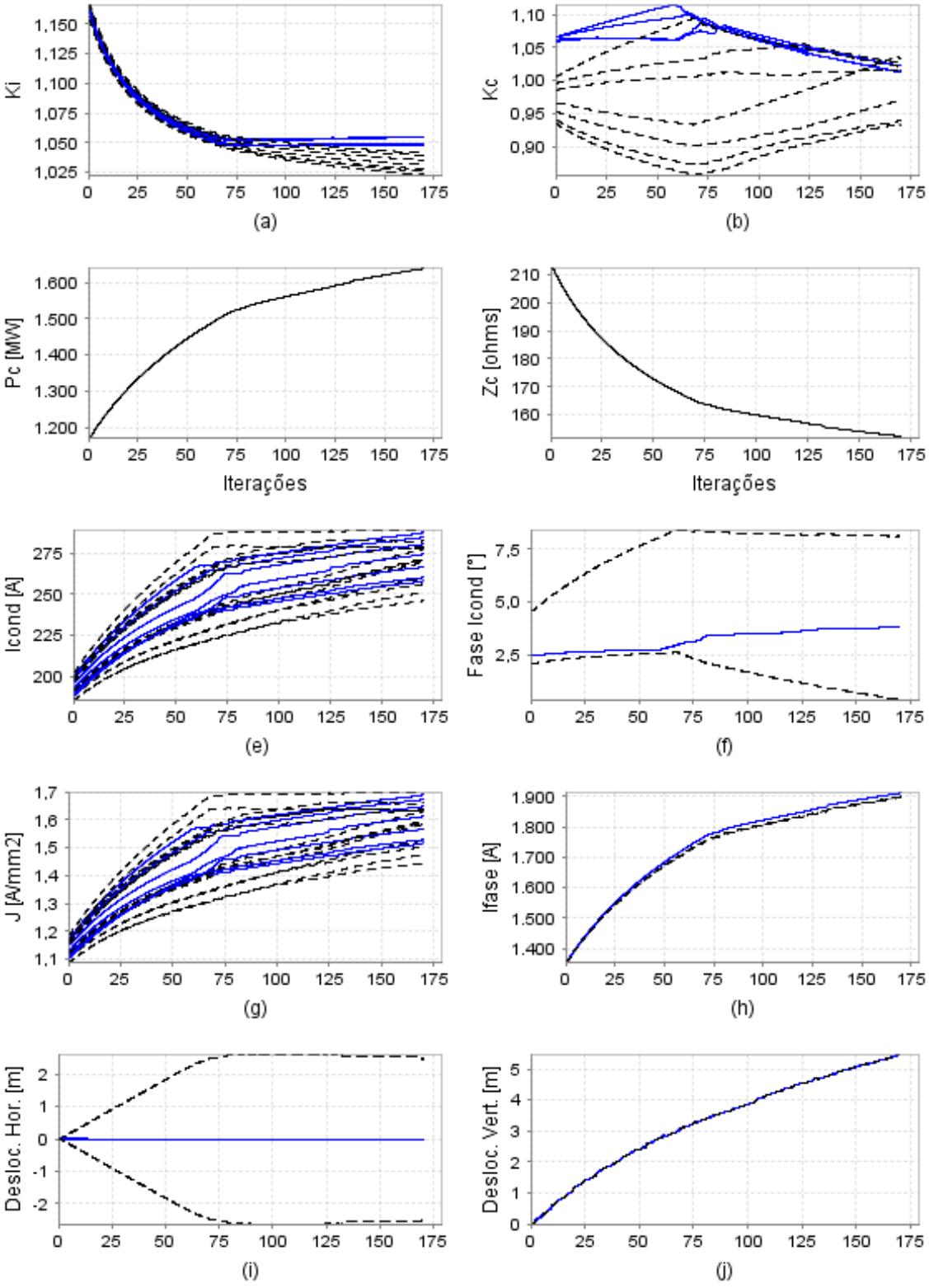

Figura H.79: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

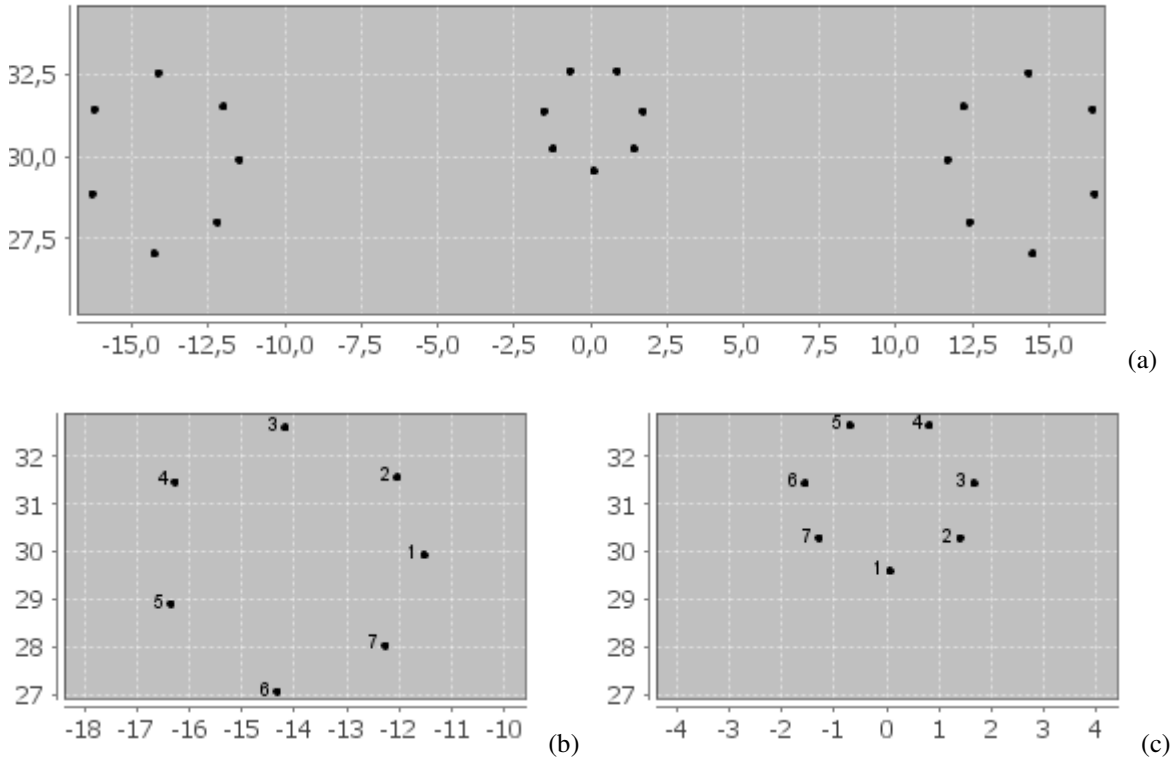

Figura H.80: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela H.55: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,074	1,068	1,070	1,072	1,072	1,070	1,068				1,071	0,005
Ki	1,050	1,055	1,055	1,048	1,048	1,055	1,055				1,052	0,008
Kc	1,023	1,013	1,014	1,023	1,023	1,014	1,013				1,017	0,012
Icond [A]	274	260	258	266	280	287	285				273	29
Esup [kV/cm]	20,4	20,3	20,3	20,4	20,4	20,3	20,3				20,4	0,1

Tabela H.56: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,064	1,054	1,000	0,958	0,960	1,064	1,064				1,023	0,121
Ki	1,042	1,040	1,032	1,026	1,023	1,028	1,035				1,032	0,017
Kc	1,021	1,014	0,970	0,933	0,939	1,035	1,027				0,991	0,106
Icond [A]	278	278	270	259	256	277	278				271	24
Esup [kV/cm]	20,2	20,0	19,0	18,2	18,3	20,2	20,2				19,5	2,3

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Compacta (5,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	7

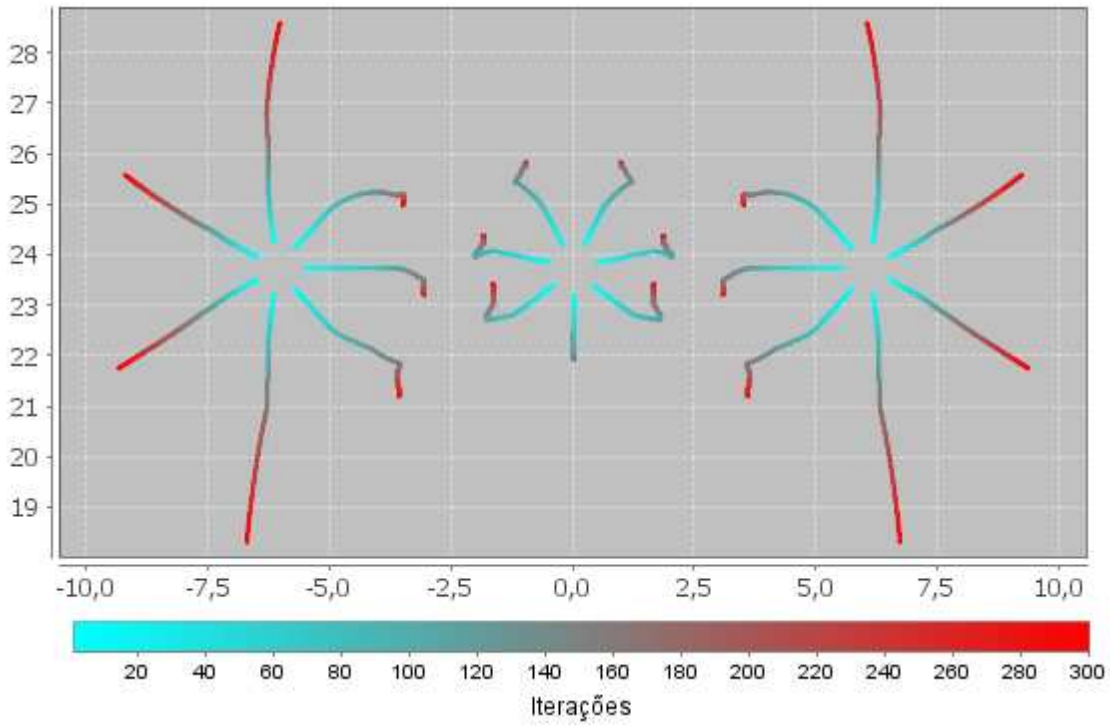

Figura H.81: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 3-I (71), 6-I (71), 1-E (73), 2-I (99), 7-I (99), 4-I (125), 5-I (125), 1-I (164), 2-E (197)

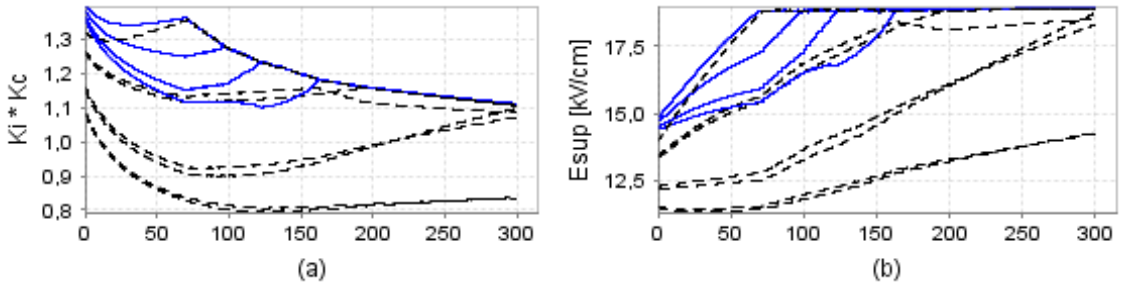

Figura H.82: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta

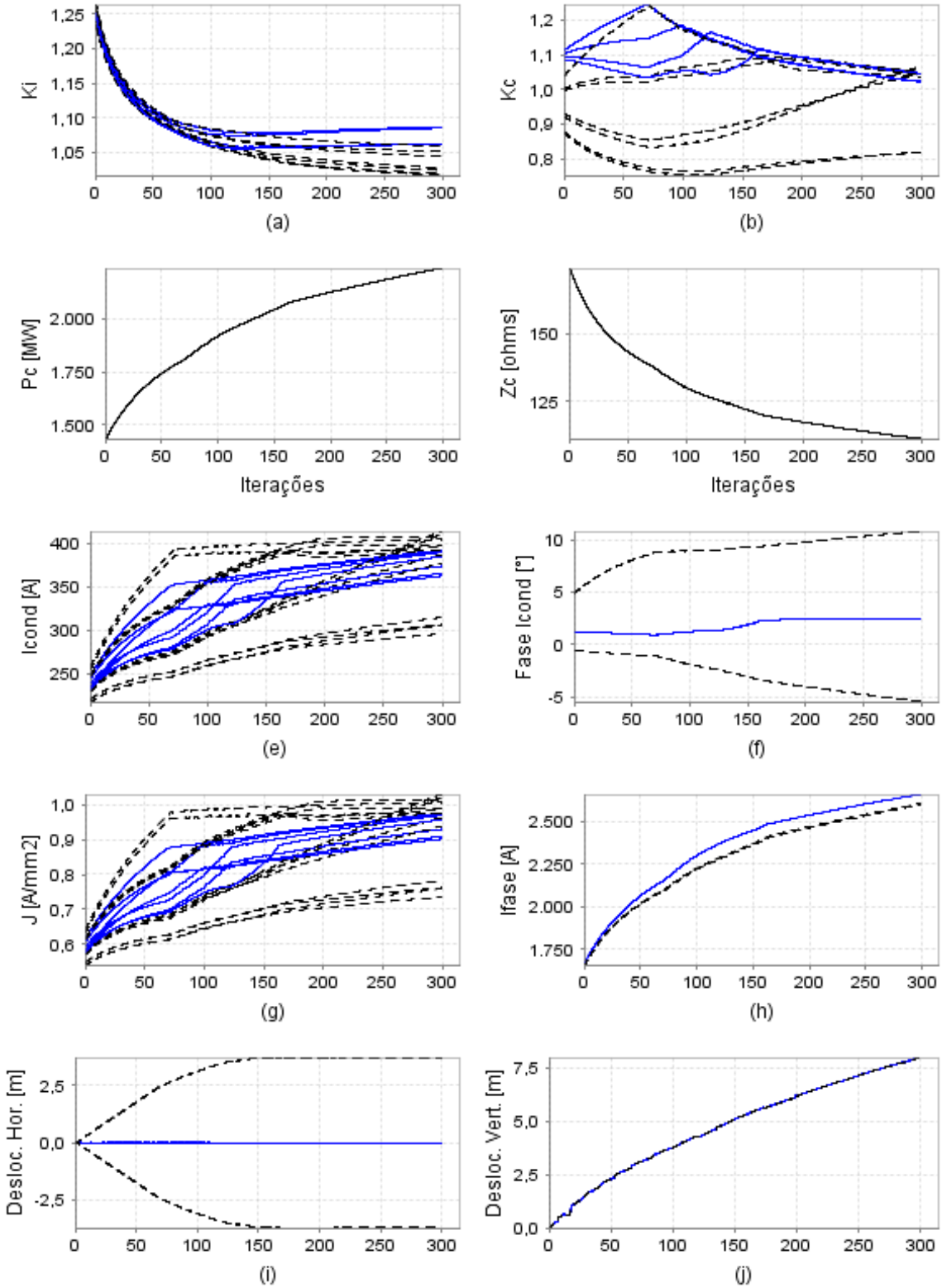

Figura H.83: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta

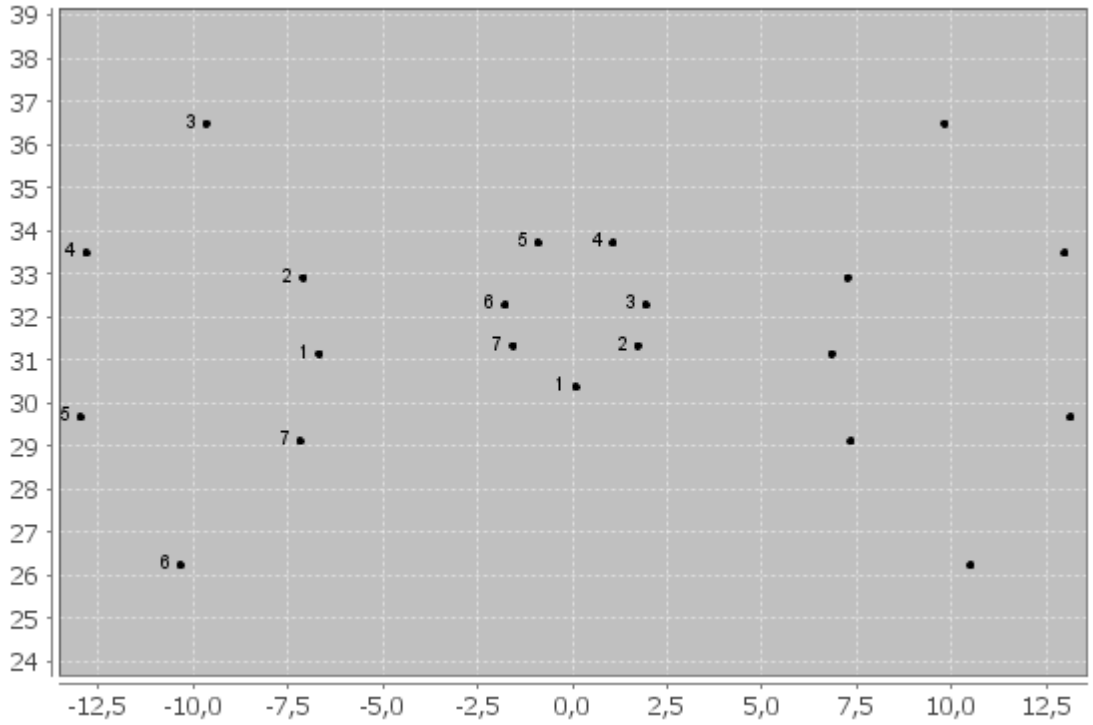

Figura H.84: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta

Tabela H.57: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,112	1,112	1,112	1,111	1,111	1,112	1,112				1,112	0,002
Ki	1,062	1,086	1,087	1,062	1,062	1,087	1,086				1,076	0,032
Kc	1,047	1,024	1,023	1,046	1,046	1,023	1,024				1,033	0,030
Icond [A]	385	366	363	374	390	392	391				380	31
Esup [kV/cm]	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0				19,0	0,0

Tabela H.58: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 7 condutores do tipo DRAKE a 500 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7				Média	Desvio
Ki * Kc	1,107	1,106	1,095	0,836	0,835	1,071	1,085				1,019	0,309
Ki	1,060	1,052	1,028	1,020	1,018	1,025	1,045				1,035	0,041
Kc	1,044	1,051	1,065	0,820	0,820	1,045	1,038				0,983	0,274
Icond [A]	392	398	414	315	307	387	392				372	105
Esup [kV/cm]	18,9	18,9	18,7	14,3	14,2	18,3	18,5				17,4	5,3

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	8

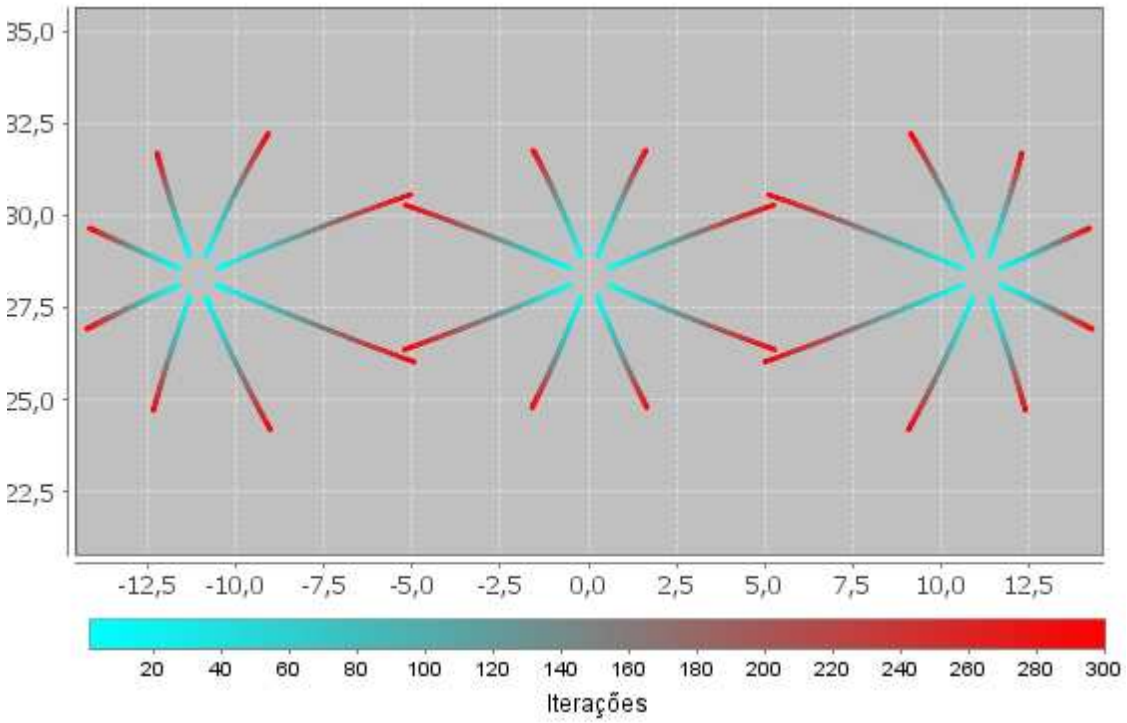

Figura H.85: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

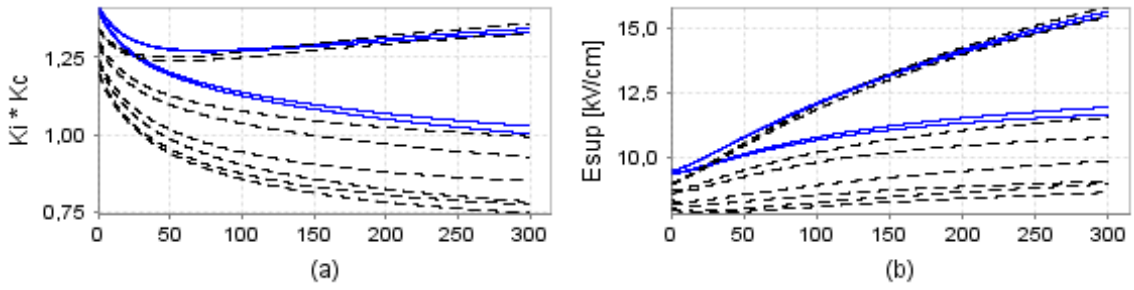

Figura H.86: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

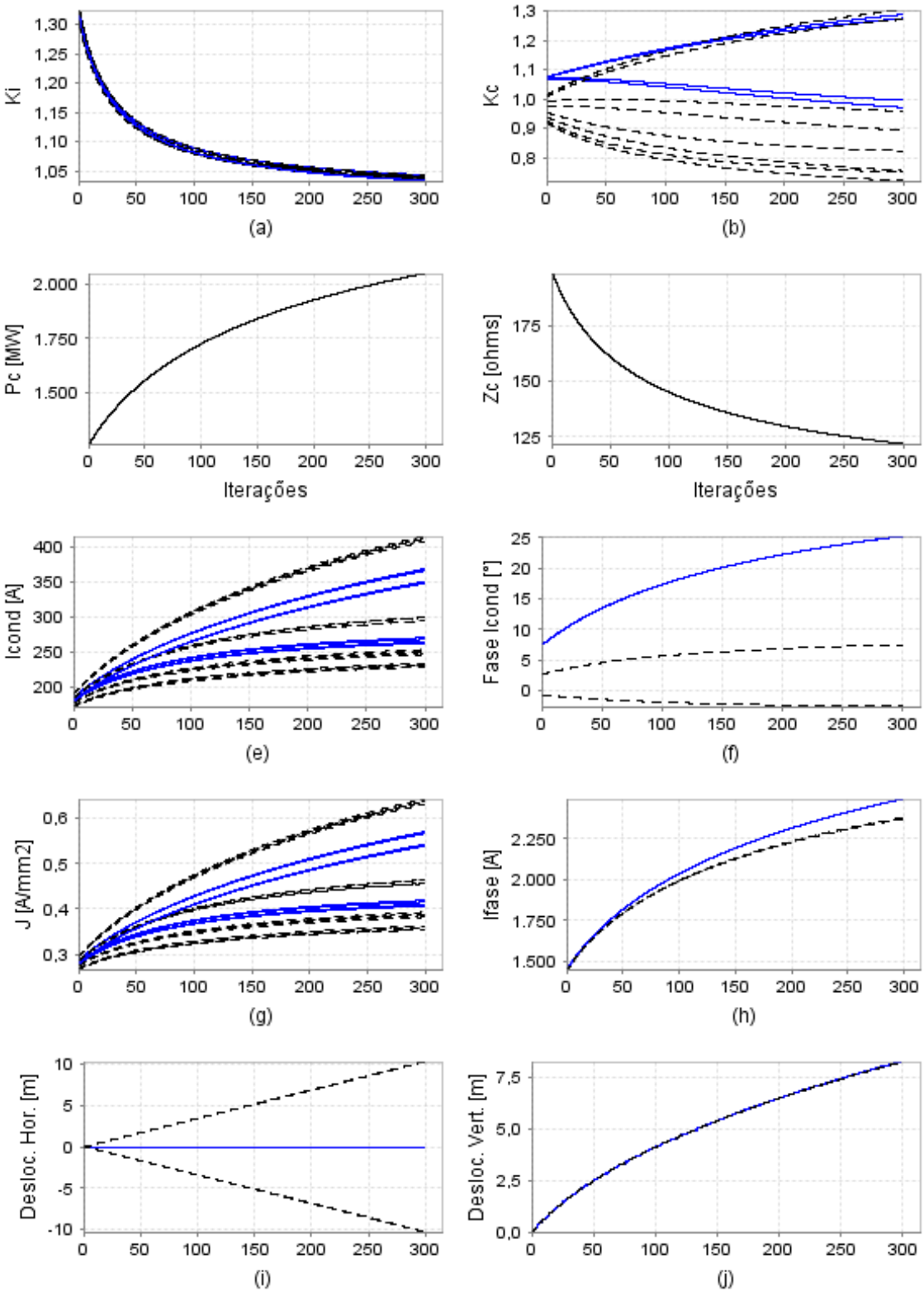

Figura H.87: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

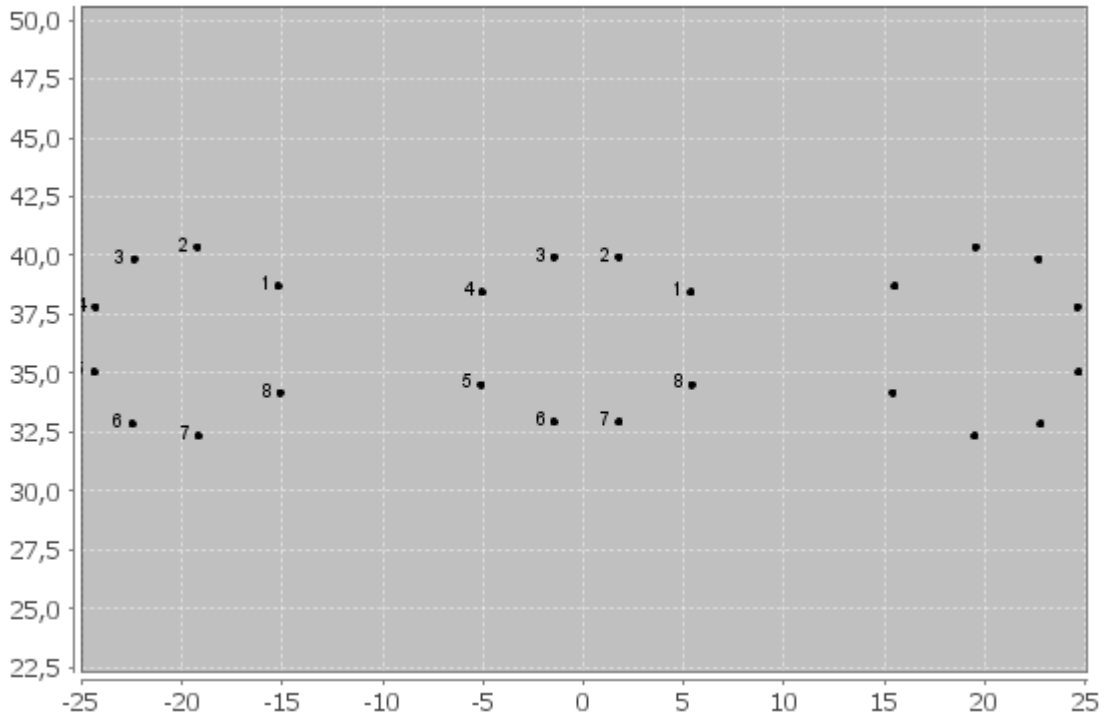

Figura H.88: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.59: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,330	1,004	1,004	1,330	1,343	1,029	1,029	1,343			1,177	0,453
Ki	1,043	1,034	1,034	1,043	1,043	1,034	1,034	1,043			1,039	0,013
Kc	1,274	0,971	0,971	1,274	1,287	0,995	0,995	1,287			1,132	0,422
Icond [A]	347	262	267	365	367	270	264	349			311	131
Esup [kV/cm]	15,4	11,7	11,7	15,4	15,6	11,9	11,9	15,6			13,7	5,3

Tabela H.60: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,326	0,929	0,785	0,748	0,776	0,852	0,995	1,358			0,971	0,644
Ki	1,043	1,041	1,039	1,037	1,036	1,036	1,038	1,043			1,039	0,008
Kc	1,271	0,893	0,755	0,721	0,749	0,823	0,959	1,303			0,934	0,613
Icond [A]	407	294	248	232	233	253	299	410			297	194
Esup [kV/cm]	15,4	10,8	9,1	8,7	9,0	9,9	11,5	15,8			11,3	7,5

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	LINNET
Nsub	8

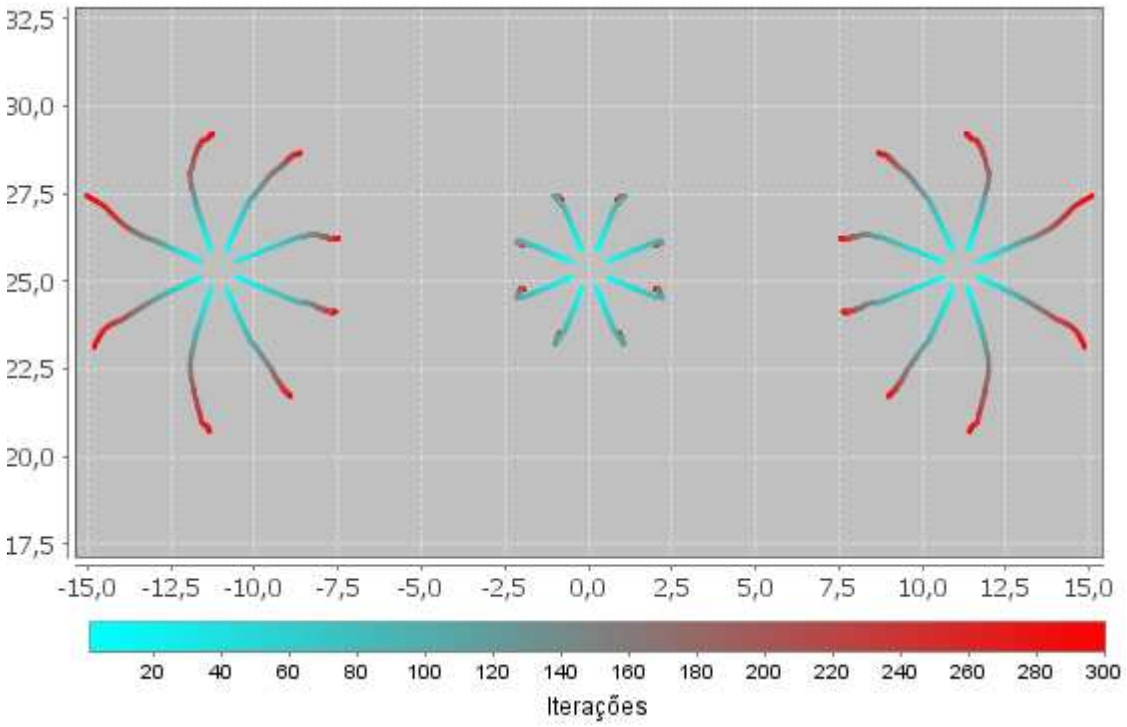

Figura H.89: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 5-I (89), 8-I (89), 1-I (91), 4-I (91), 8-E (96), 1-E (102), 6-I (116), 7-I (116), 2-I (120), 3-I (120), 7-E (153), 2-E (181), 6-E (250)

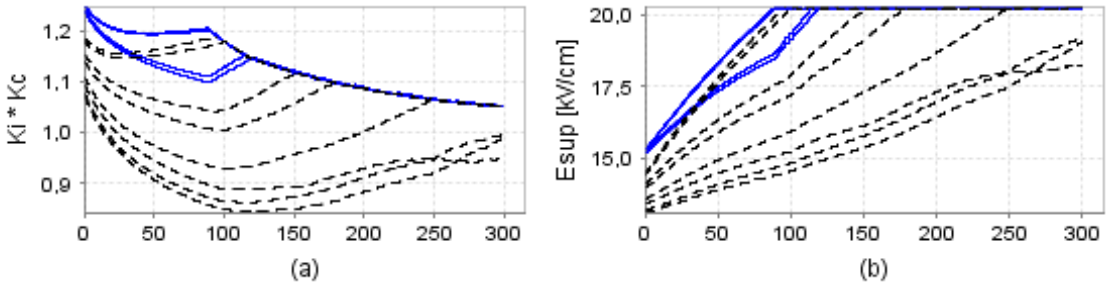

Figura H.90: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

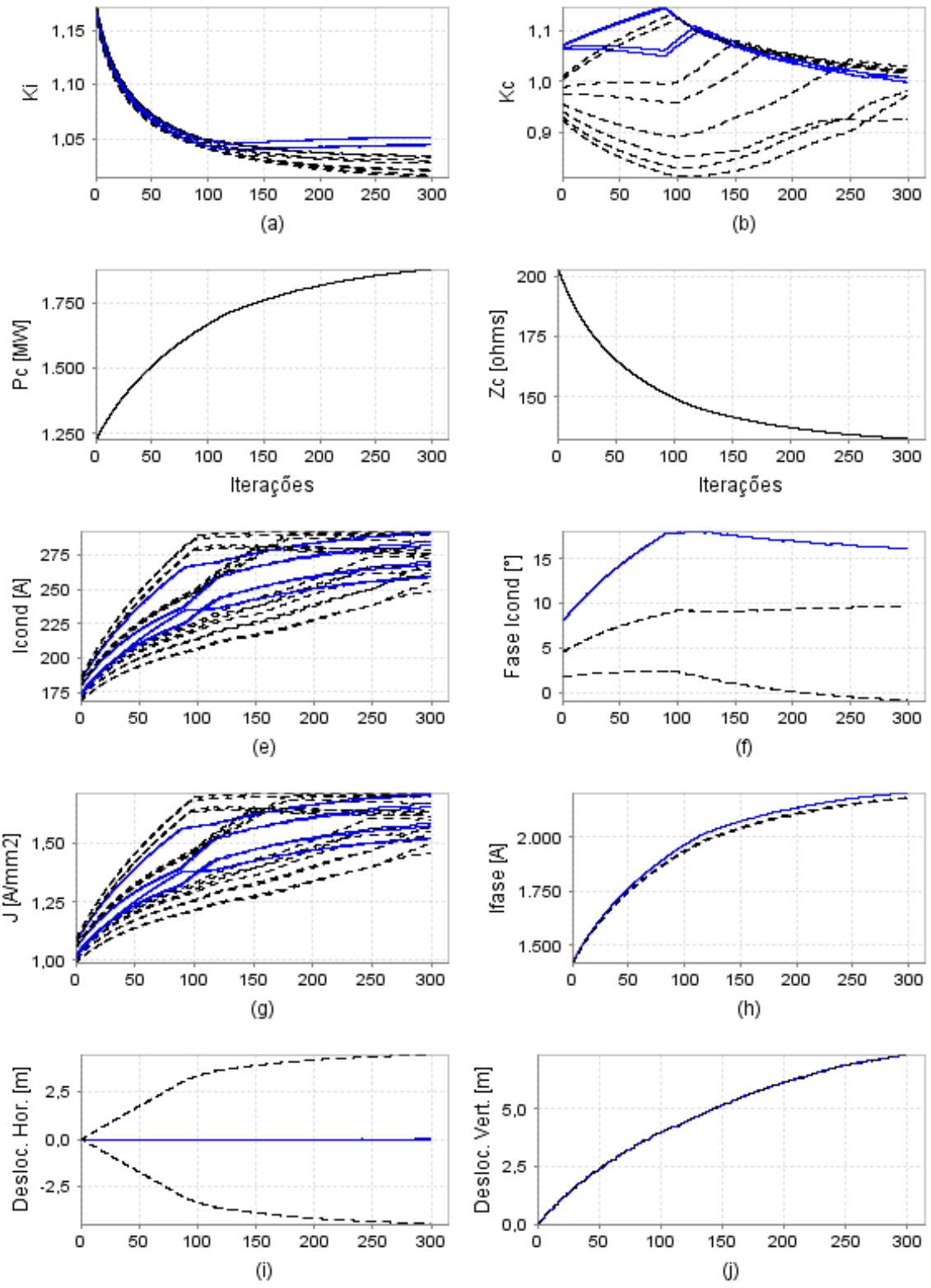

Figura H.91: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

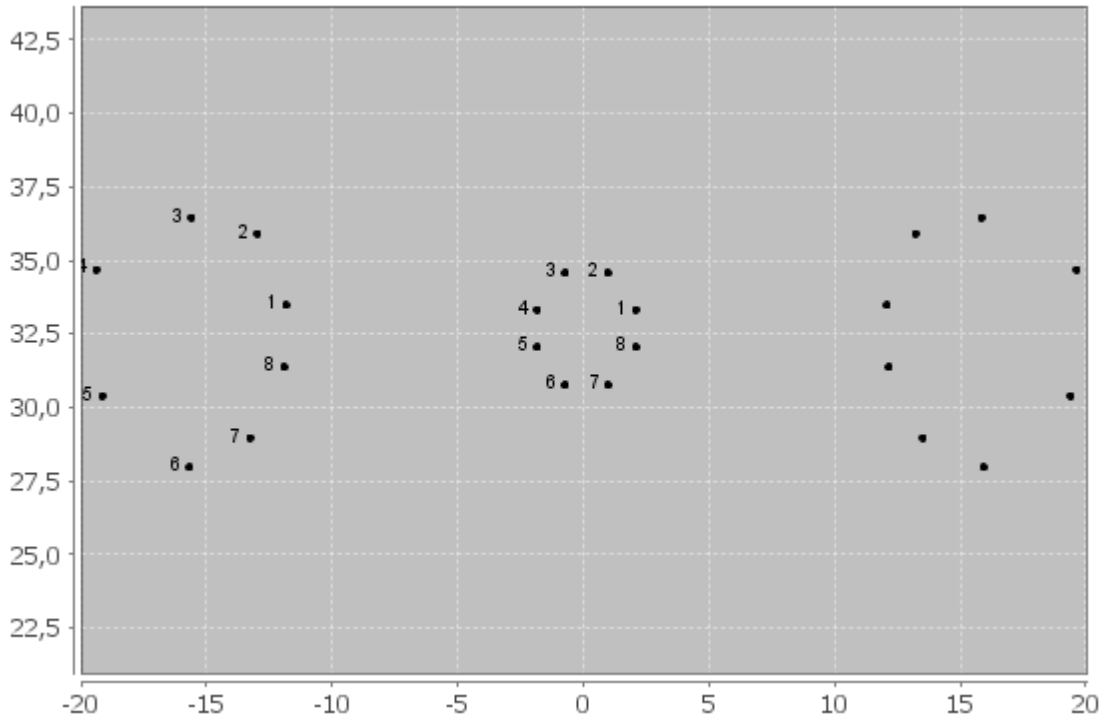

Figura H.92: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.61: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,051	1,051	1,051	1,051	1,051	1,053	1,053	1,051			1,051	0,002
Ki	1,051	1,044	1,044	1,051	1,052	1,045	1,045	1,052			1,048	0,010
Kc	1,000	1,007	1,007	1,000	0,999	1,008	1,008	0,999			1,003	0,011
Icond [A]	259	268	282	291	292	285	270	259			276	35
Esup [kV/cm]	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,3	20,3	20,2			20,2	0,0

Tabela H.62: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,051	1,052	0,947	0,987	0,996	1,051	1,051	1,052			1,023	0,109
Ki	1,034	1,030	1,021	1,016	1,015	1,021	1,028	1,033			1,025	0,020
Kc	1,016	1,021	0,927	0,972	0,981	1,030	1,023	1,018			0,998	0,094
Icond [A]	279	285	265	269	262	273	275	277			273	20
Esup [kV/cm]	20,2	20,3	18,2	19,0	19,2	20,2	20,2	20,3			19,7	2,1

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Compacta (5,0 m)
Condutor	LINNET
Nsub	8

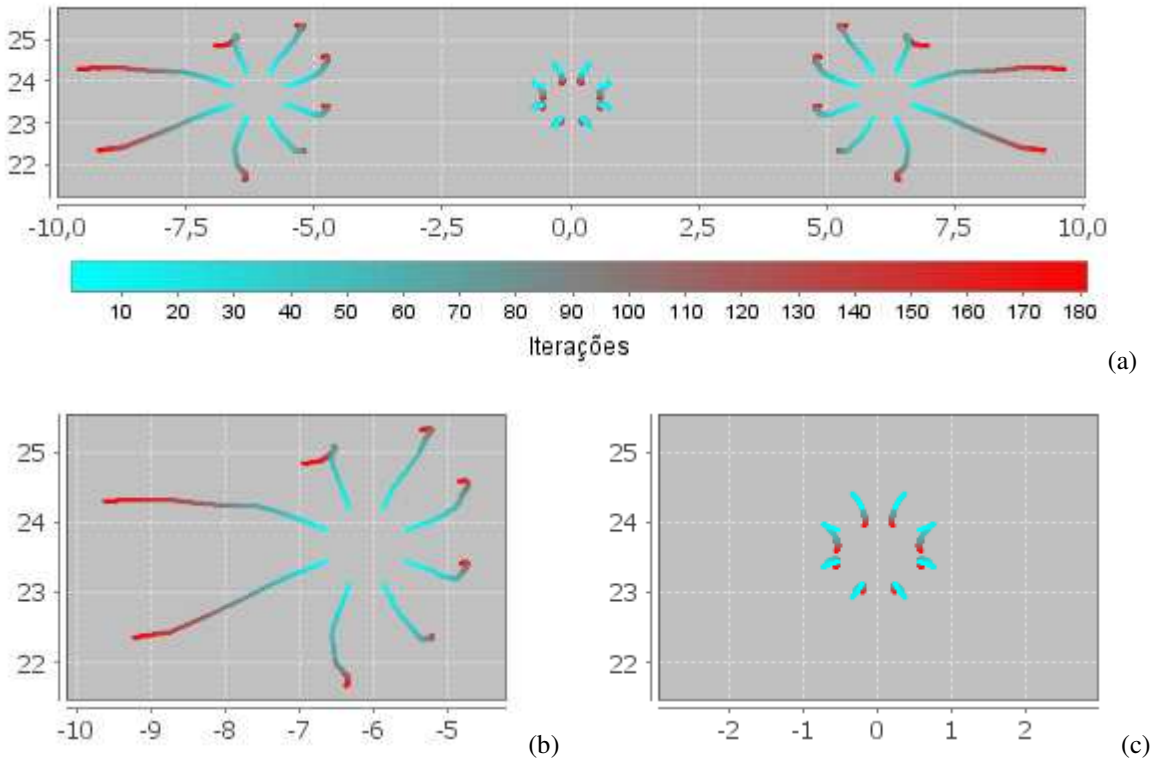

Figura H.93: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (10), 4-I (10), 5-I (10), 8-I (10), 2-I (15), 3-I (15), 6-I (16), 7-I (16), 8-E (21), 1-E (22), 7-E (46), 2-E (53), 5-E (134), 4-E (169)

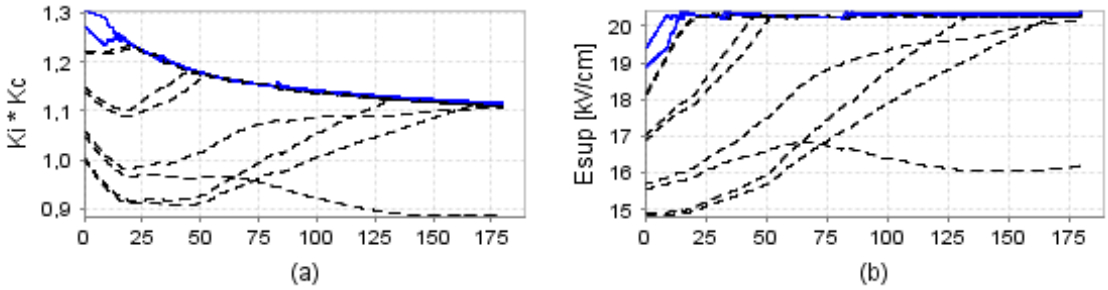

Figura H.94: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta

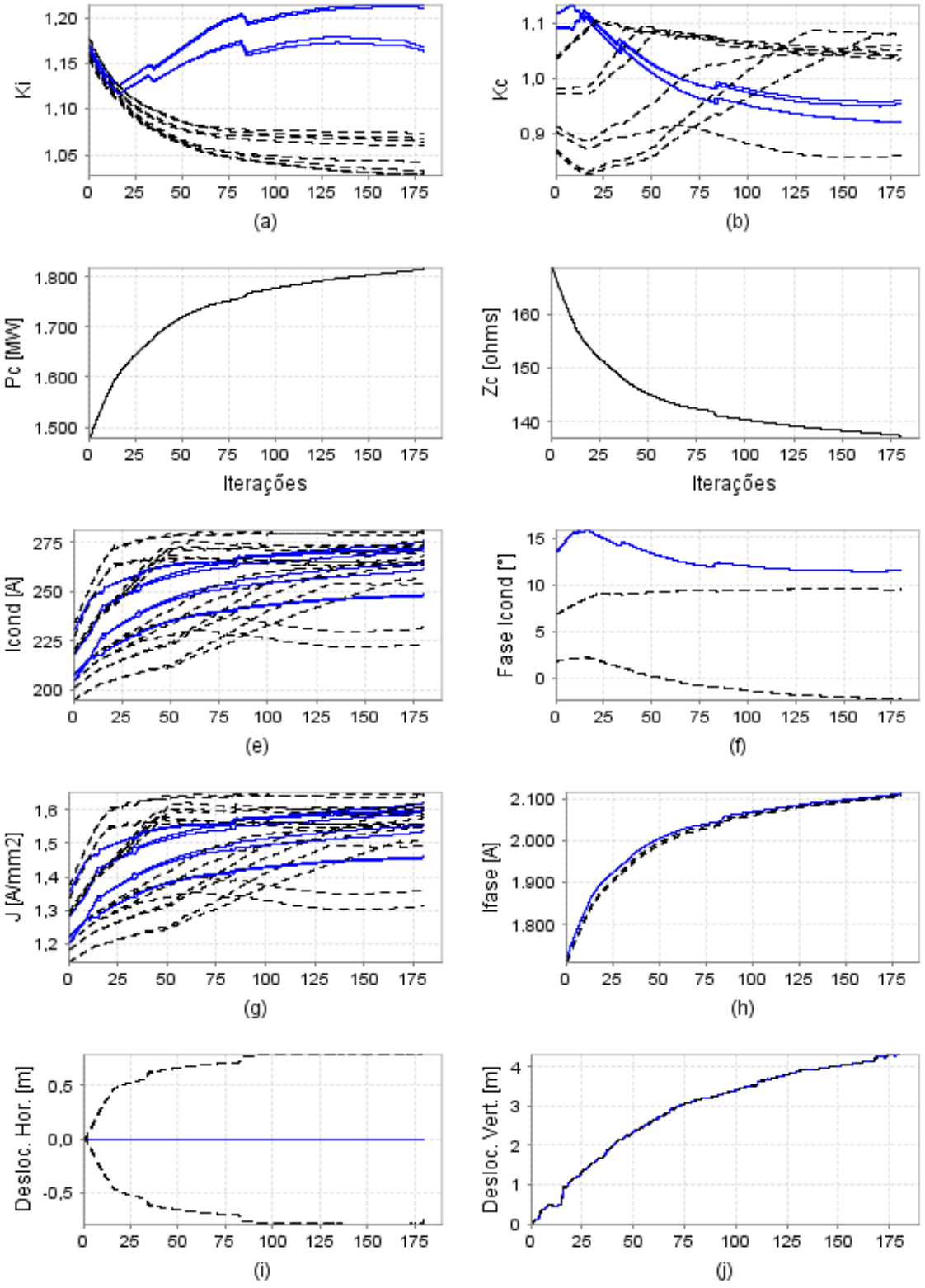

Figura H.95: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta

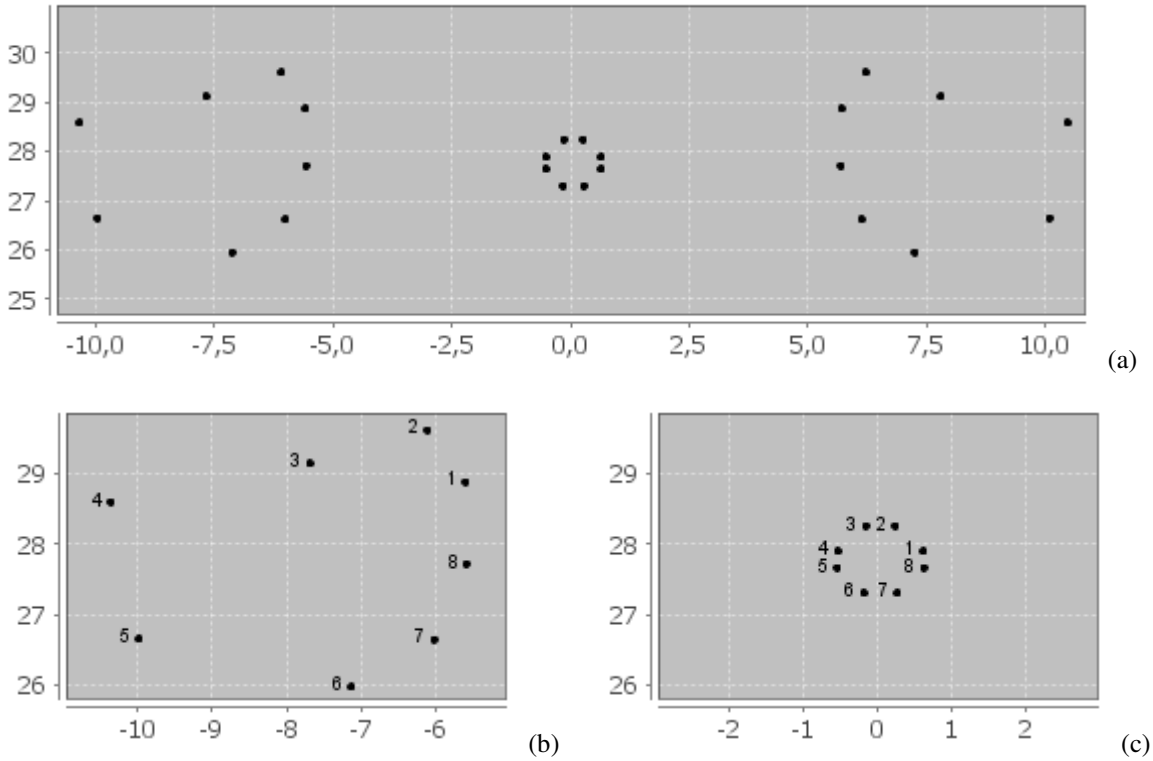

Figura H.96: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela H.63: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,114	1,113	1,113	1,114	1,117	1,117	1,117	1,117			1,115	0,004
Ki	1,211	1,168	1,168	1,211	1,213	1,164	1,164	1,213			1,189	0,065
Kc	0,920	0,953	0,953	0,920	0,921	0,959	0,959	0,921			0,938	0,051
Icond [A]	248	261	271	271	272	275	265	248			264	29
Esup [kV/cm]	20,3	20,3	20,3	20,3	20,4	20,4	20,4	20,4			20,3	0,1

Tabela H.64: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 8 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8			Média	Desvio
Ki * Kc	1,110	1,109	0,887	1,111	1,111	1,106	1,113	1,110			1,082	0,209
Ki	1,073	1,064	1,032	1,029	1,028	1,043	1,060	1,068			1,050	0,050
Kc	1,035	1,042	0,860	1,080	1,080	1,060	1,050	1,040			1,031	0,189
Icond [A]	265	271	232	274	270	268	266	263			264	35
Esup [kV/cm]	20,2	20,2	16,2	20,3	20,3	20,2	20,3	20,2			19,7	3,8

H.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	3

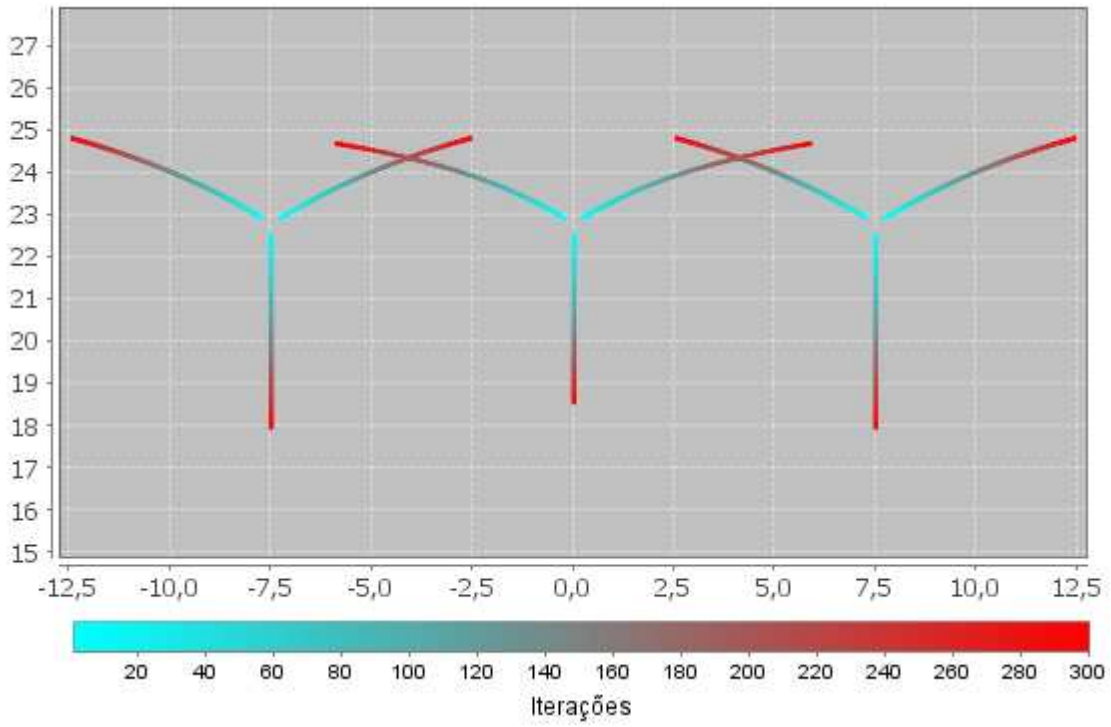

Figura H.97: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

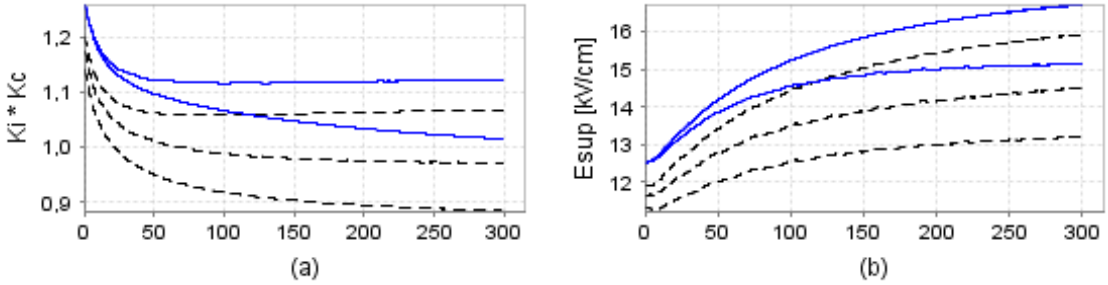

Figura H.98: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

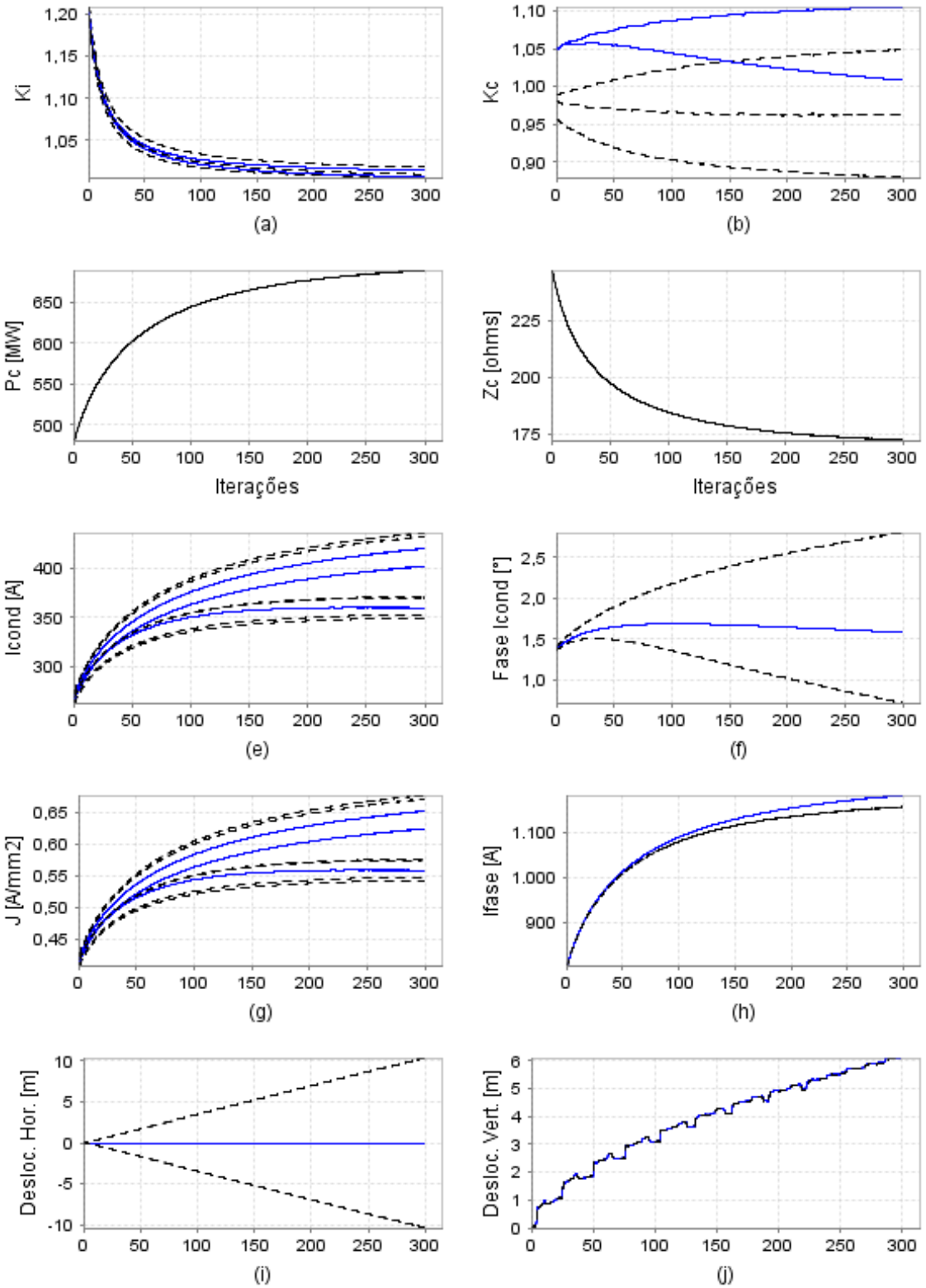

Figura H.99: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

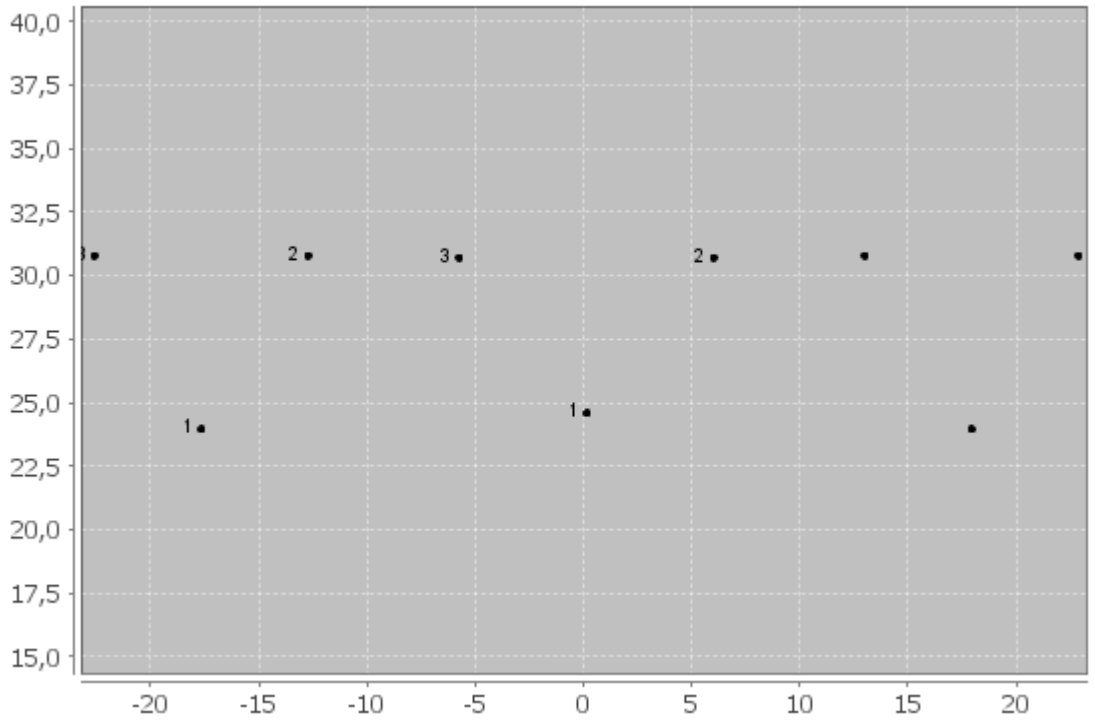

Figura H.100: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.65: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3							Média	Desvio
Ki * Kc	1,015	1,121	1,121							1,086	0,087
Ki	1,007	1,015	1,015							1,012	0,006
Kc	1,008	1,105	1,105							1,073	0,079
Icond [A]	360	402	420							394	44
Esup [kV/cm]	15,2	16,7	16,7							16,2	1,3

Tabela H.66: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3							Média	Desvio
Ki * Kc	0,972	1,067	0,885							0,975	0,129
Ki	1,010	1,018	1,006							1,012	0,009
Kc	0,963	1,048	0,880							0,964	0,119
Icond [A]	371	433	353							386	59
Esup [kV/cm]	14,5	15,9	13,2							14,6	1,9

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	3

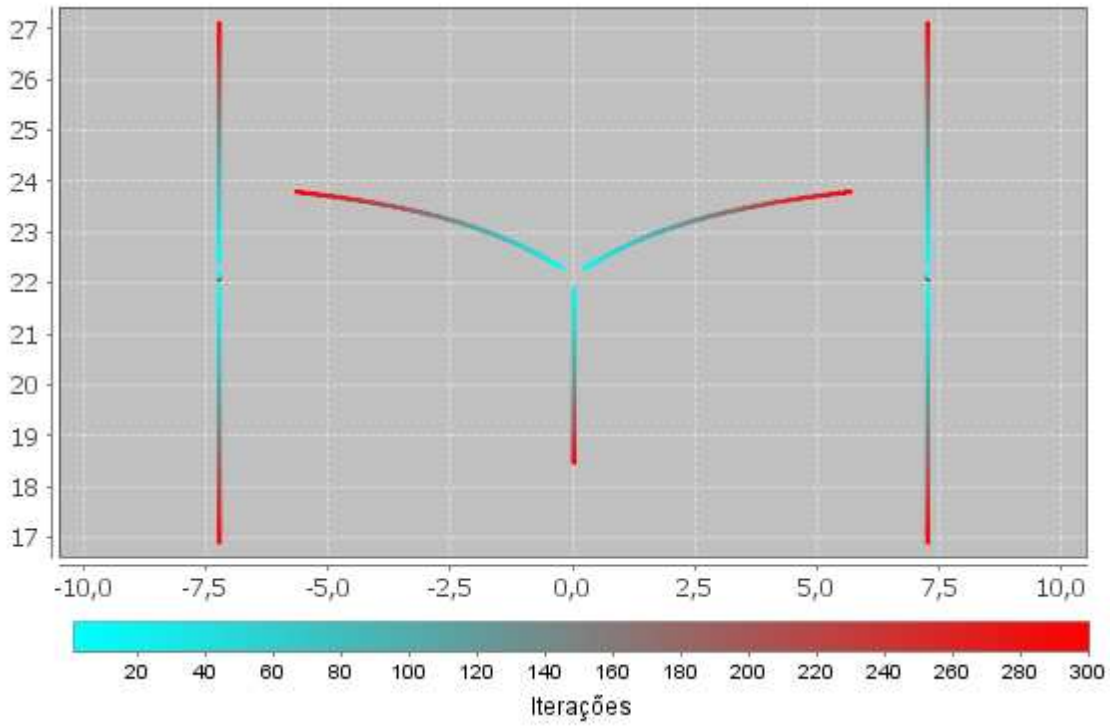

Figura H.101: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

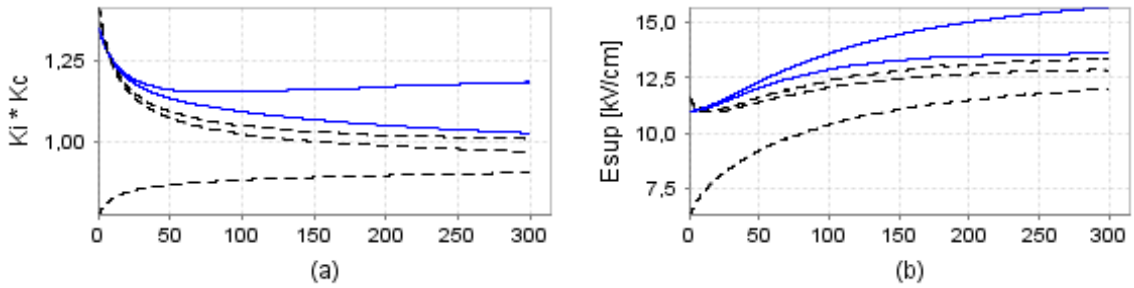

Figura H.102: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional

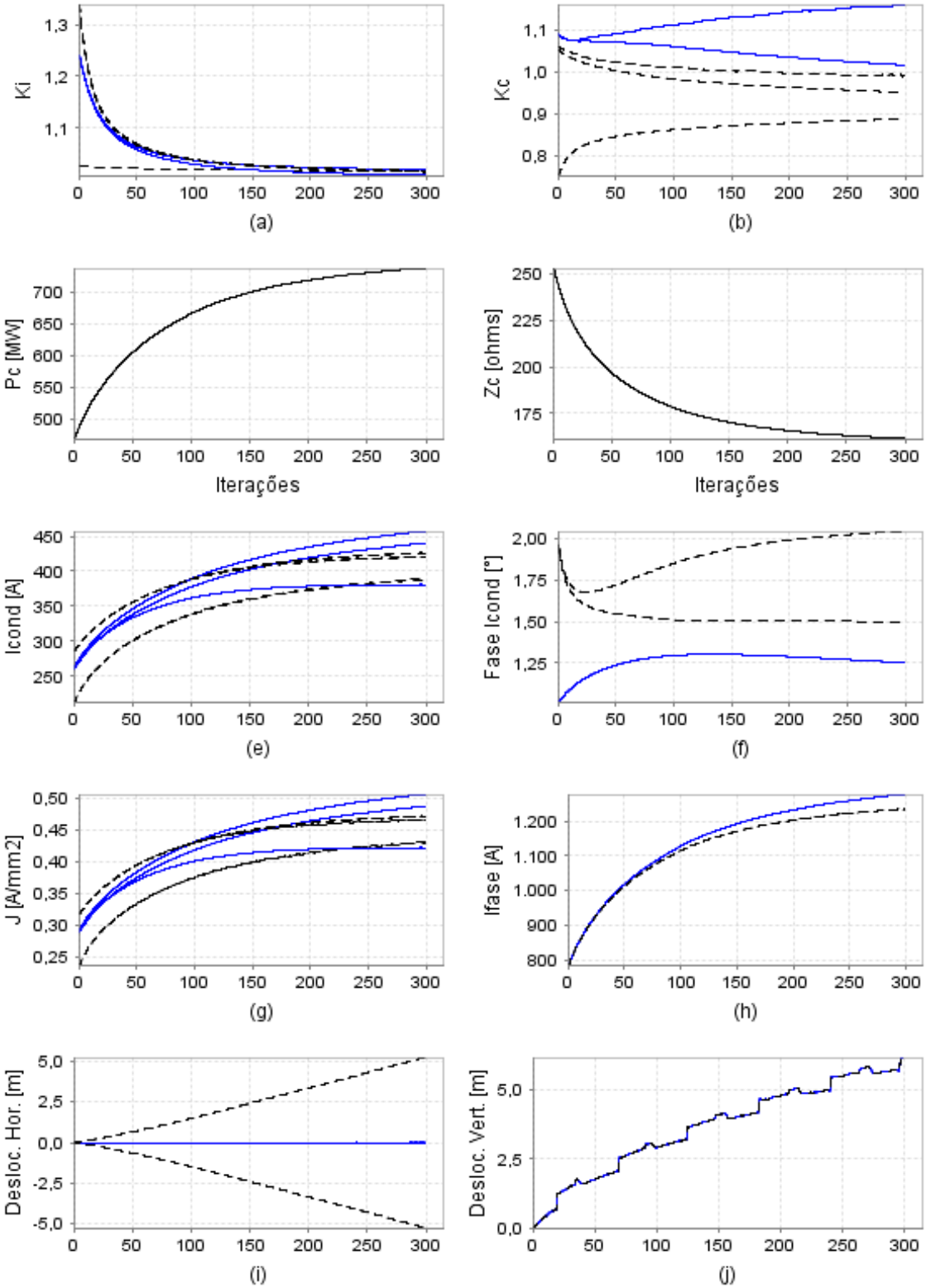

Figura H.103: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional

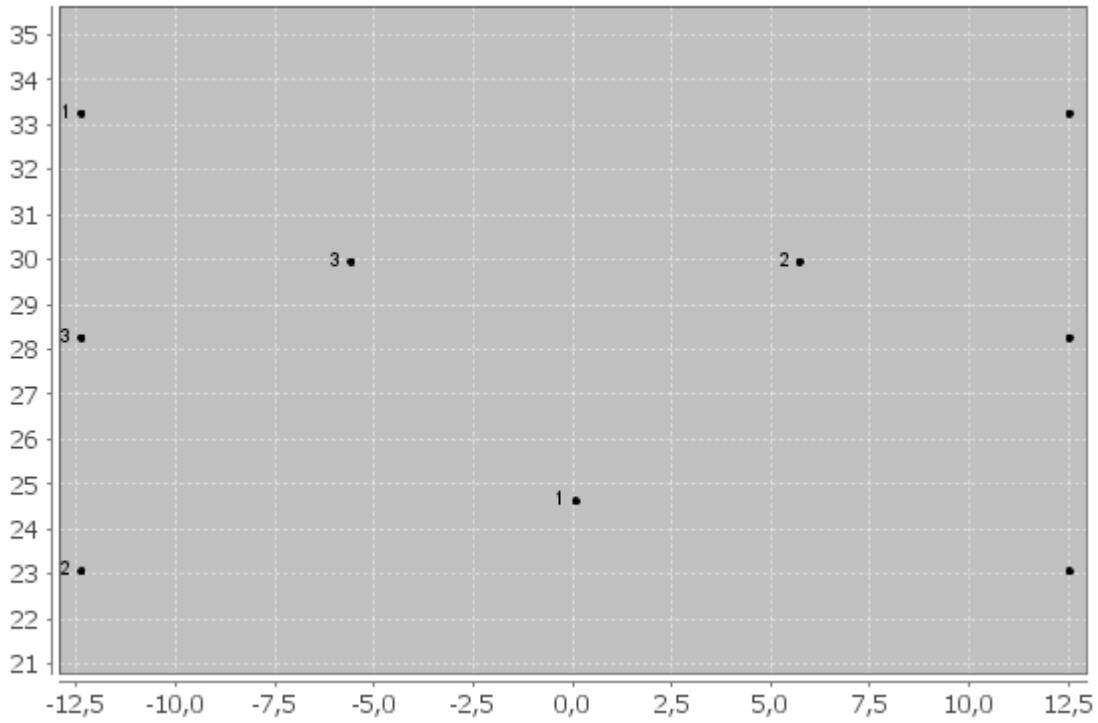

Figura H.104: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.67: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,026	1,184	1,184								1,131	0,129
Ki	1,009	1,019	1,019								1,016	0,009
Kc	1,017	1,161	1,161								1,113	0,118
Icond [A]	380	440	457								426	57
Esup [kV/cm]	13,6	15,7	15,7								15,0	1,7

Tabela H.68: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo CHUKAR a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	0,969	1,005	0,902								0,959	0,074
Ki	1,017	1,015	1,016								1,016	0,002
Kc	0,952	0,990	0,888								0,943	0,073
Icond [A]	426	421	388								411	29
Esup [kV/cm]	12,9	13,3	12,0								12,7	1,0

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	3

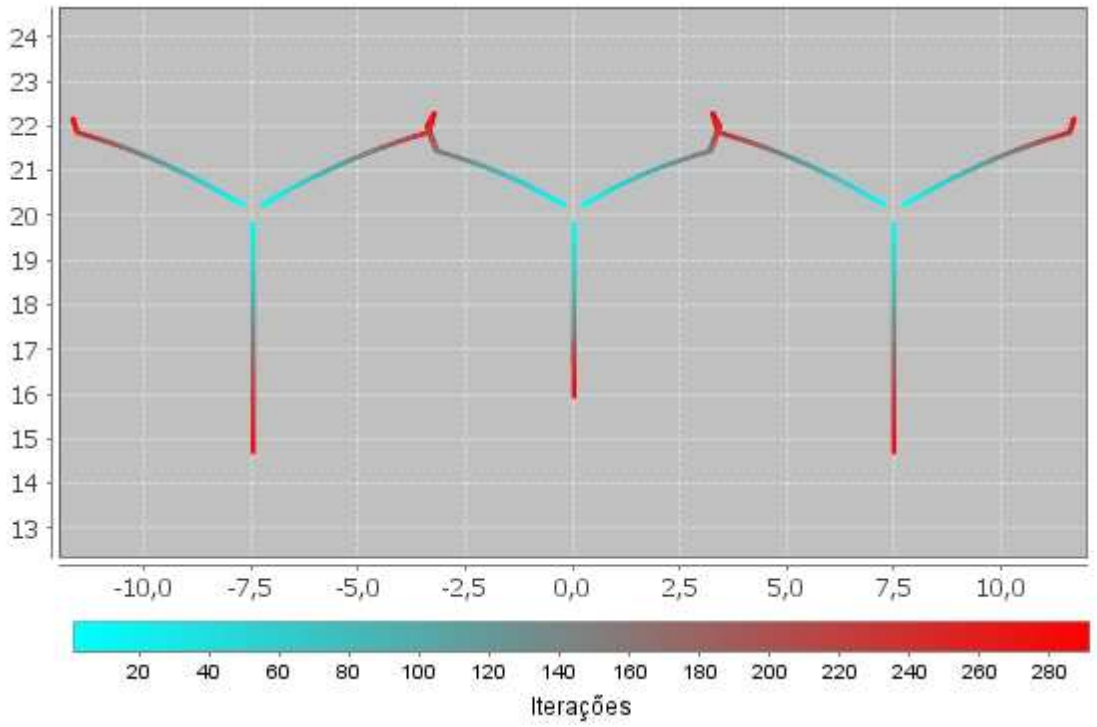

Figura H.105: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-I (162), 3-I (162), 2-E (247), 1-E (291), 1-I (291)

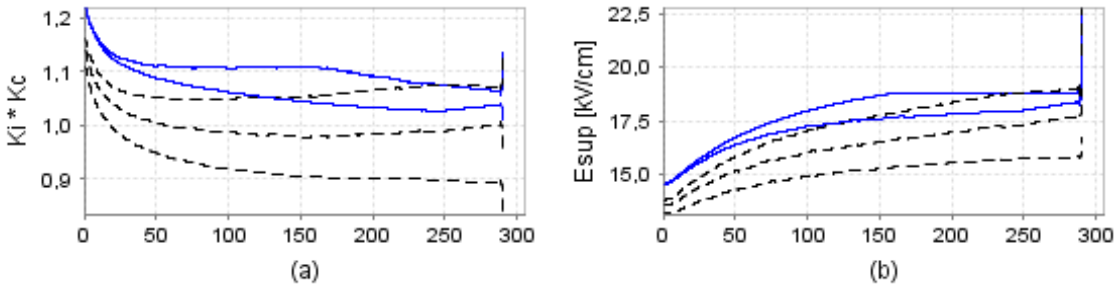

Figura H.106: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

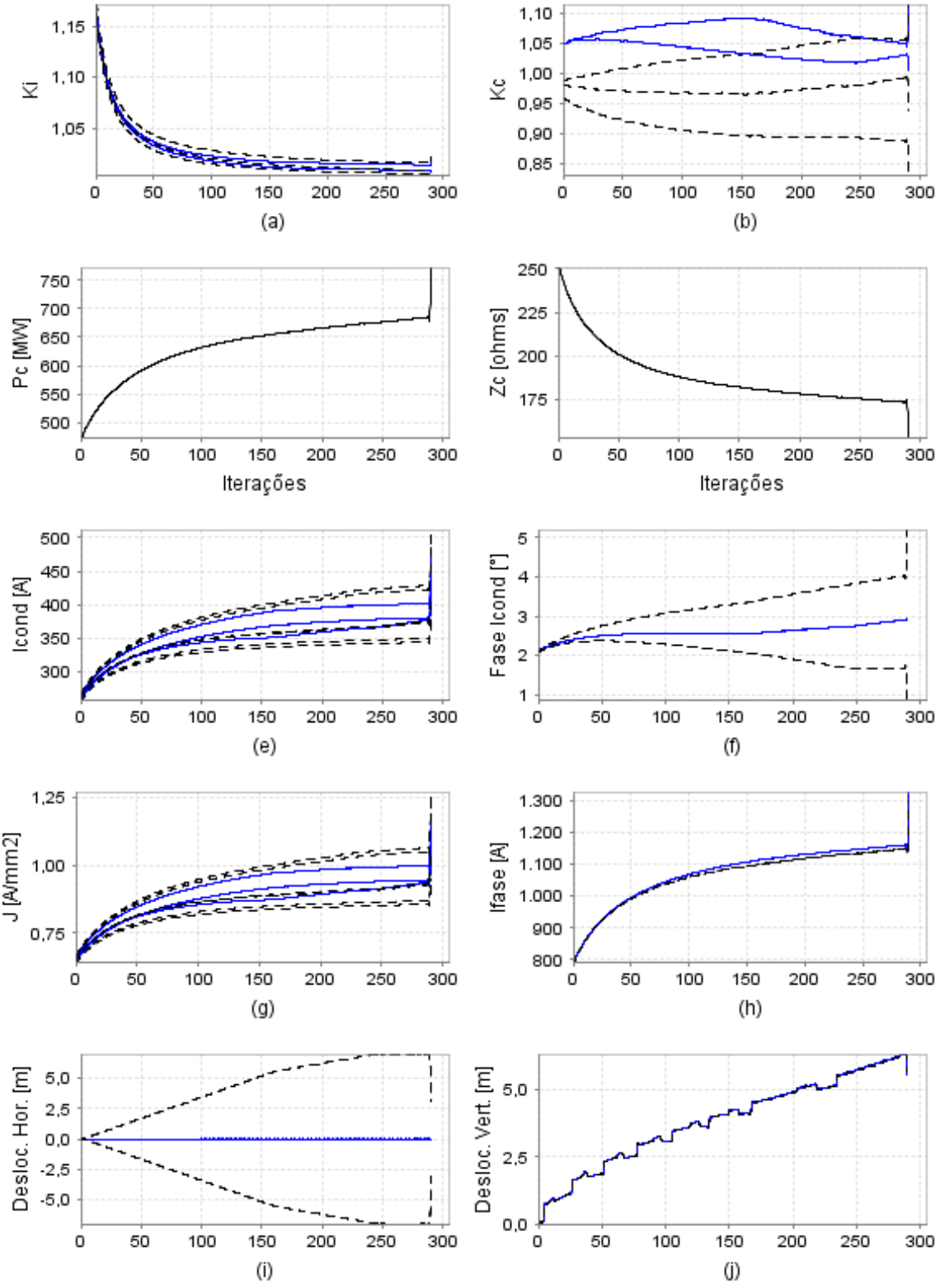

Figura H.107: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

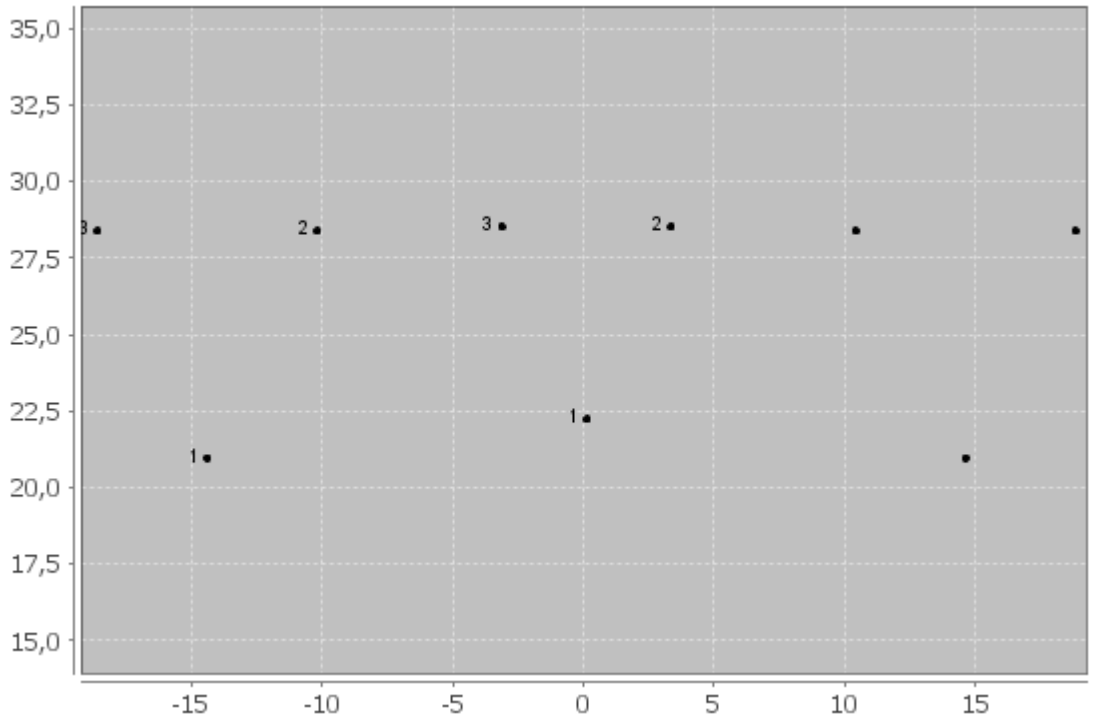

Figura H.108: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.69: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,039	1,063	1,063								1,055	0,020
Ki	1,008	1,014	1,014								1,012	0,005
Kc	1,031	1,049	1,049								1,043	0,015
Icond [A]	378	381	402								387	18
Esup [kV/cm]	18,4	18,8	18,8								18,7	0,4

Tabela H.70: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,001	1,072	0,893								0,989	0,128
Ki	1,008	1,016	1,005								1,010	0,008
Kc	0,993	1,055	0,888								0,979	0,119
Icond [A]	376	423	351								383	52
Esup [kV/cm]	17,7	19,0	15,8								17,5	2,3

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	3

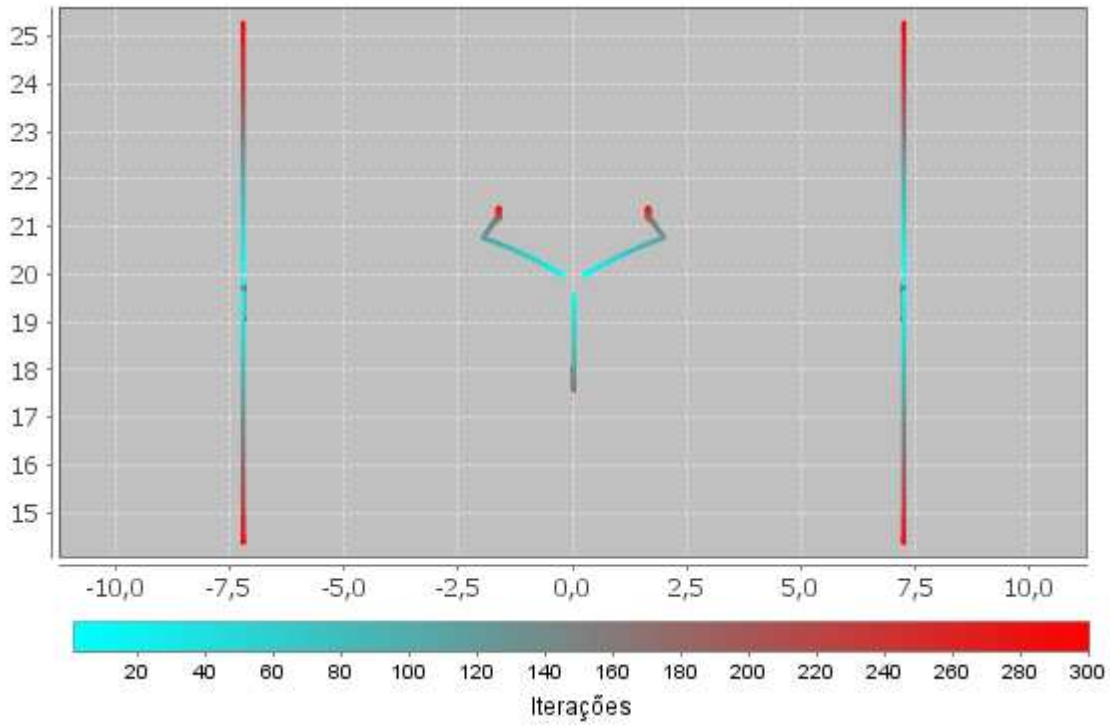

Figura H.109: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-I (112), 3-I (112), 1-I (168), 2-E (233), 1-E (279)

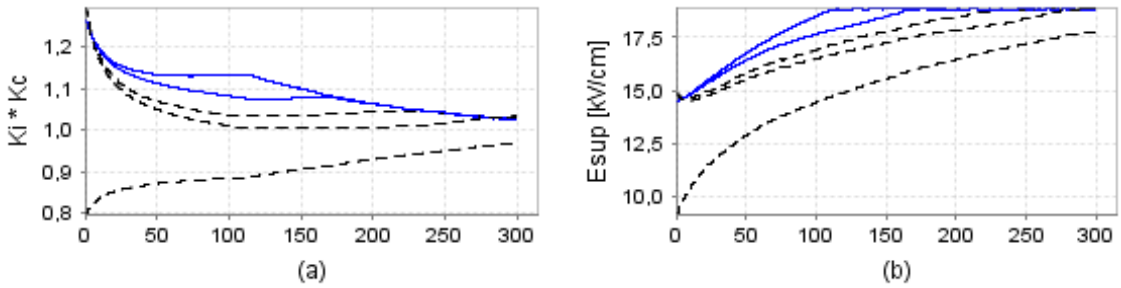

Figura H.110: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

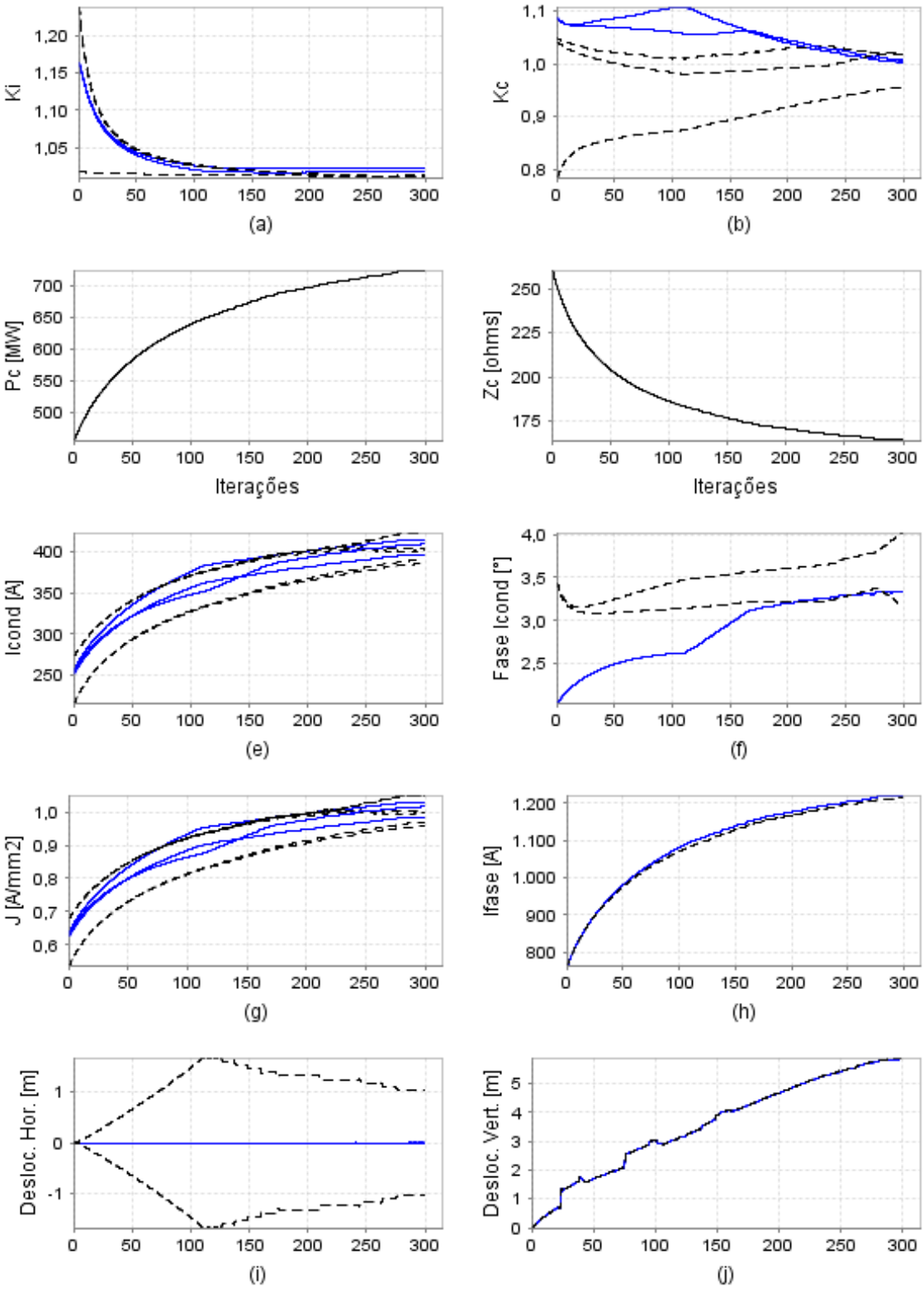

Figura H.111: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

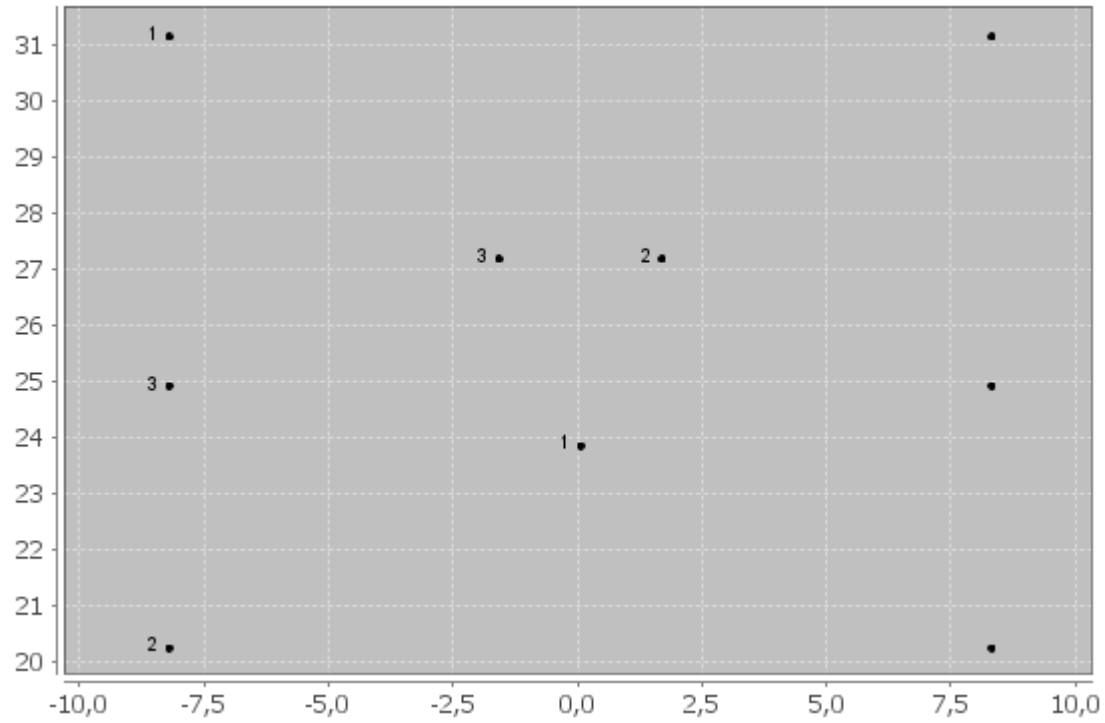

Figura H.112: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.71: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3							Média	Desvio
Ki * Kc	1,025	1,026	1,026							1,026	0,000
Ki	1,019	1,023	1,023							1,021	0,004
Kc	1,007	1,003	1,003							1,004	0,003
Icond [A]	409	397	415							407	13
Esup [kV/cm]	18,8	18,8	18,8							18,8	0,0

Tabela H.72: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo DRAKE a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3							Média	Desvio
Ki * Kc	1,028	1,032	0,967							1,009	0,052
Ki	1,010	1,011	1,012							1,011	0,002
Kc	1,018	1,021	0,955							0,998	0,053
Icond [A]	423	405	386							405	27
Esup [kV/cm]	18,9	18,9	17,7							18,5	0,9

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	3

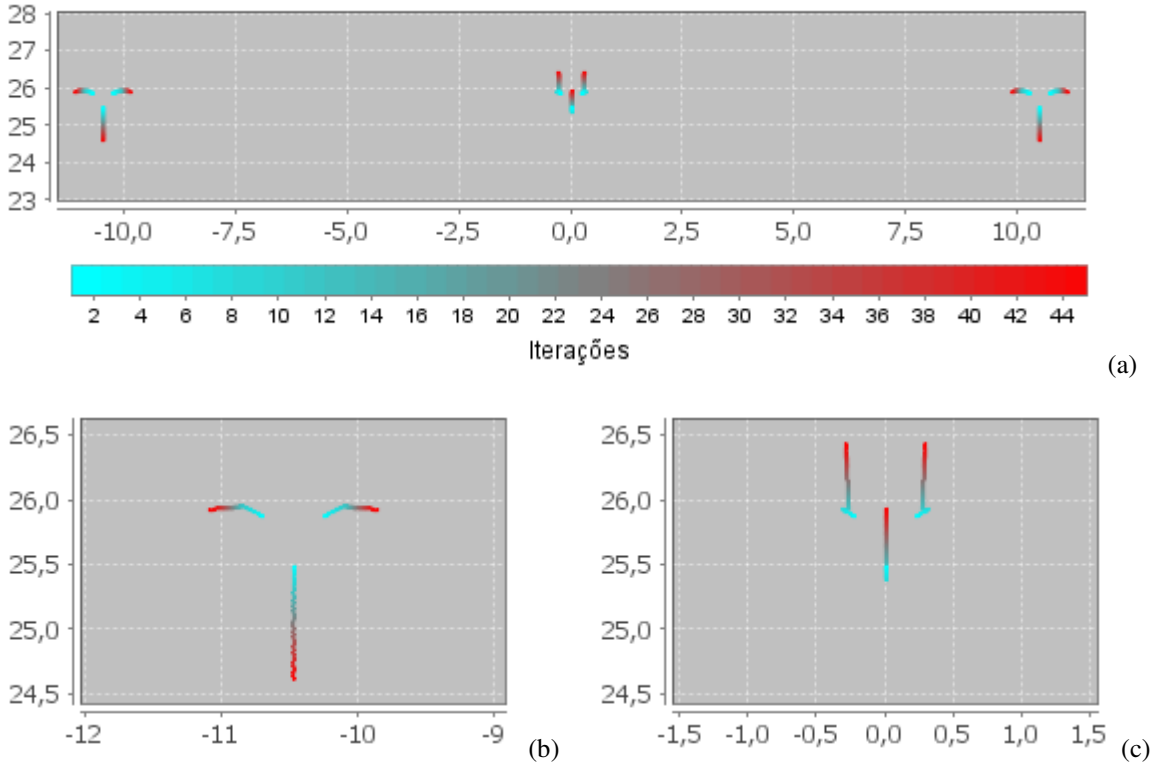

Figura H.113: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (7), 2-I (7), 3-I (7), 1-E (42)

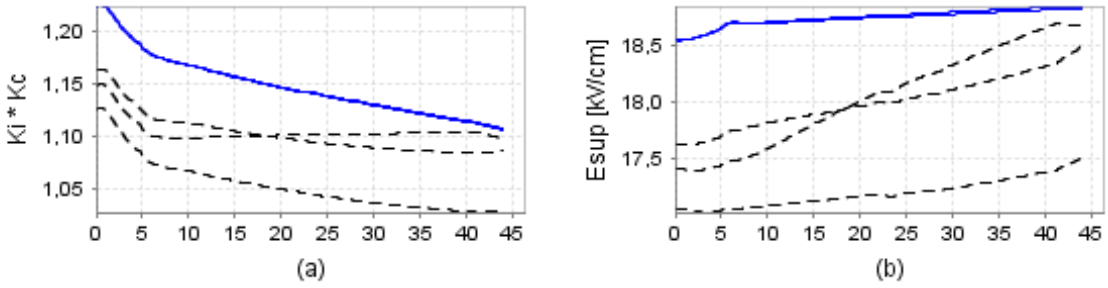

Figura H.114: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

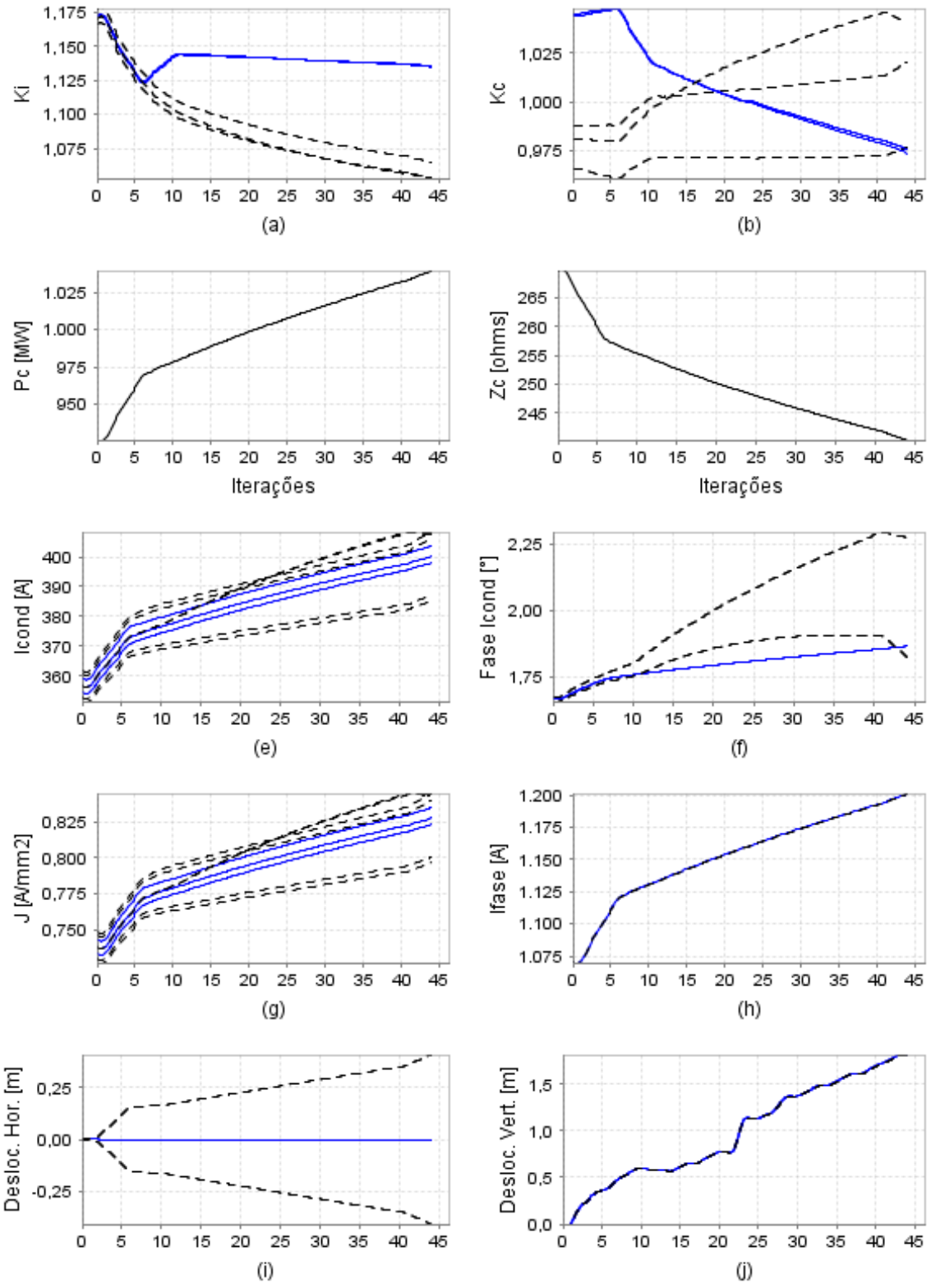

Figura H.115: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

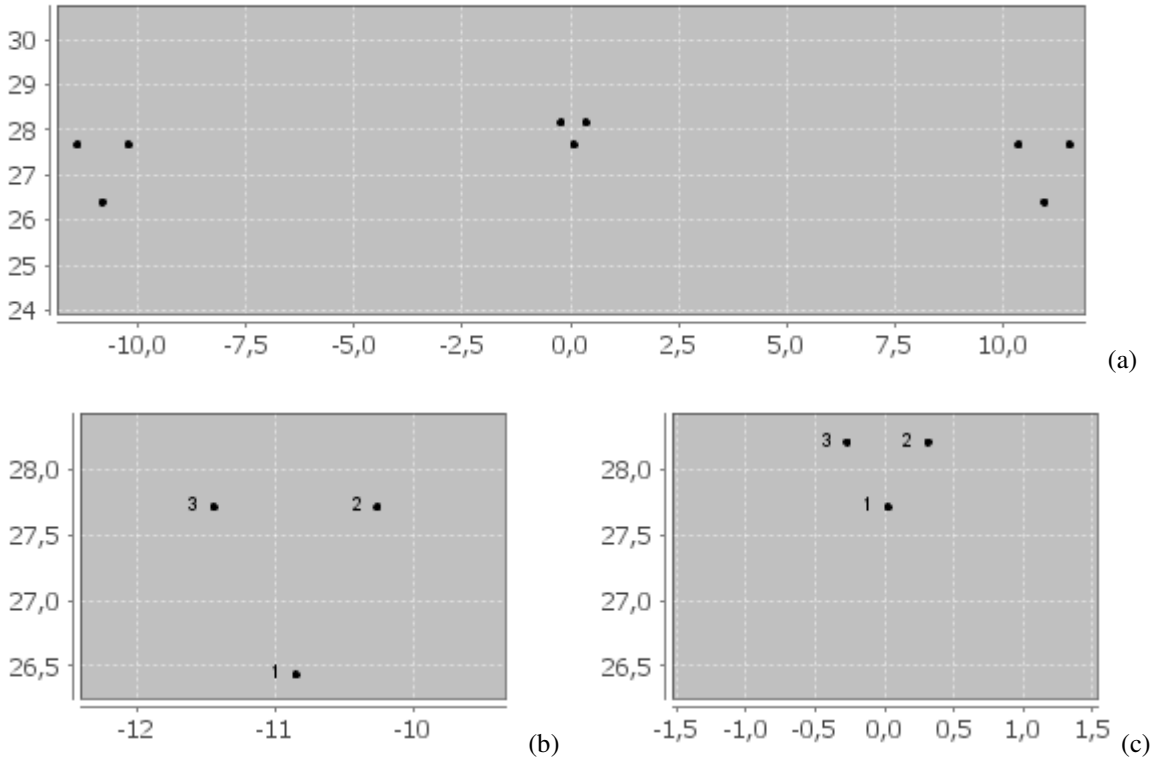

Figura H.116: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela H.73: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,108	1,109	1,109								1,109	0,001
Ki	1,136	1,135	1,135								1,136	0,001
Kc	0,975	0,977	0,977								0,976	0,002
Icond [A]	399	397	403								400	4
Esup [kV/cm]	18,8	18,8	18,8								18,8	0,0

Tabela H.74: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,099	1,085	1,028								1,071	0,054
Ki	1,054	1,066	1,054								1,058	0,010
Kc	1,043	1,018	0,975								1,012	0,049
Icond [A]	408	405	386								400	17
Esup [kV/cm]	18,7	18,4	17,5								18,2	0,9

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	4

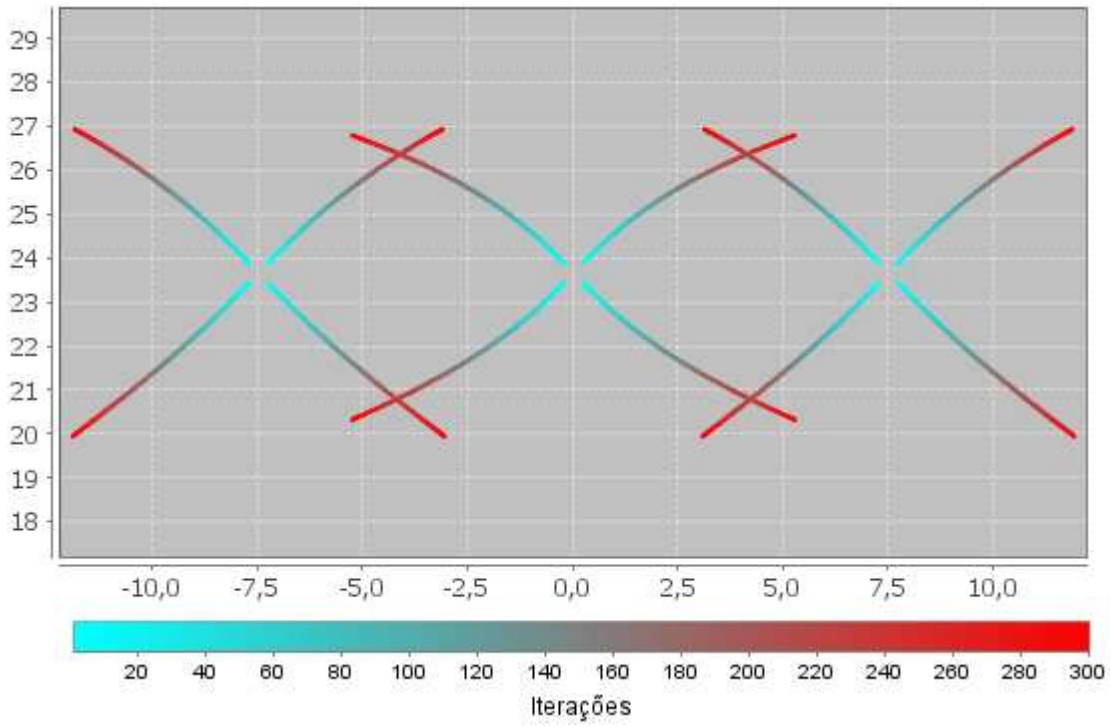

Figura H.117: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

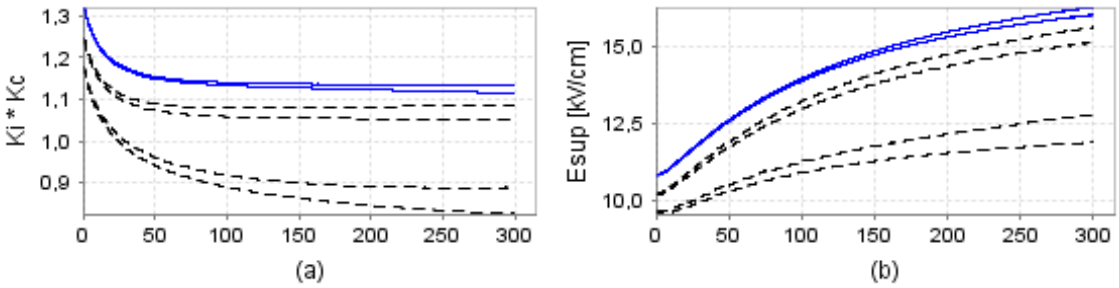

Figura H.118: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

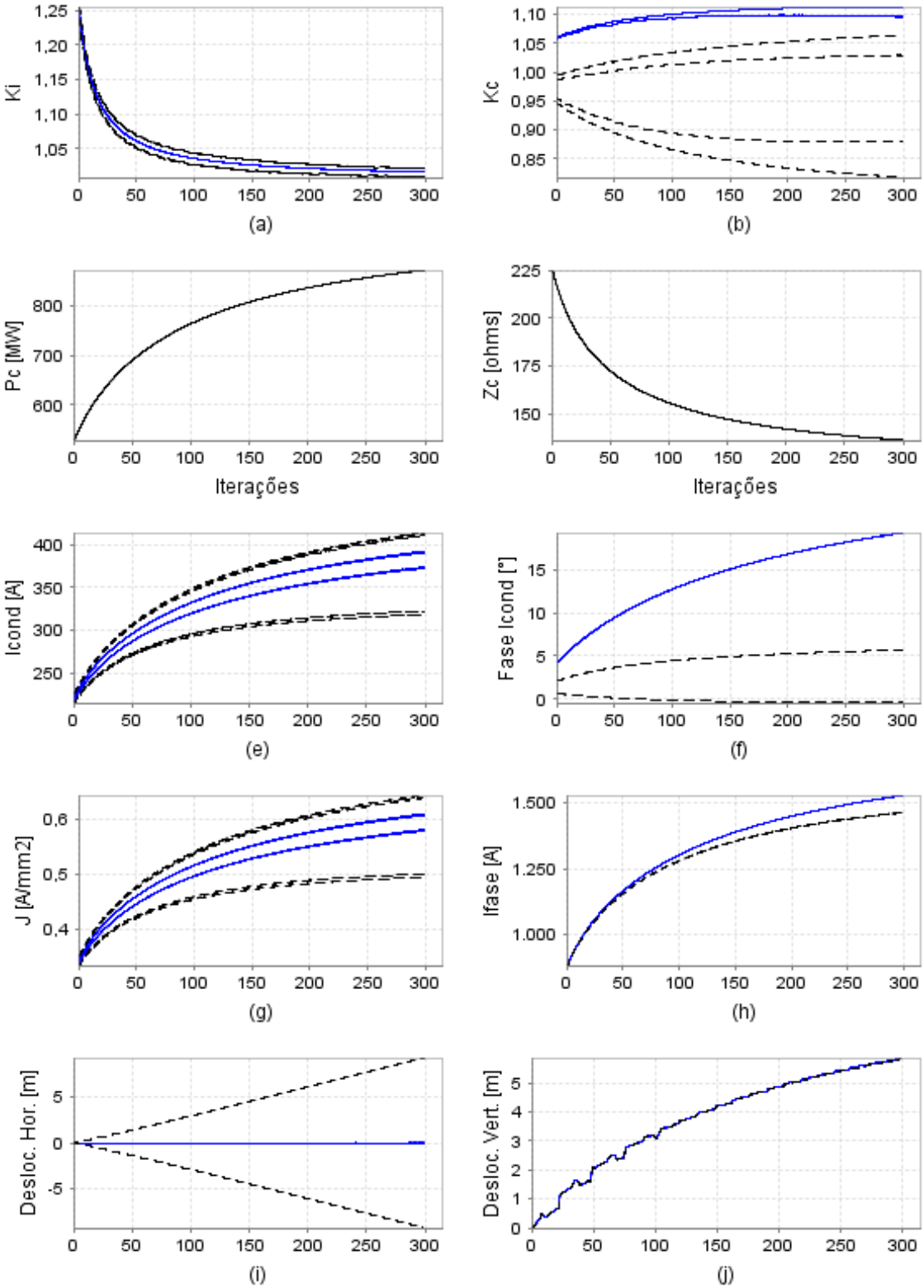

Figura H.119: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

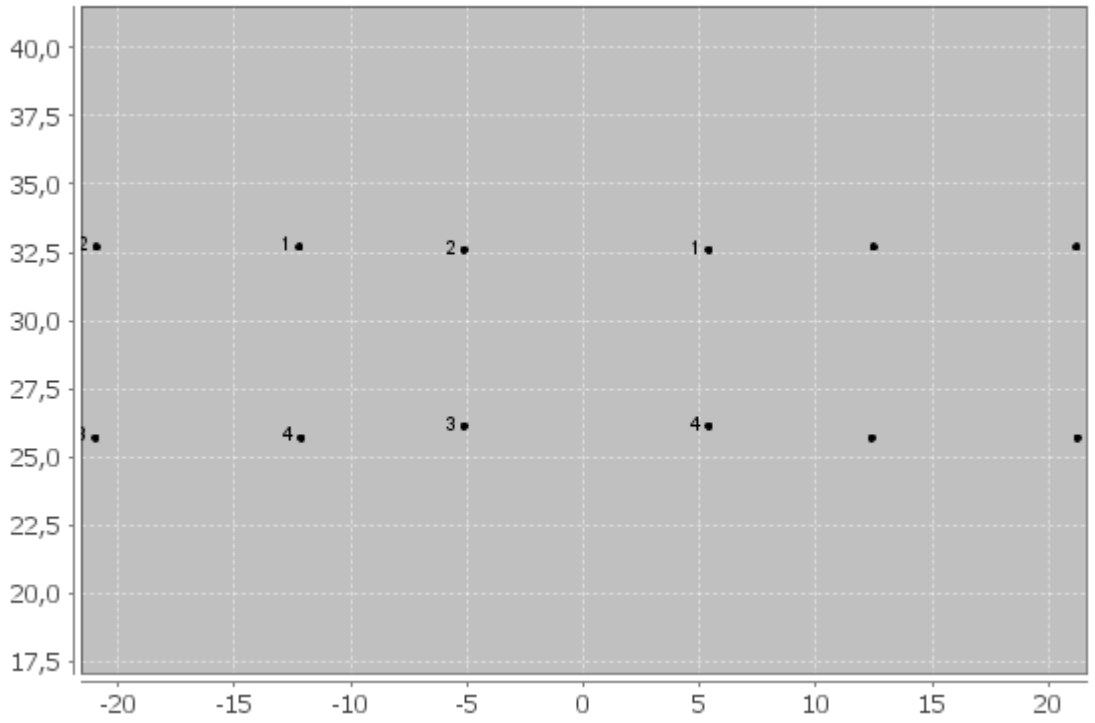

Figura H.120: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.75: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,114	1,114	1,132	1,132							1,123	0,017
Ki	1,017	1,017	1,017	1,017							1,017	0,000
Kc	1,096	1,096	1,113	1,113							1,105	0,017
Icond [A]	372	390	392	373							382	18
Esup [kV/cm]	16,0	16,0	16,2	16,2							16,1	0,2

Tabela H.76: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,052	0,826	0,888	1,086							0,963	0,217
Ki	1,022	1,010	1,009	1,021							1,016	0,012
Kc	1,029	0,818	0,881	1,063							0,948	0,203
Icond [A]	410	322	322	410							366	88
Esup [kV/cm]	15,1	11,9	12,7	15,6							13,8	3,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	4

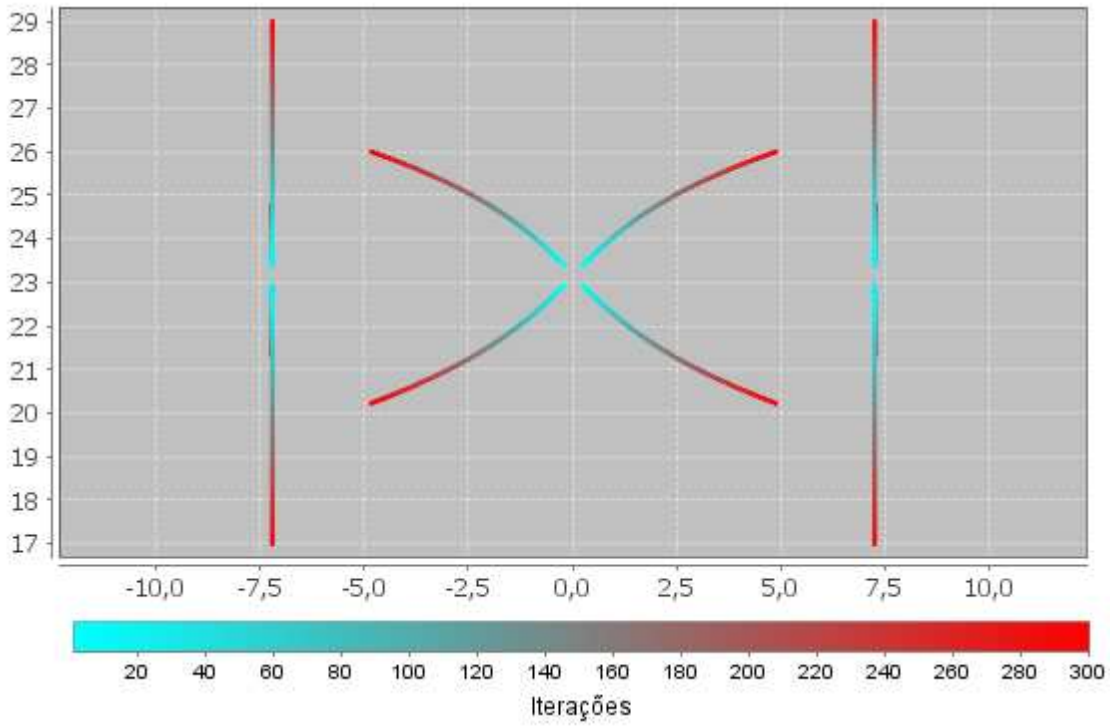

Figura H.121: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

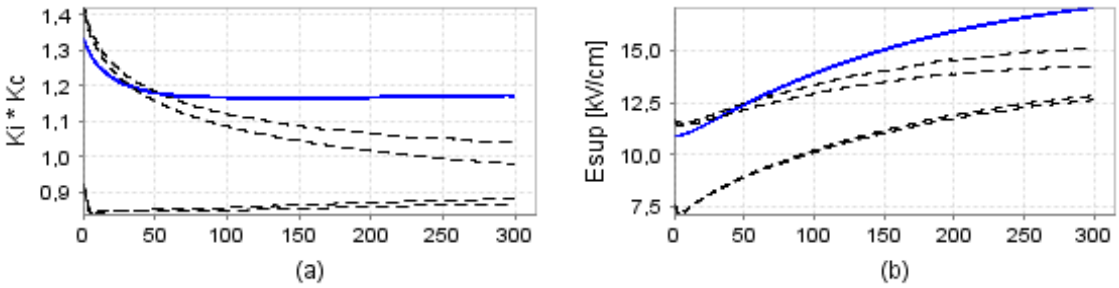

Figura H.122: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

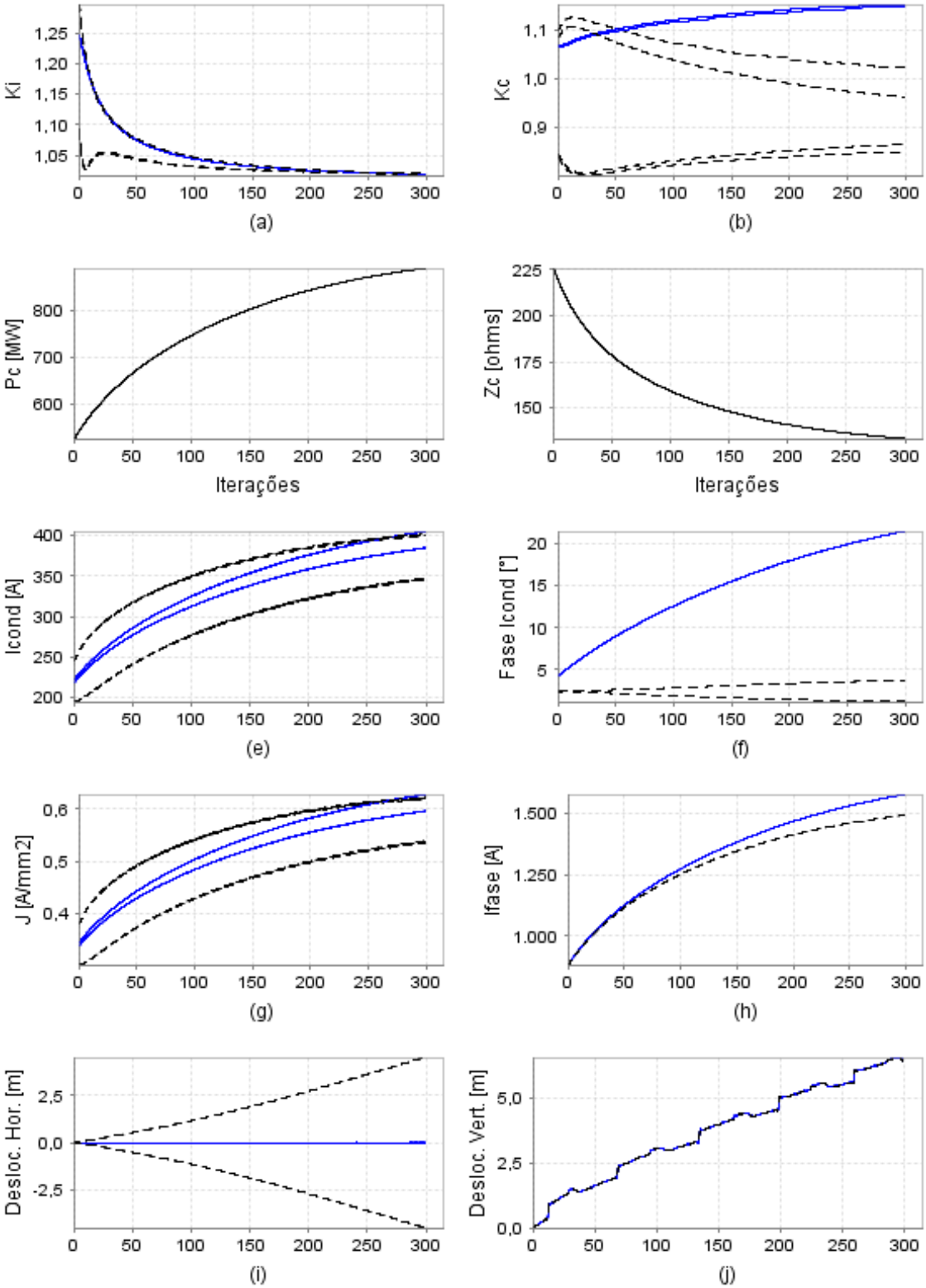

Figura H.123: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

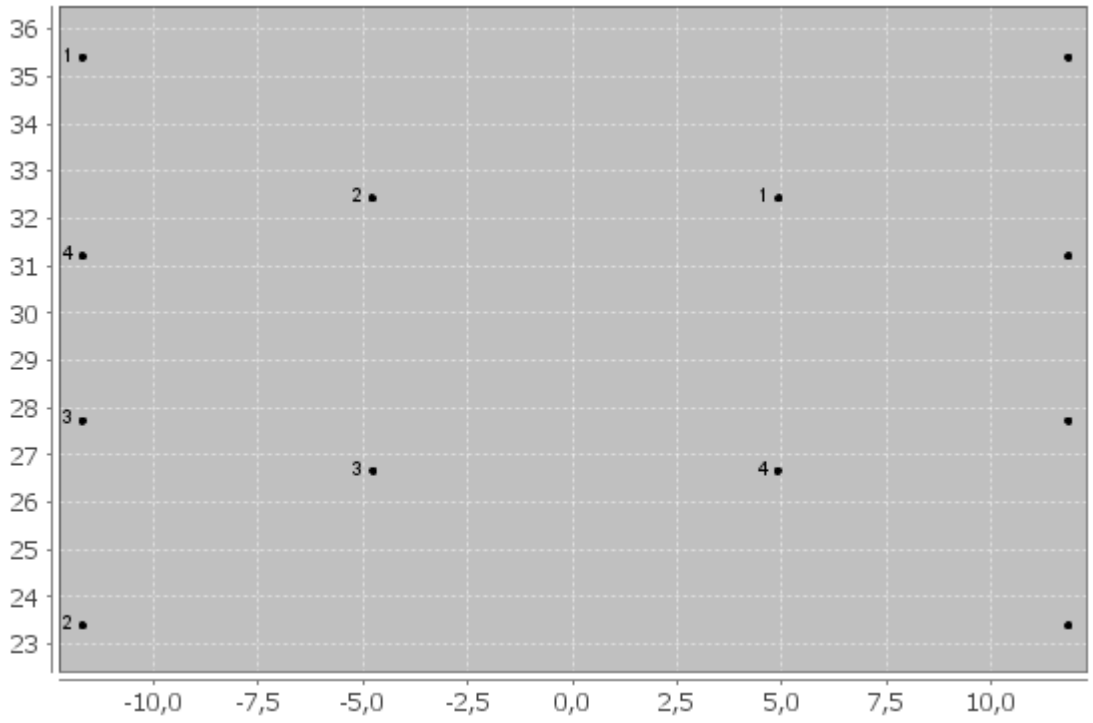

Figura H.124: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.77: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,170	1,170	1,174	1,174							1,172	0,004
Ki	1,019	1,019	1,019	1,019							1,019	0,000
Kc	1,148	1,148	1,152	1,152							1,150	0,004
Icond [A]	384	404	405	384							394	20
Esup [kV/cm]	17,0	17,0	17,1	17,1							17,1	0,1

Tabela H.78: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	0,980	1,040	0,881	0,867							0,942	0,143
Ki	1,019	1,017	1,019	1,020							1,019	0,002
Kc	0,962	1,023	0,865	0,850							0,925	0,142
Icond [A]	400	401	346	345							373	55
Esup [kV/cm]	14,3	15,2	12,8	12,6							13,7	2,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	4

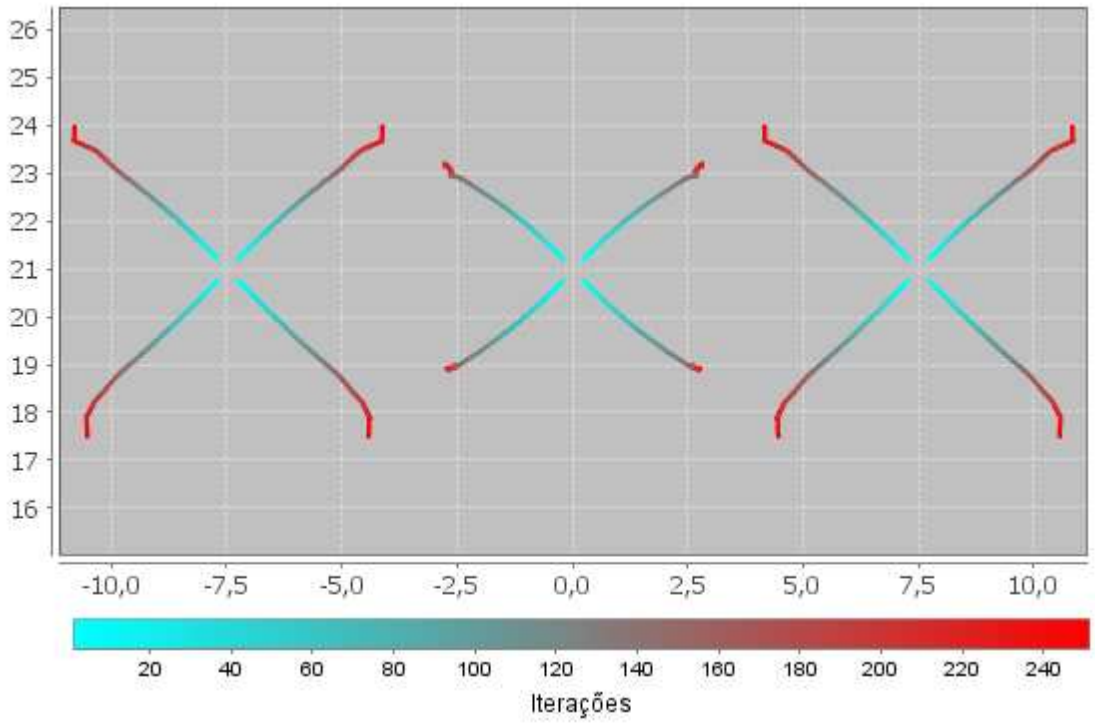

Figura H.125: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 3-I (146), 4-I (146), 1-I (154), 2-I (154), 4-E (198), 1-E (229)

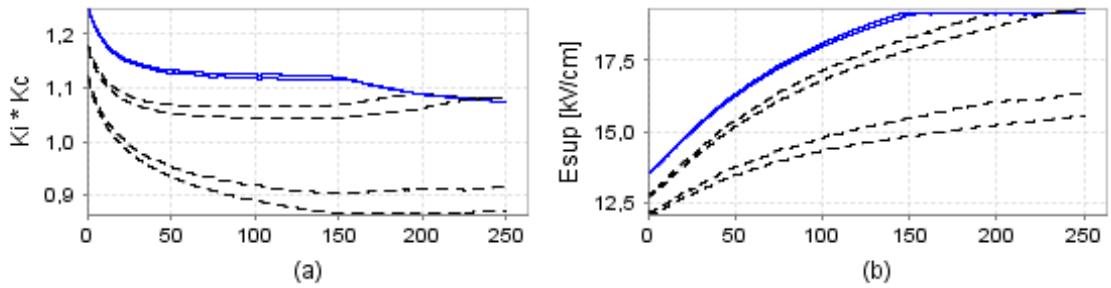

Figura H.126: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

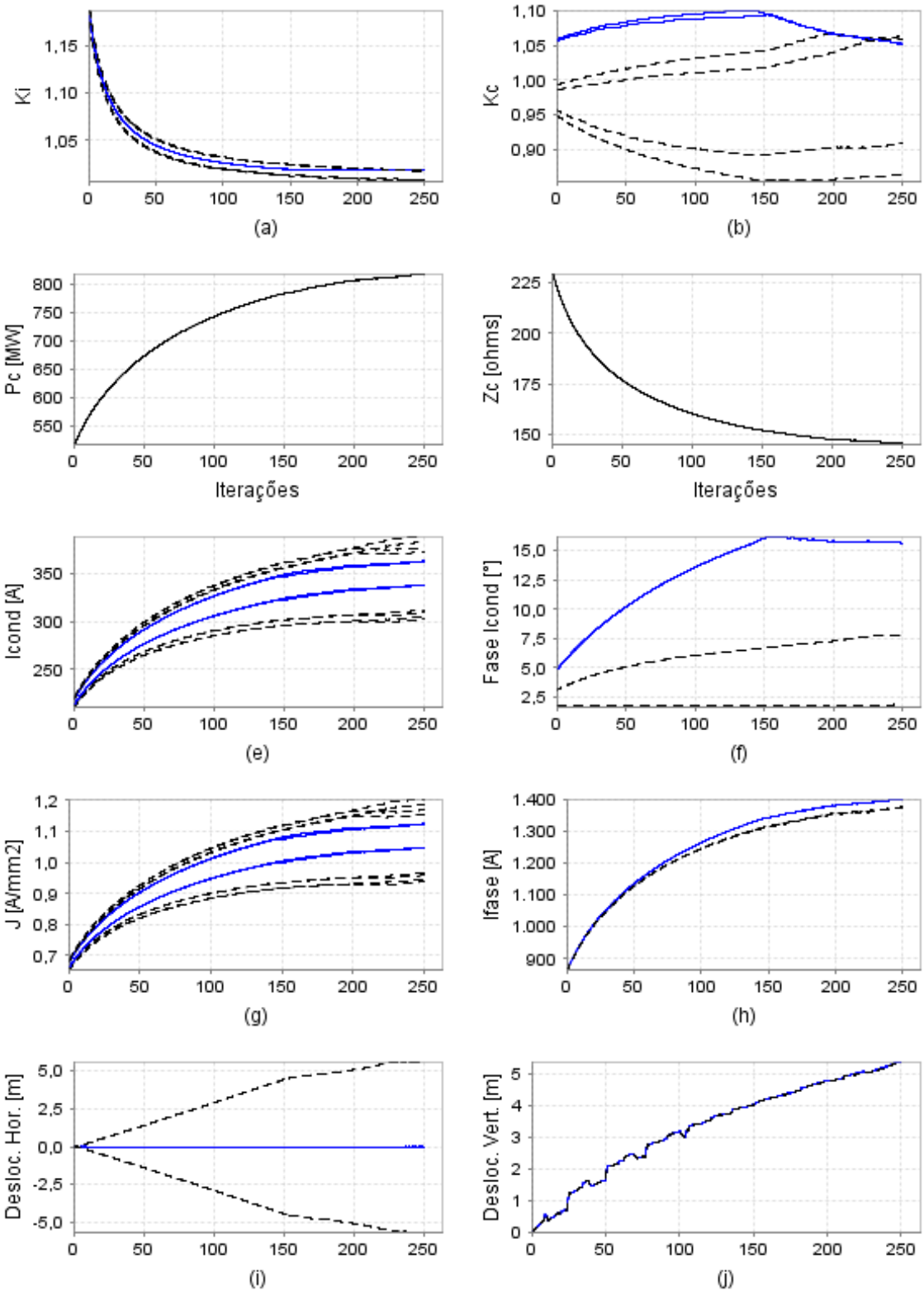

Figura H.127: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

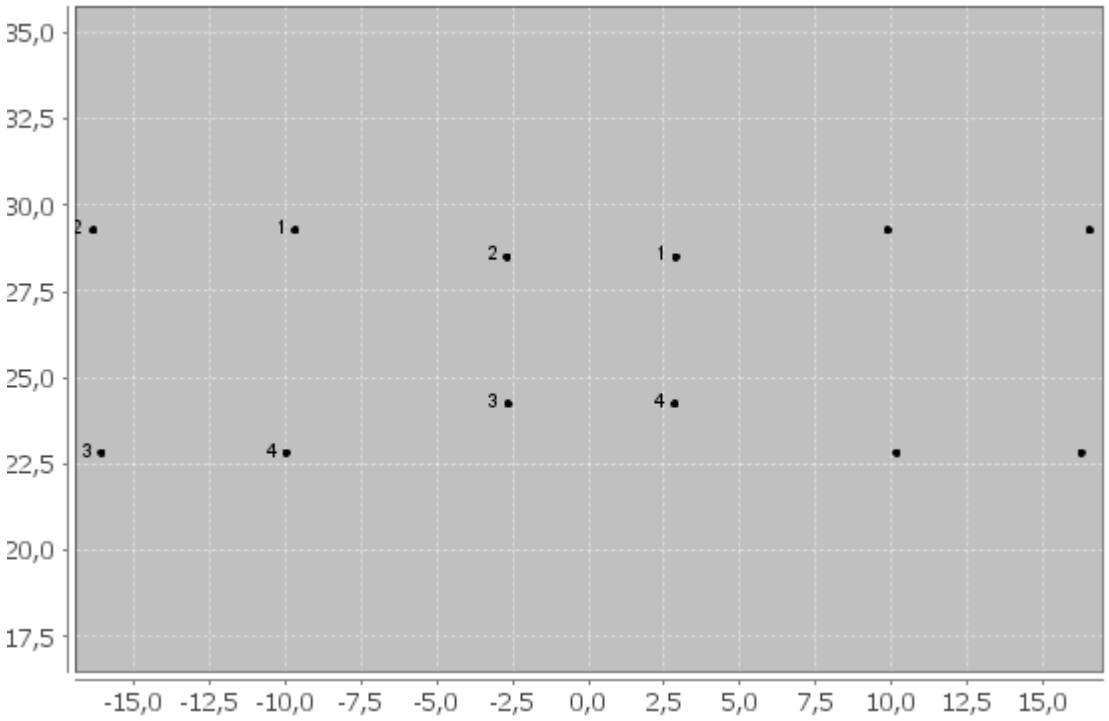

Figura H.128: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.79: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,072	1,072	1,073	1,073							1,073	0,001
Ki	1,019	1,019	1,019	1,019							1,019	0,000
Kc	1,053	1,053	1,053	1,053							1,053	0,001
Icond [A]	338	363	362	338							350	24
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	19,2	19,2							19,2	0,0

Tabela H.80: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,080	0,870	0,915	1,082							0,987	0,191
Ki	1,019	1,009	1,008	1,018							1,013	0,010
Kc	1,060	0,863	0,908	1,063							0,974	0,179
Icond [A]	382	312	309	372							344	67
Esup [kV/cm]	19,3	15,5	16,4	19,3							17,6	3,4

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	LINNET
Nsub	4

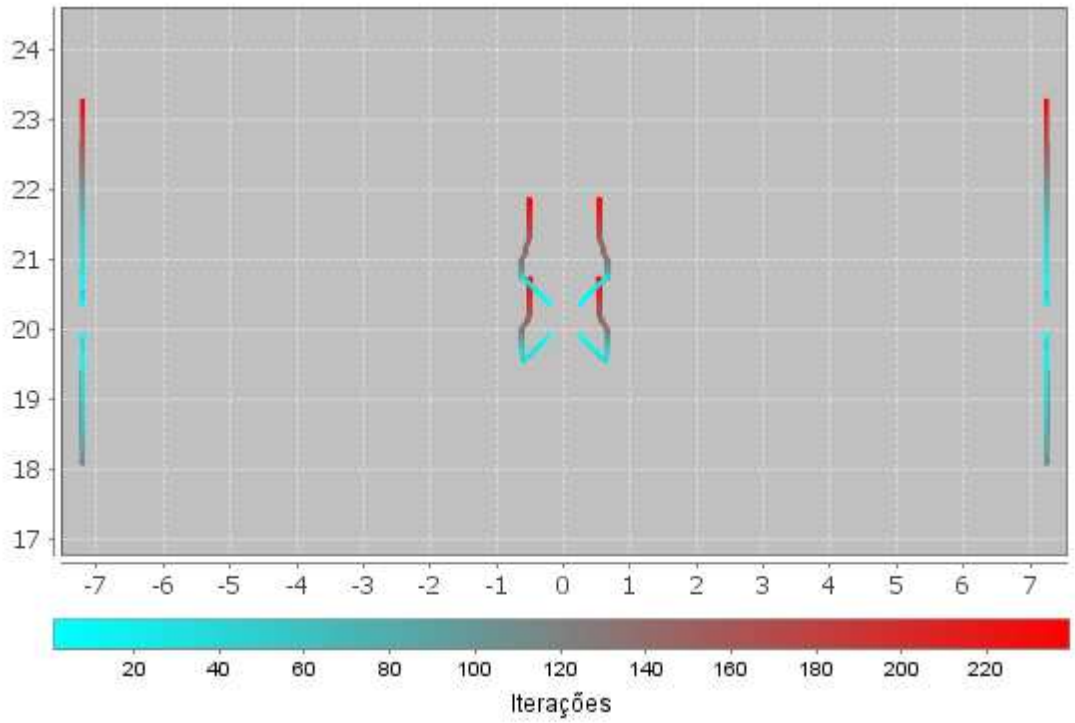

Figura H.129: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-E (36), 3-I (38), 4-I (38), 1-I (39), 2-I (39), 1-E (44)

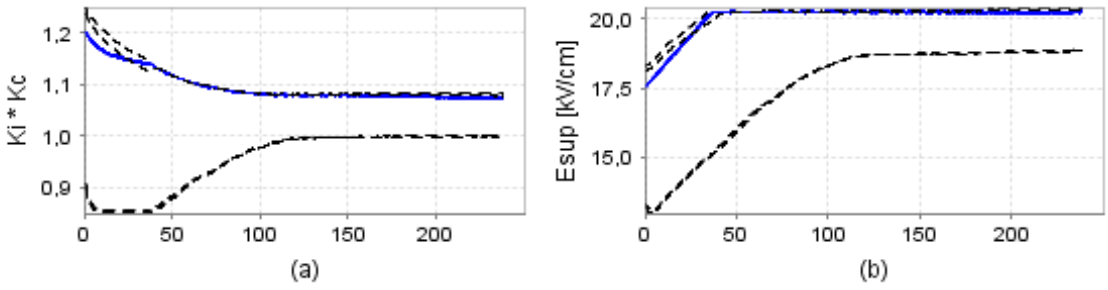

Figura H.130: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

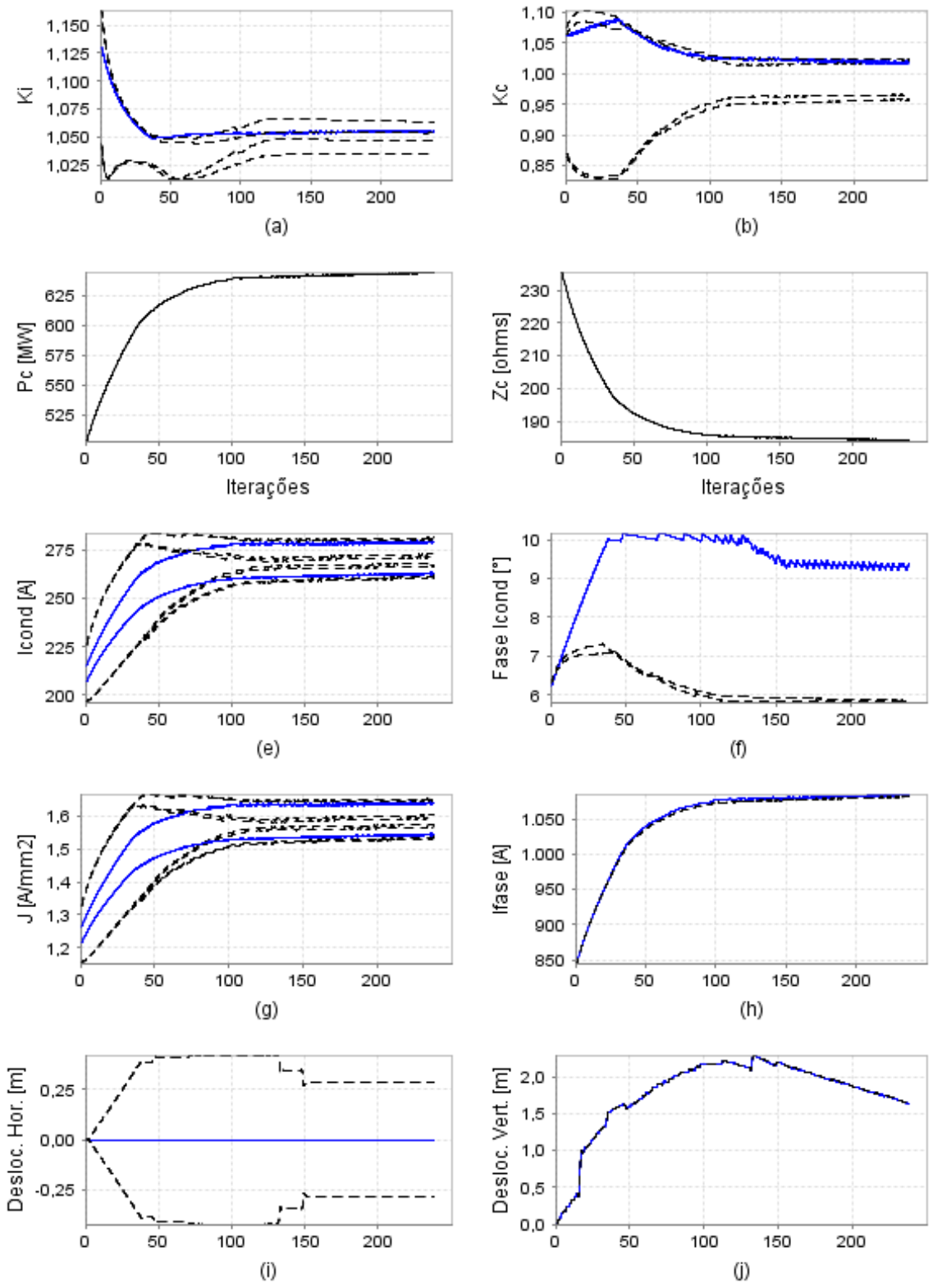

Figura H.131: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

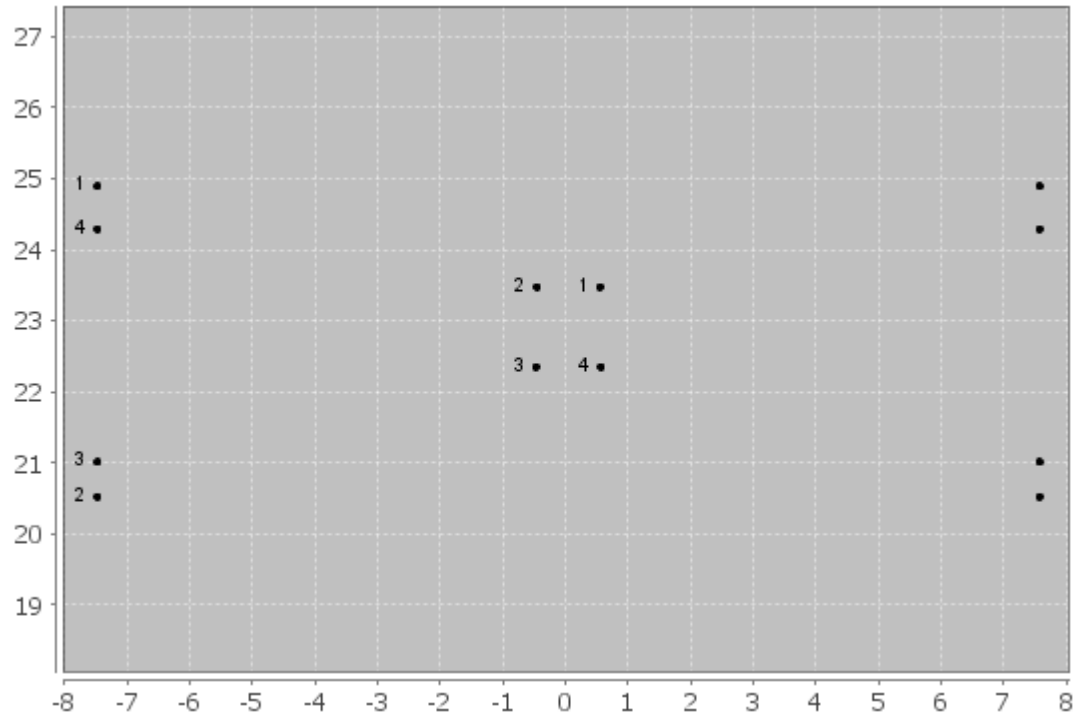

Figura H.132: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.81: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,072	1,072	1,075	1,075							1,074	0,003
Ki	1,055	1,055	1,055	1,055							1,055	0,000
Kc	1,016	1,016	1,019	1,019							1,018	0,002
Icond [A]	263	279	280	263							271	16
Esup [kV/cm]	20,2	20,2	20,3	20,3							20,2	0,1

Tabela H.82: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo LINNET a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,078	1,084	1,003	0,999							1,041	0,080
Ki	1,054	1,064	1,047	1,035							1,050	0,021
Kc	1,023	1,019	0,958	0,965							0,991	0,060
Icond [A]	281	273	261	267							270	15
Esup [kV/cm]	20,3	20,4	18,9	18,8							19,6	1,5

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	5

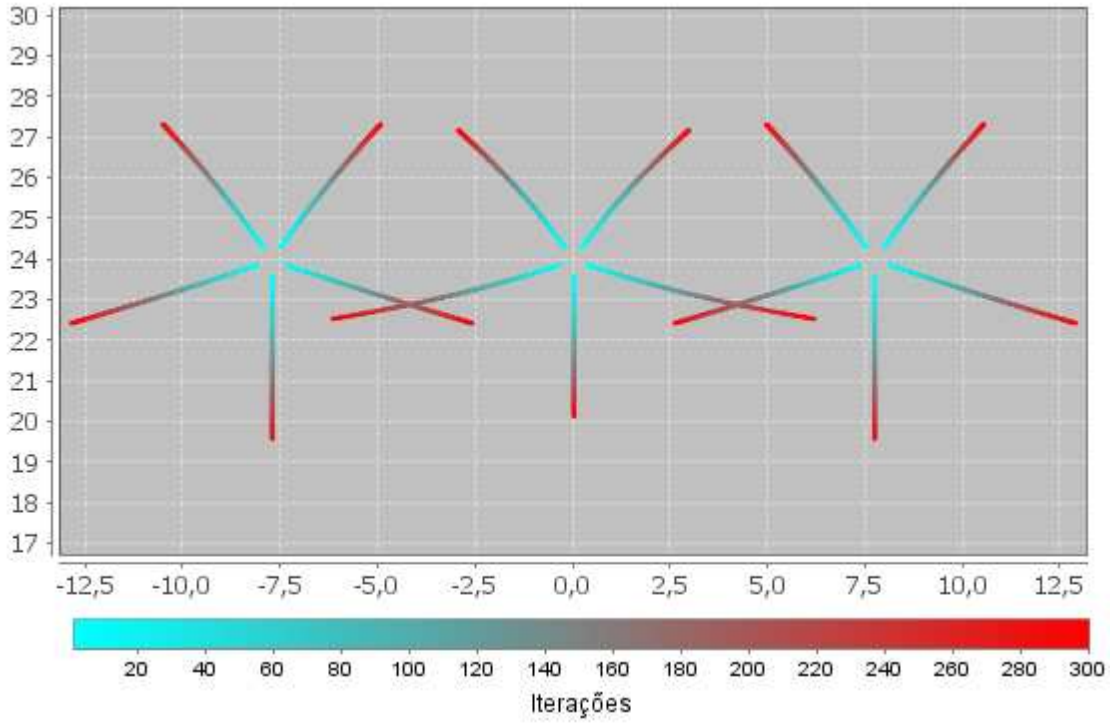

Figura H.133: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

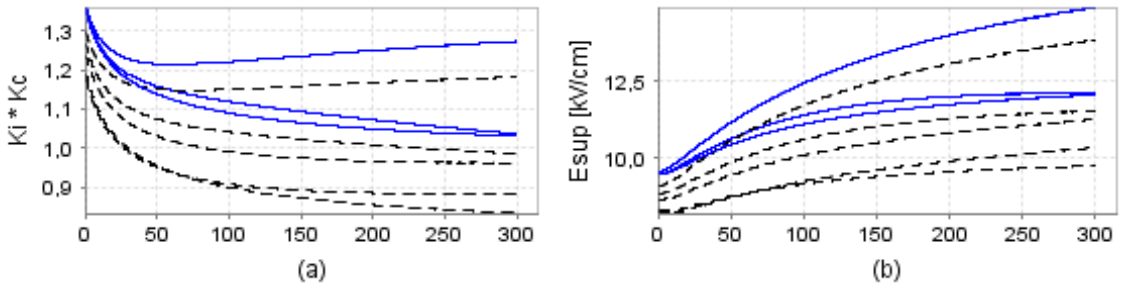

Figura H.134: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

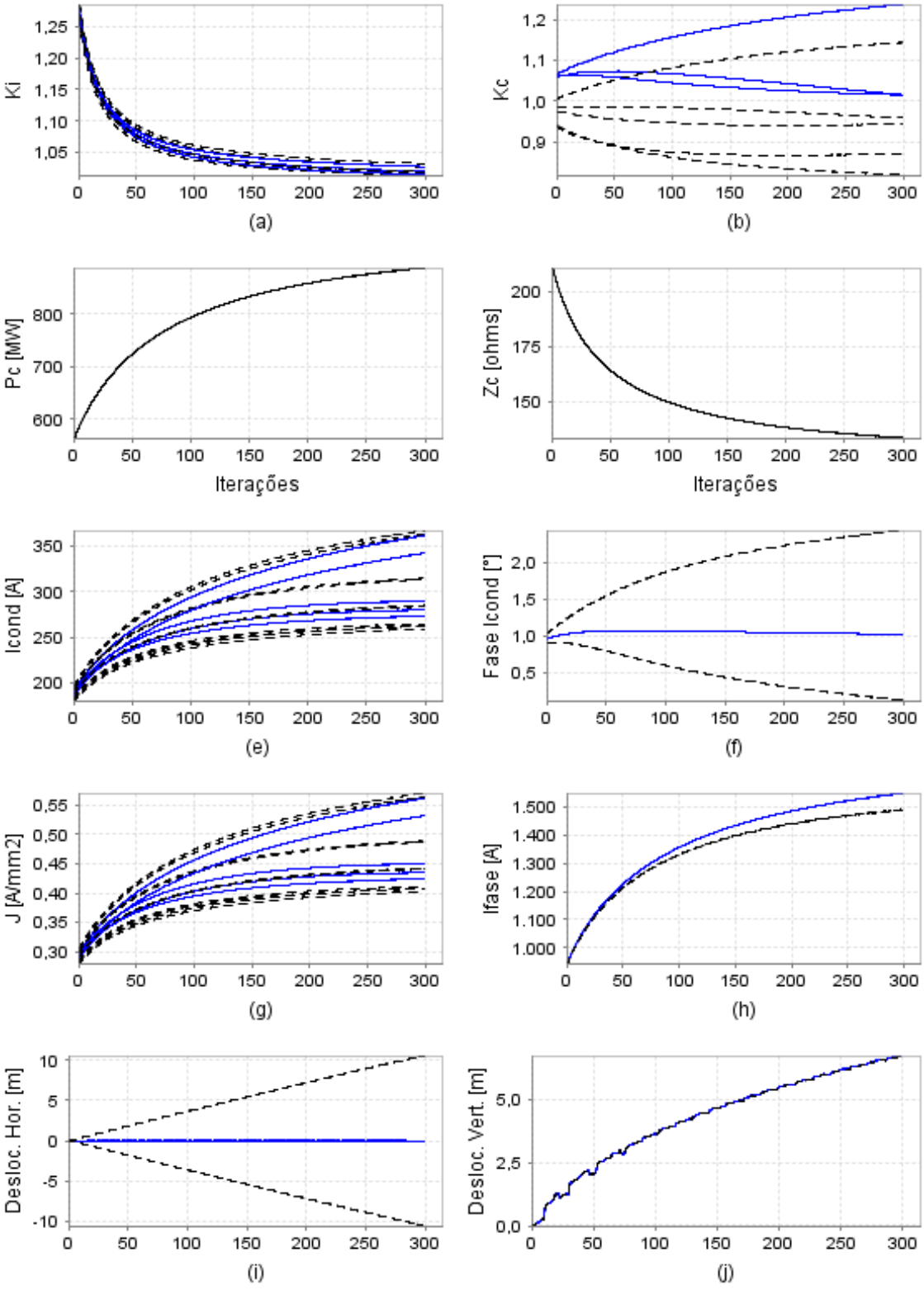

Figura H.135: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

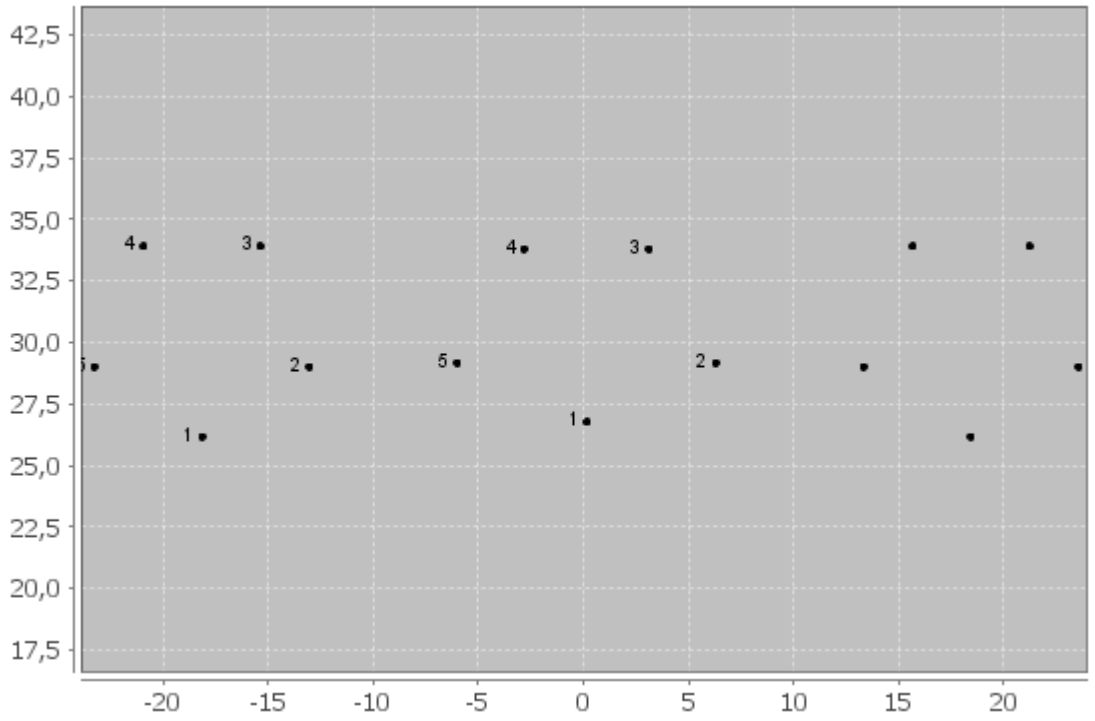

Figura H.136: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.83: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,032	1,272	1,037	1,037	1,272						1,130	0,260
Ki	1,016	1,028	1,020	1,020	1,028						1,022	0,011
Kc	1,016	1,238	1,016	1,016	1,238						1,105	0,243
Icond [A]	273	342	280	290	361						309	80
Esup [kV/cm]	12,1	14,9	12,1	12,1	14,9						13,2	3,0

Tabela H.84: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	0,963	1,182	0,986	0,834	0,884						0,970	0,266
Ki	1,020	1,033	1,028	1,018	1,015						1,023	0,015
Kc	0,944	1,144	0,959	0,819	0,871						0,948	0,247
Icond [A]	285	363	313	265	263						298	83
Esup [kV/cm]	11,3	13,8	11,5	9,8	10,3						11,3	3,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	5

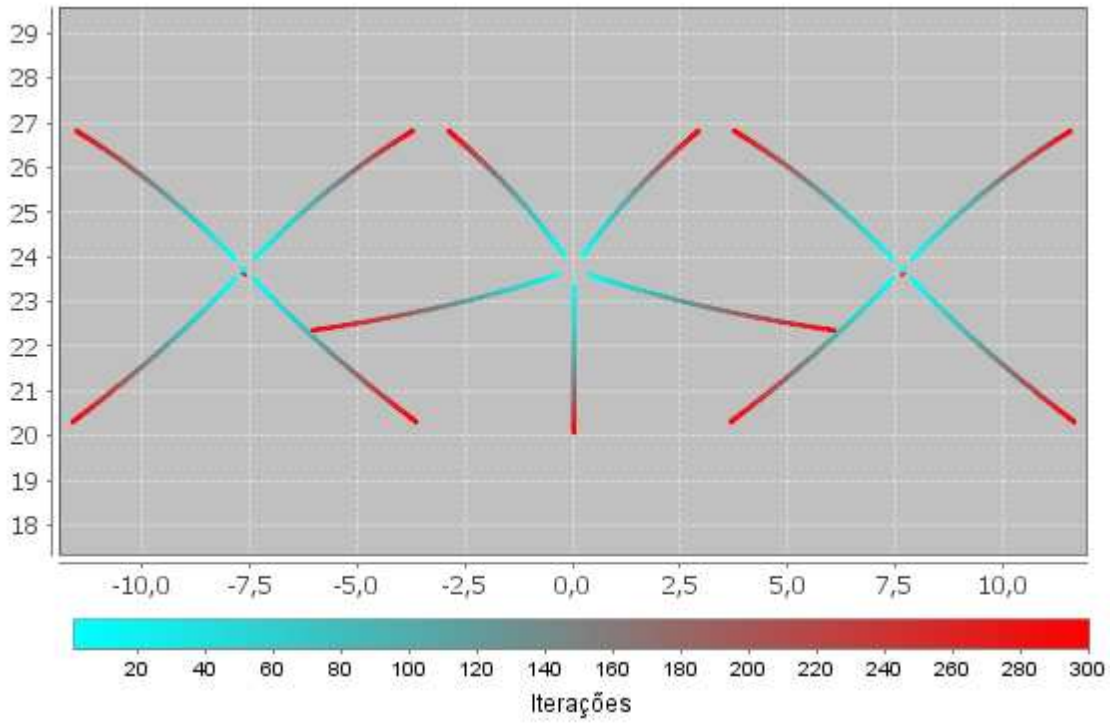

Figura H.137: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

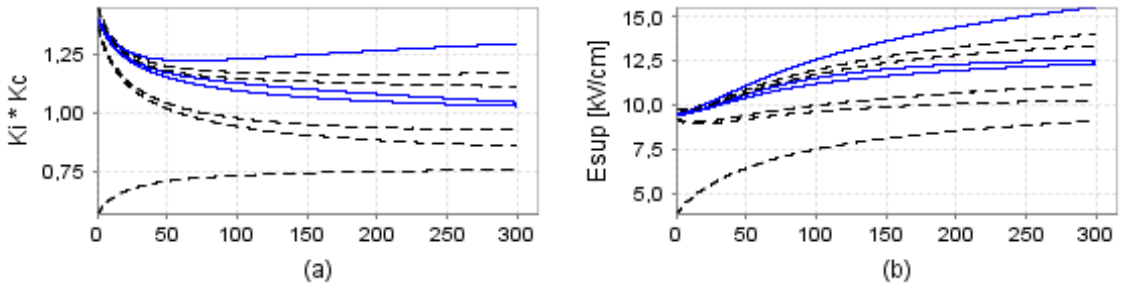

Figura H.138: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

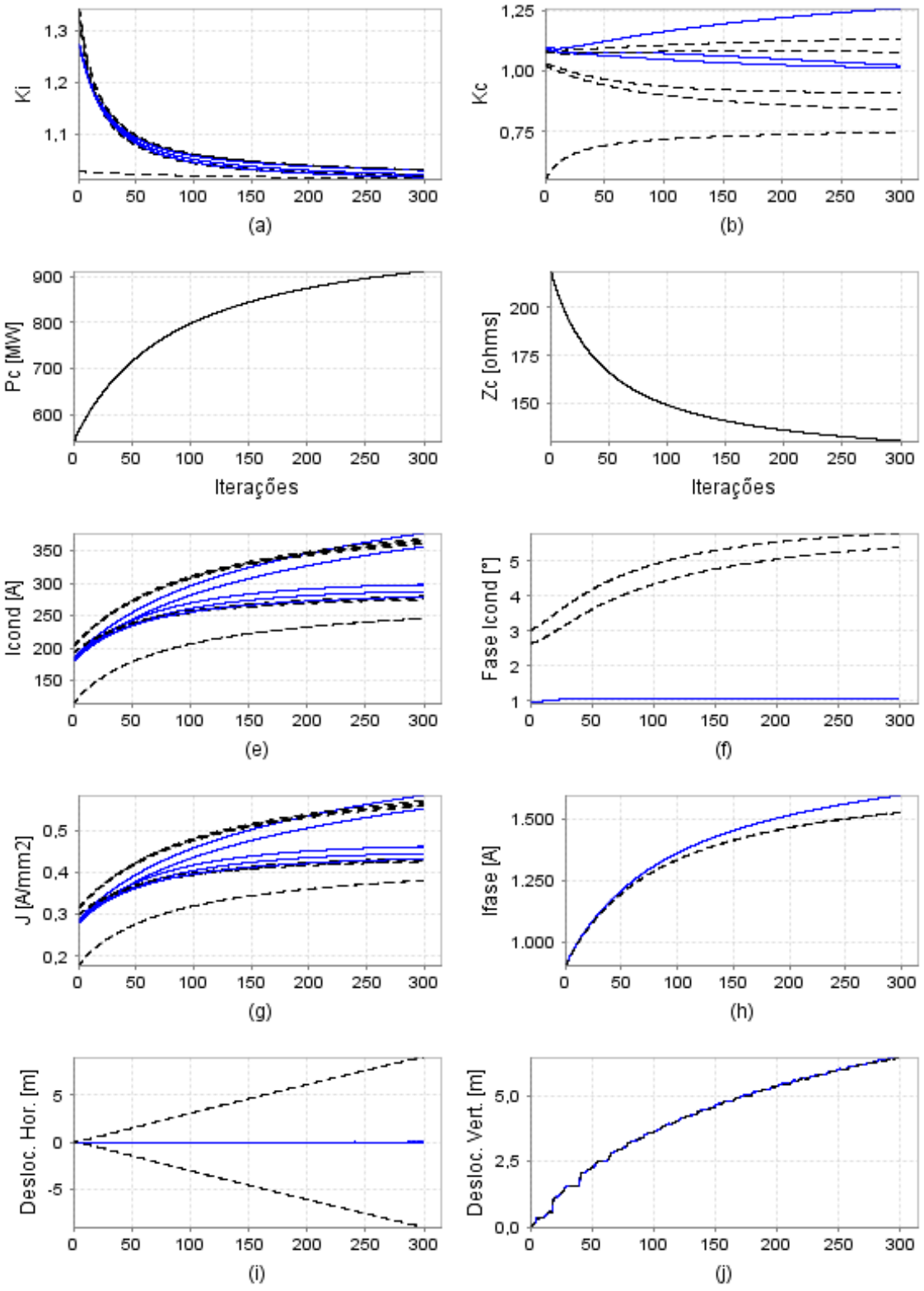

Figura H.139: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

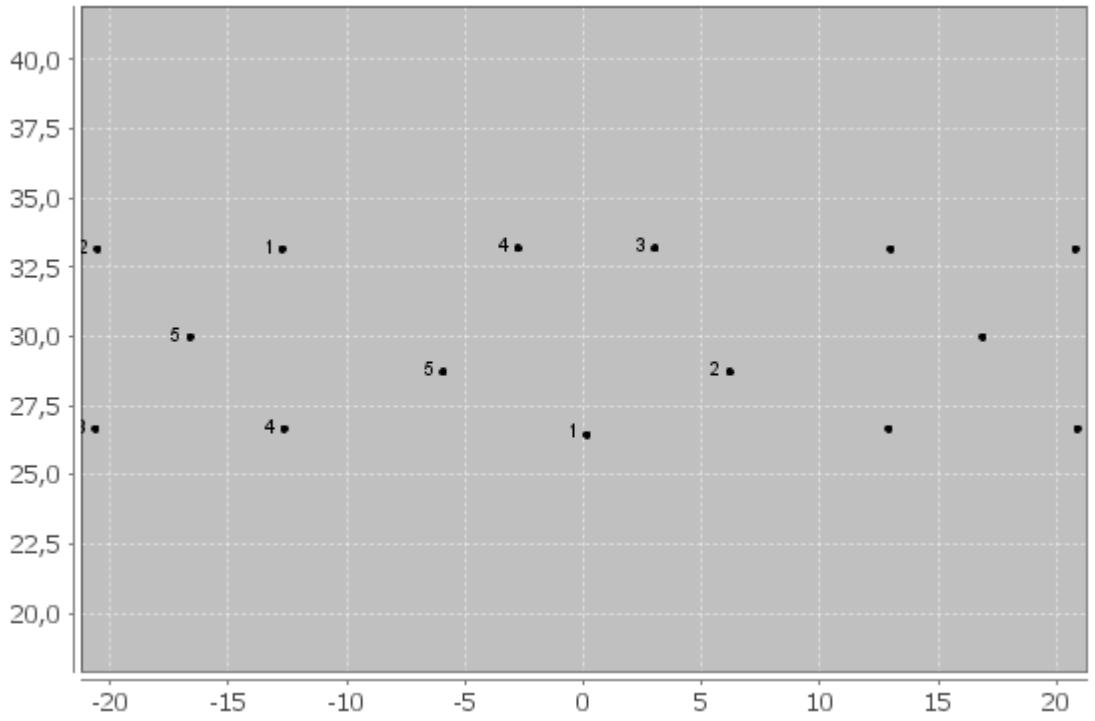

Figura H.140: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.85: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,029	1,294	1,045	1,045	1,294						1,141	0,279
Ki	1,016	1,029	1,021	1,021	1,029						1,023	0,011
Kc	1,013	1,258	1,024	1,024	1,258						1,115	0,260
Icond [A]	279	355	287	297	376						319	88
Esup [kV/cm]	12,3	15,5	12,5	12,5	15,5						13,7	3,3

Tabela H.86: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,111	0,856	0,928	1,167	0,757						0,964	0,344
Ki	1,031	1,019	1,016	1,030	1,013						1,022	0,016
Kc	1,078	0,841	0,913	1,133	0,748						0,943	0,322
Icond [A]	359	278	280	365	245						305	107
Esup [kV/cm]	13,3	10,3	11,1	14,0	9,1						11,6	4,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	5

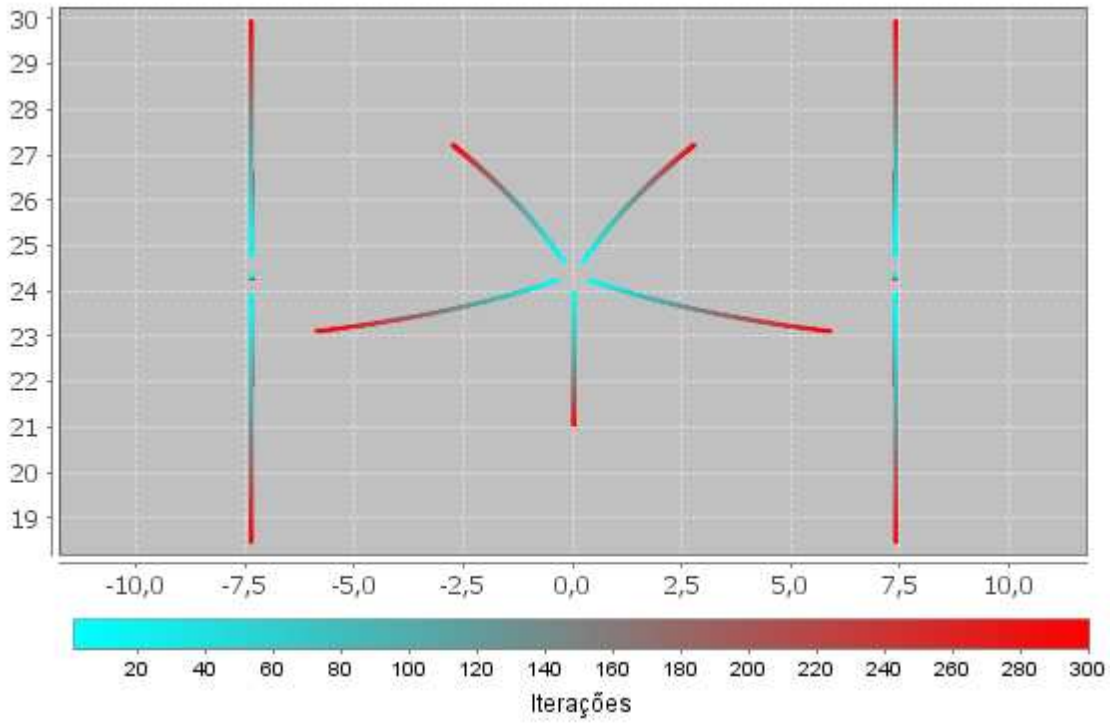

Figura H.141: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

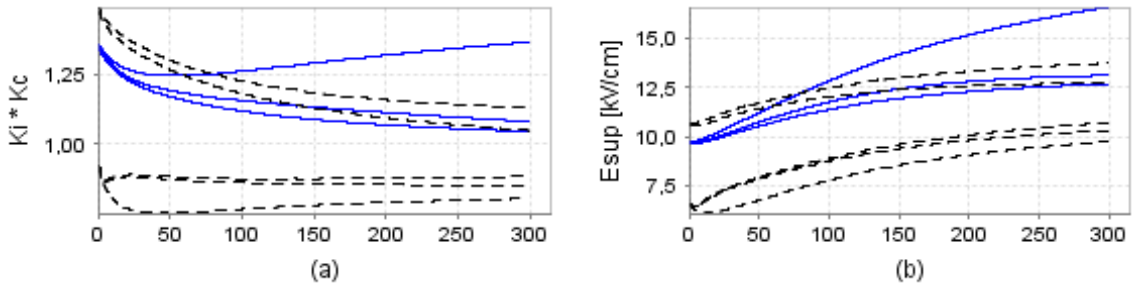

Figura H.142: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

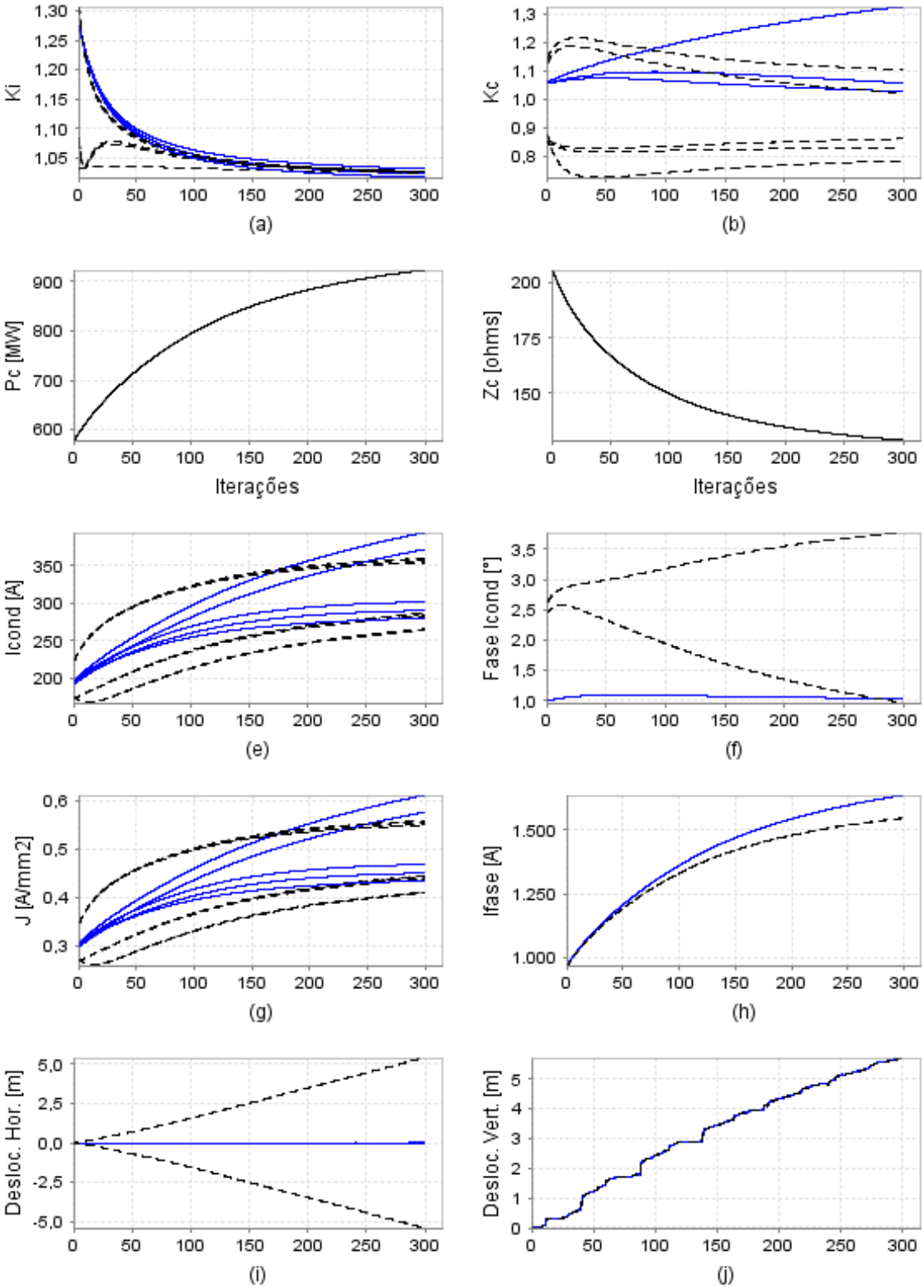

Figura H.143: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

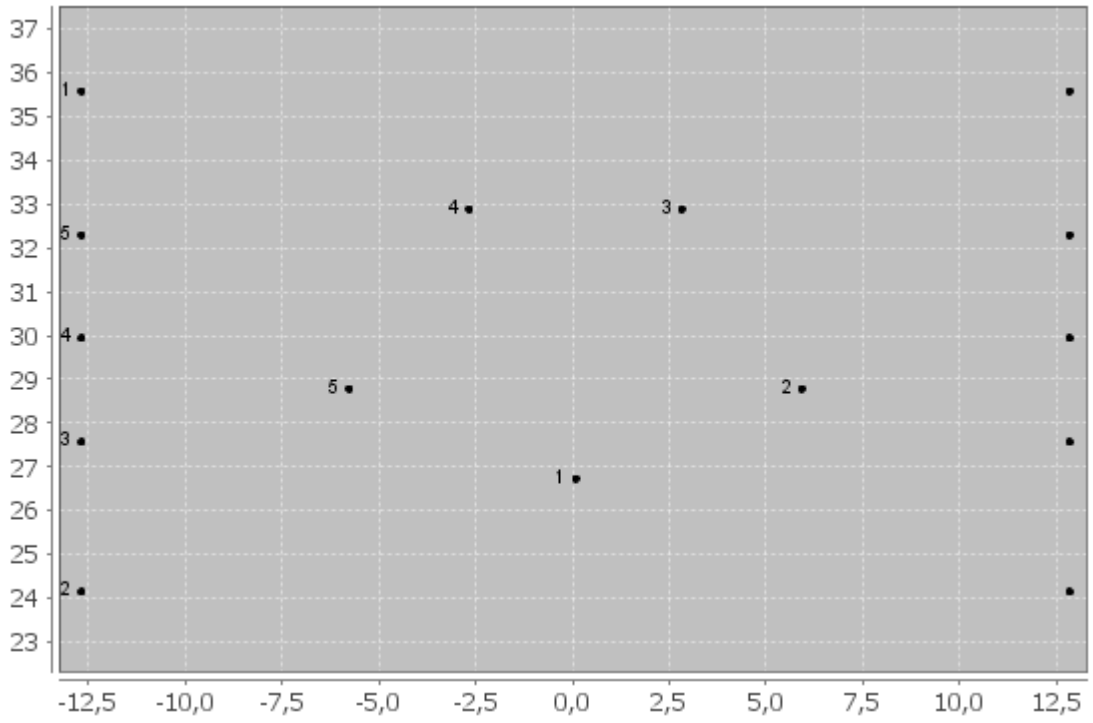

Figura H.144: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.87: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,046	1,367	1,081	1,081	1,367						1,188	0,327
Ki	1,017	1,031	1,022	1,022	1,031						1,025	0,012
Kc	1,029	1,326	1,058	1,058	1,326						1,159	0,305
Icond [A]	280	371	290	301	394						327	103
Esup [kV/cm]	12,7	16,6	13,1	13,1	16,6						14,4	4,0

Tabela H.88: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,050	1,132	0,883	0,804	0,850						0,944	0,281
Ki	1,026	1,024	1,026	1,025	1,027						1,025	0,002
Kc	1,023	1,106	0,861	0,784	0,828						0,920	0,275
Icond [A]	355	359	286	264	282						309	89
Esup [kV/cm]	12,7	13,7	10,7	9,8	10,3						11,5	3,4

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	5

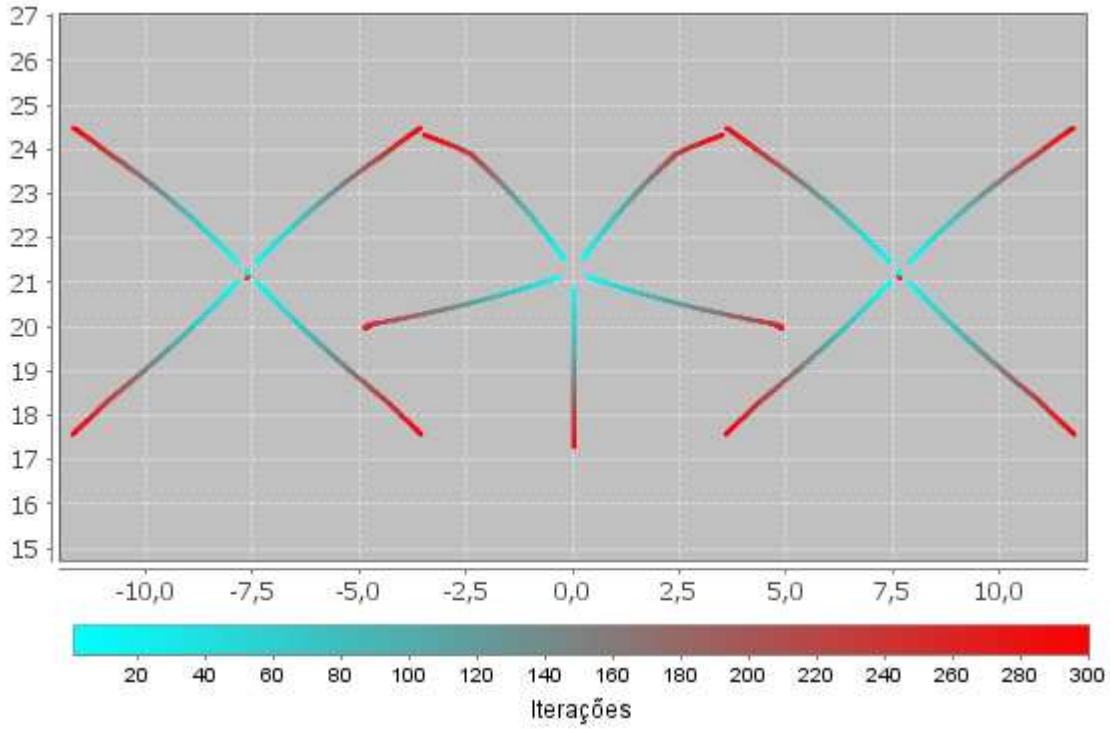

Figura H.145: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-I (231), 5-I (231)

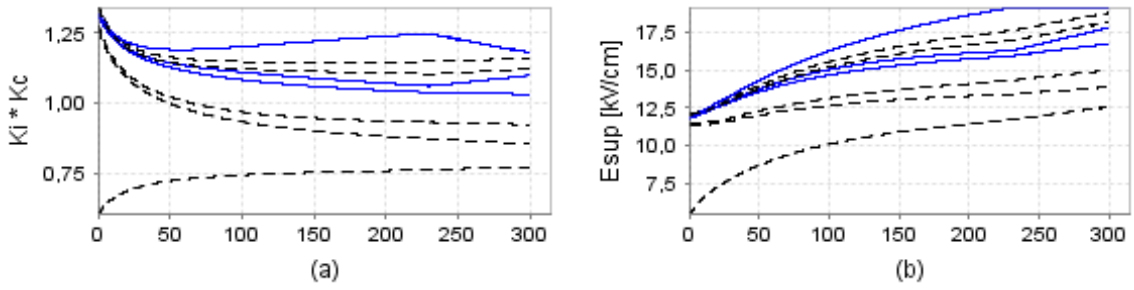

Figura H.146: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

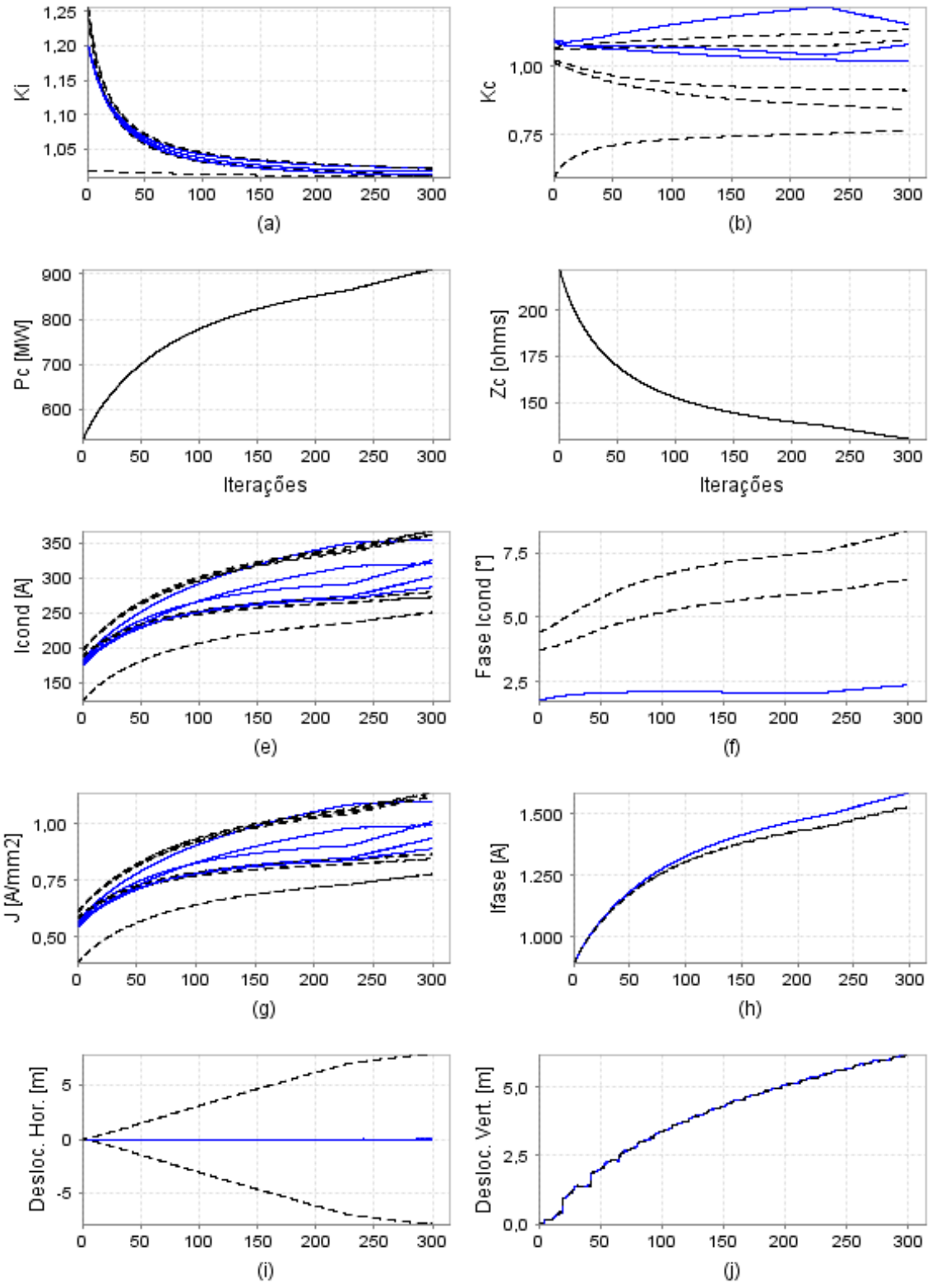

Figura H.147: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

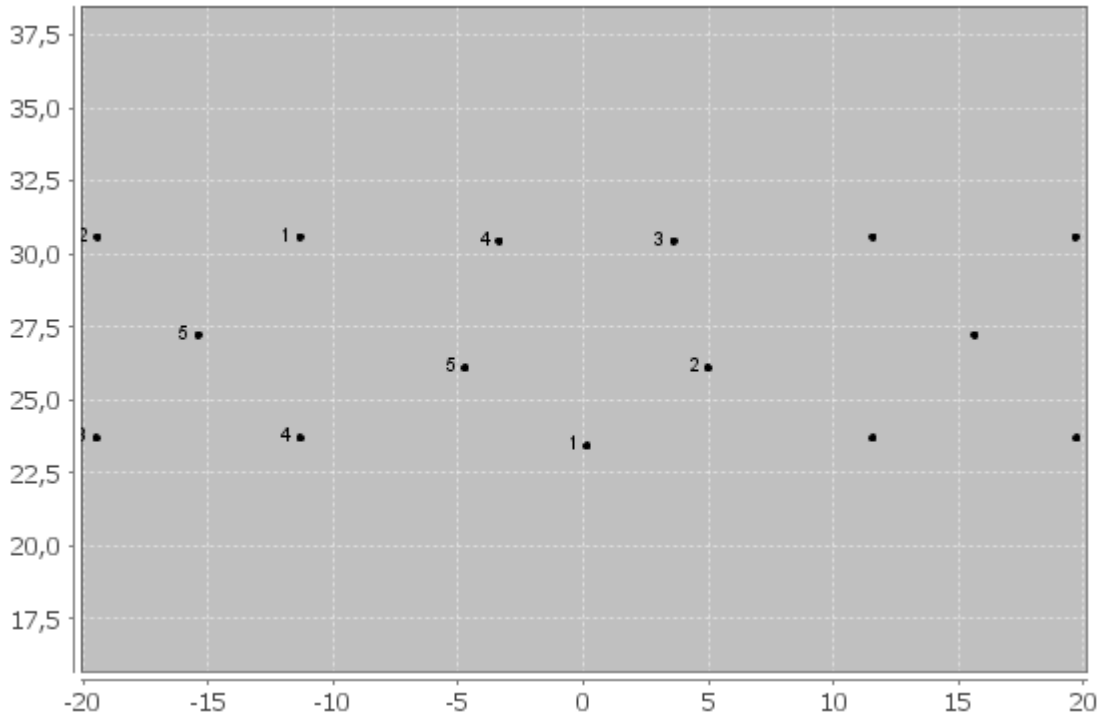

Figura H.148: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.89: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,032	1,183	1,099	1,099	1,183						1,119	0,128
Ki	1,013	1,023	1,017	1,017	1,023						1,019	0,009
Kc	1,019	1,156	1,080	1,080	1,156						1,098	0,117
Icond [A]	286	320	301	324	354						317	51
Esup [kV/cm]	16,7	19,2	17,8	17,8	19,2						18,1	2,1

Tabela H.90: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,122	0,855	0,924	1,158	0,773						0,966	0,336
Ki	1,023	1,013	1,011	1,022	1,010						1,016	0,012
Kc	1,097	0,844	0,913	1,134	0,766						0,951	0,319
Icond [A]	361	279	280	361	251						306	103
Esup [kV/cm]	18,2	13,8	15,0	18,8	12,5						15,6	5,4

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	5

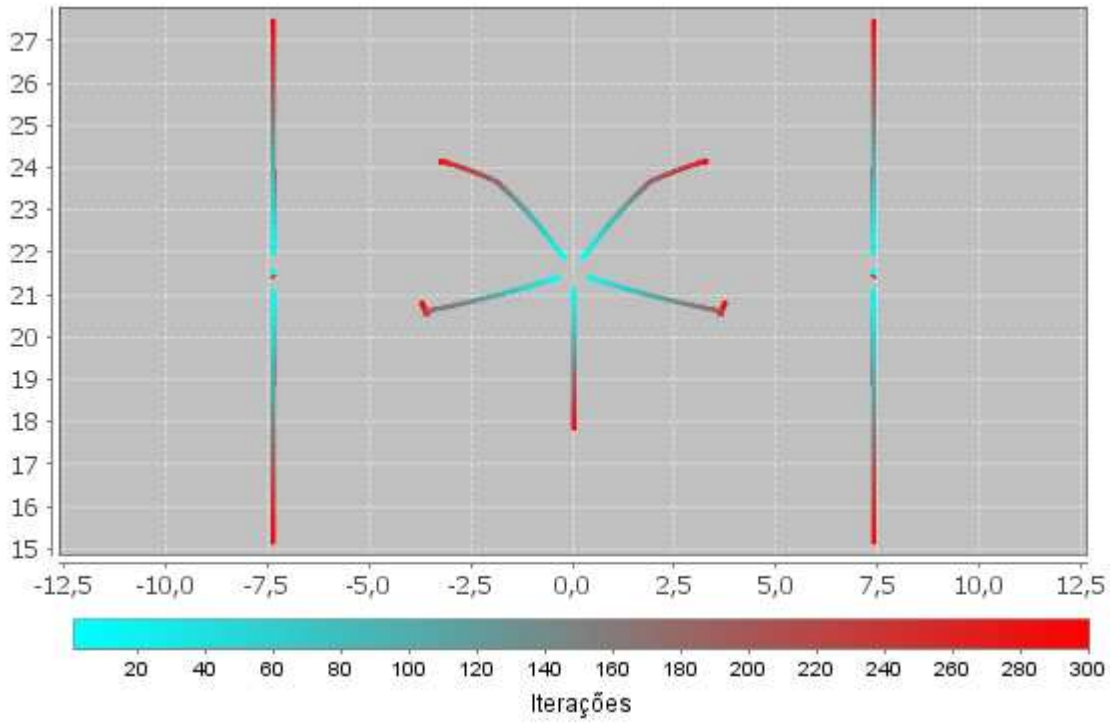

Figura H.149: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-I (183), 5-I (183), 3-I (256), 4-I (256)

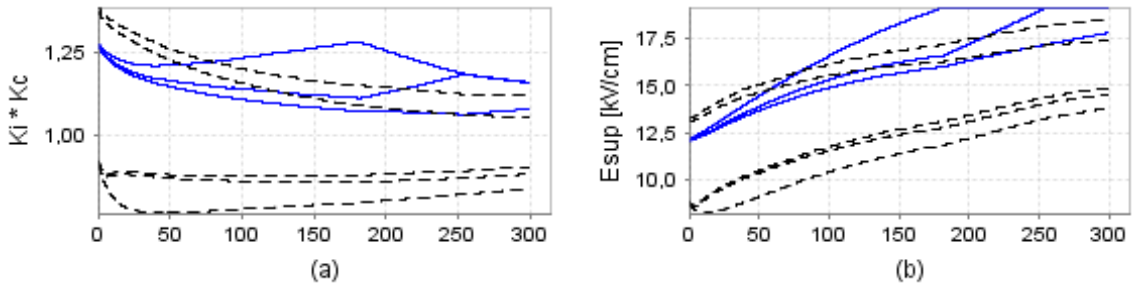

Figura H.150: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

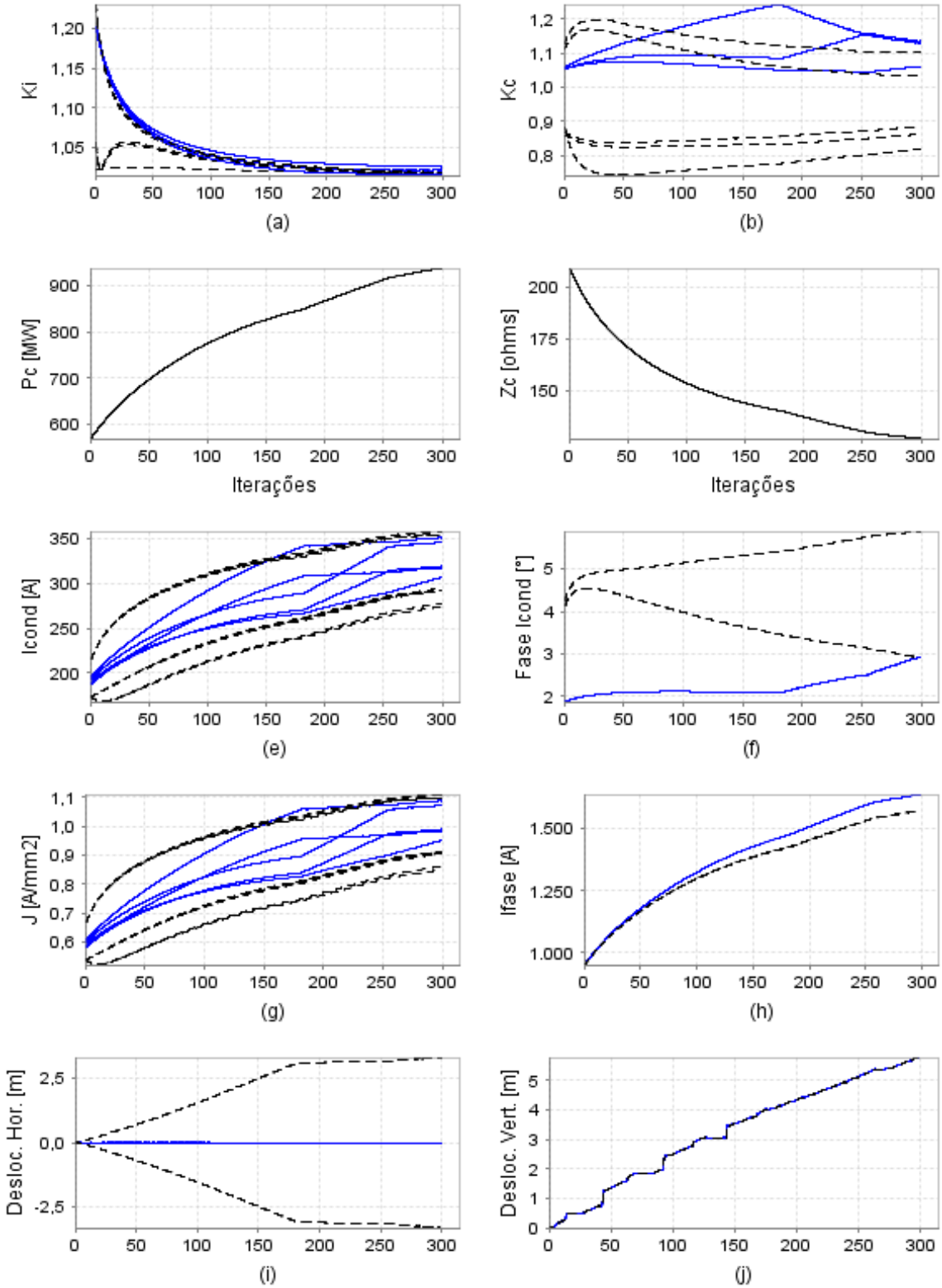

Figura H.151: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

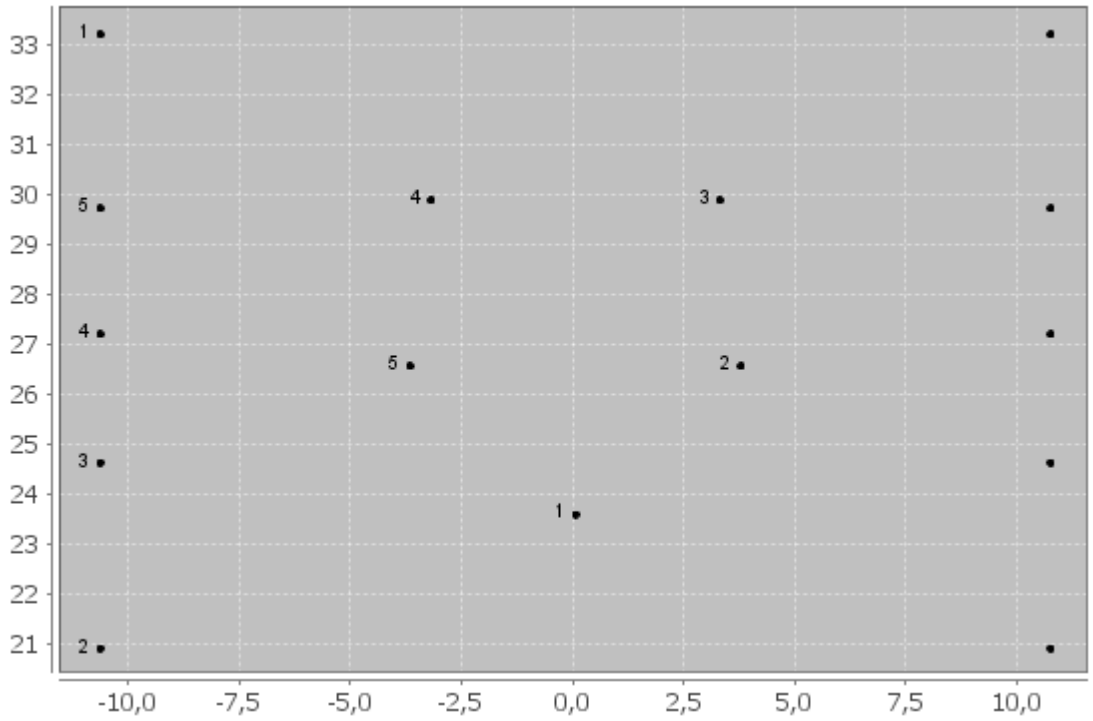

Figura H.152: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.91: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,079	1,160	1,159	1,159	1,160						1,143	0,073
Ki	1,016	1,026	1,022	1,022	1,026						1,023	0,009
Kc	1,062	1,130	1,134	1,134	1,130						1,118	0,063
Icond [A]	306	317	318	345	350						327	39
Esup [kV/cm]	17,8	19,1	19,1	19,1	19,1						18,9	1,2

Tabela H.92: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,052	1,122	0,901	0,835	0,880						0,958	0,245
Ki	1,018	1,016	1,018	1,019	1,020						1,018	0,003
Kc	1,033	1,104	0,885	0,820	0,862						0,941	0,243
Icond [A]	357	358	292	273	291						314	80
Esup [kV/cm]	17,4	18,5	14,9	13,8	14,5						15,8	4,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Compacta (3,5 m)
Condutor	BLUEJAY
Nsub	5

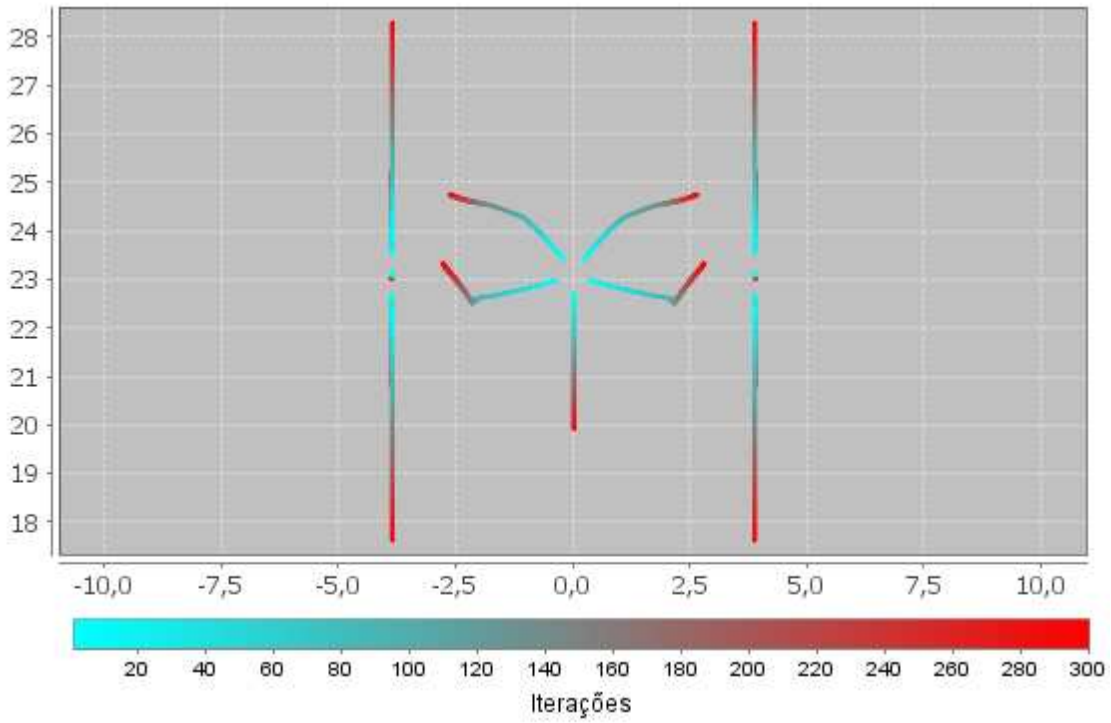

Figura H.153: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: 2-I (91), 5-I (91), 3-I (142), 4-I (142)

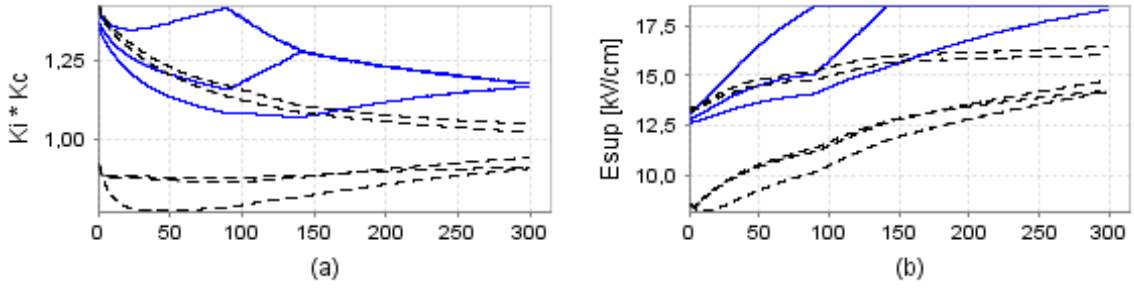

Figura H.154: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta

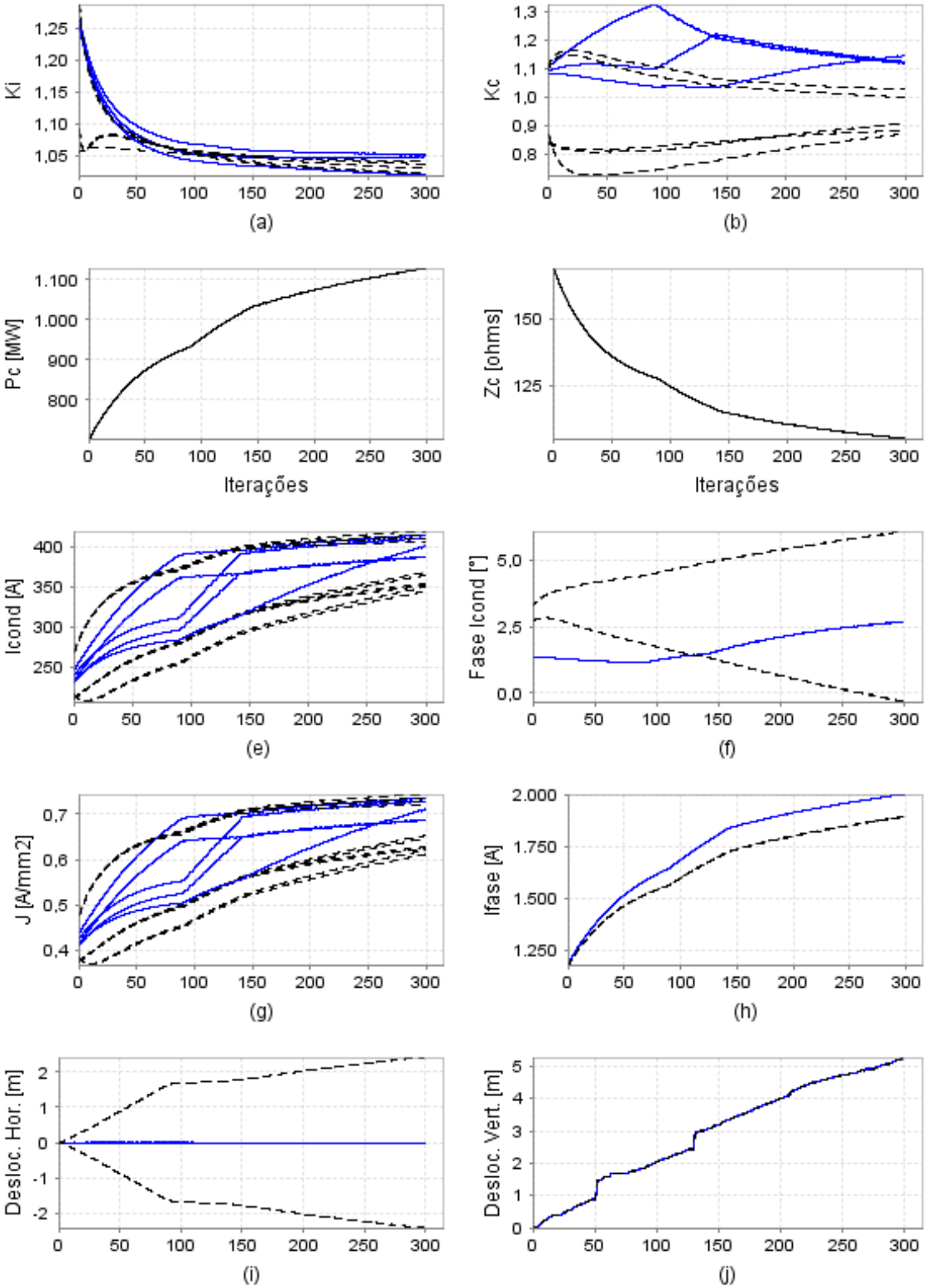

Figura H.155: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta

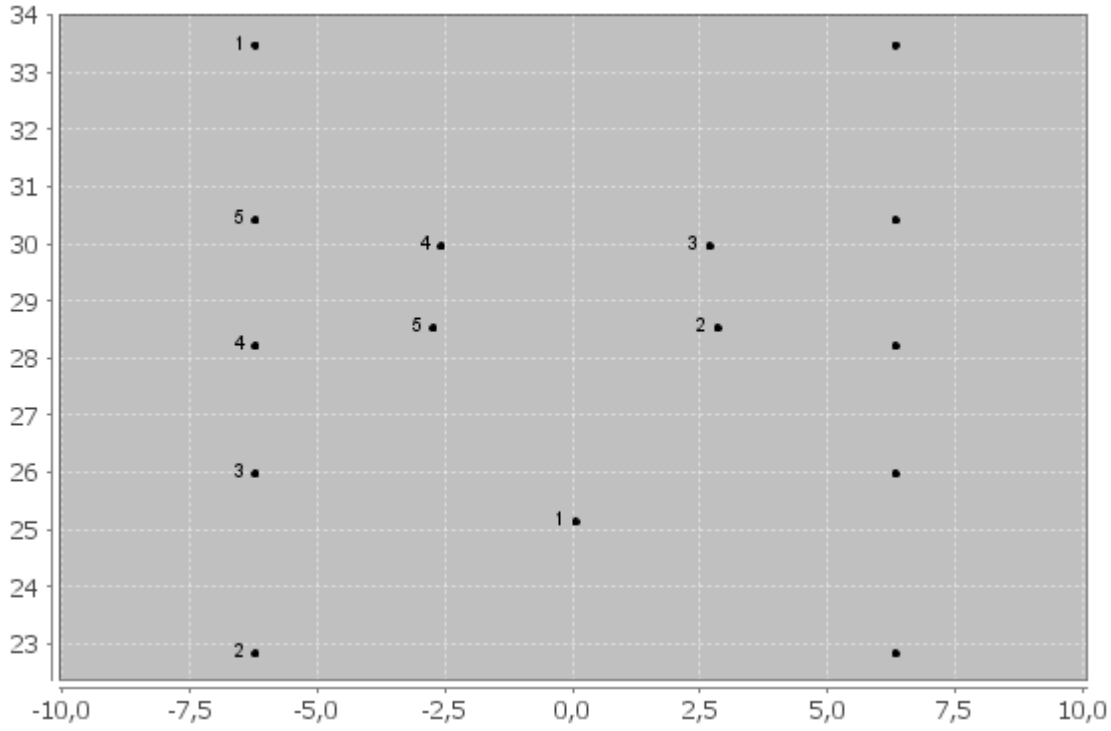

Figura H.156: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta

Tabela H.93: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,167	1,179	1,178	1,178	1,179						1,177	0,010
Ki	1,020	1,054	1,049	1,049	1,054						1,045	0,028
Kc	1,144	1,119	1,123	1,123	1,119						1,126	0,021
Icond [A]	401	387	387	411	415						400	26
Esup [kV/cm]	18,3	18,5	18,4	18,4	18,5						18,4	0,2

Tabela H.94: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BLUEJAY a 345 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,023	1,050	0,909	0,906	0,942						0,966	0,133
Ki	1,024	1,022	1,031	1,041	1,038						1,031	0,017
Kc	0,999	1,027	0,882	0,870	0,907						0,937	0,142
Icond [A]	420	411	351	345	364						378	70
Esup [kV/cm]	16,0	16,4	14,2	14,2	14,7						15,1	2,1

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	6

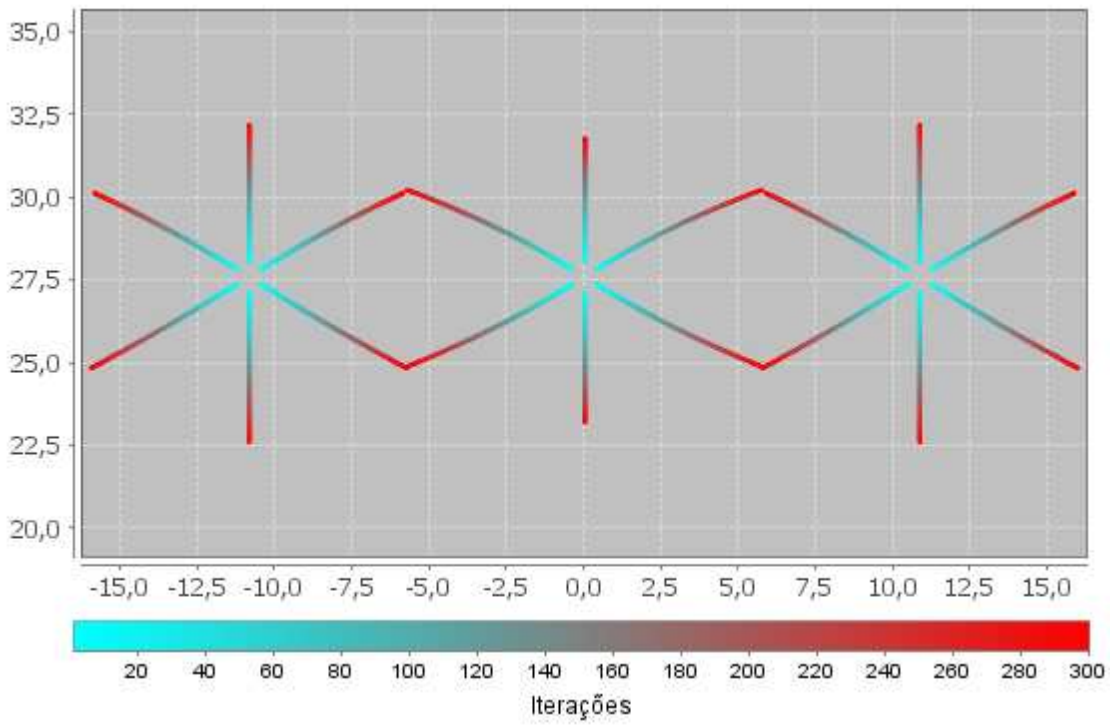

Figura H.157: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

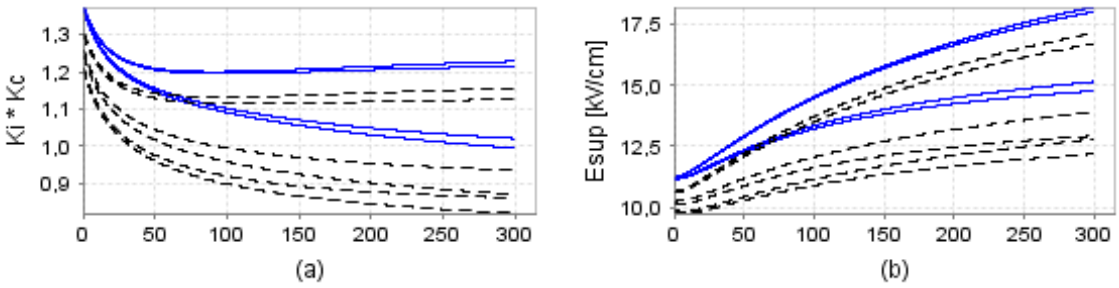

Figura H.158: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

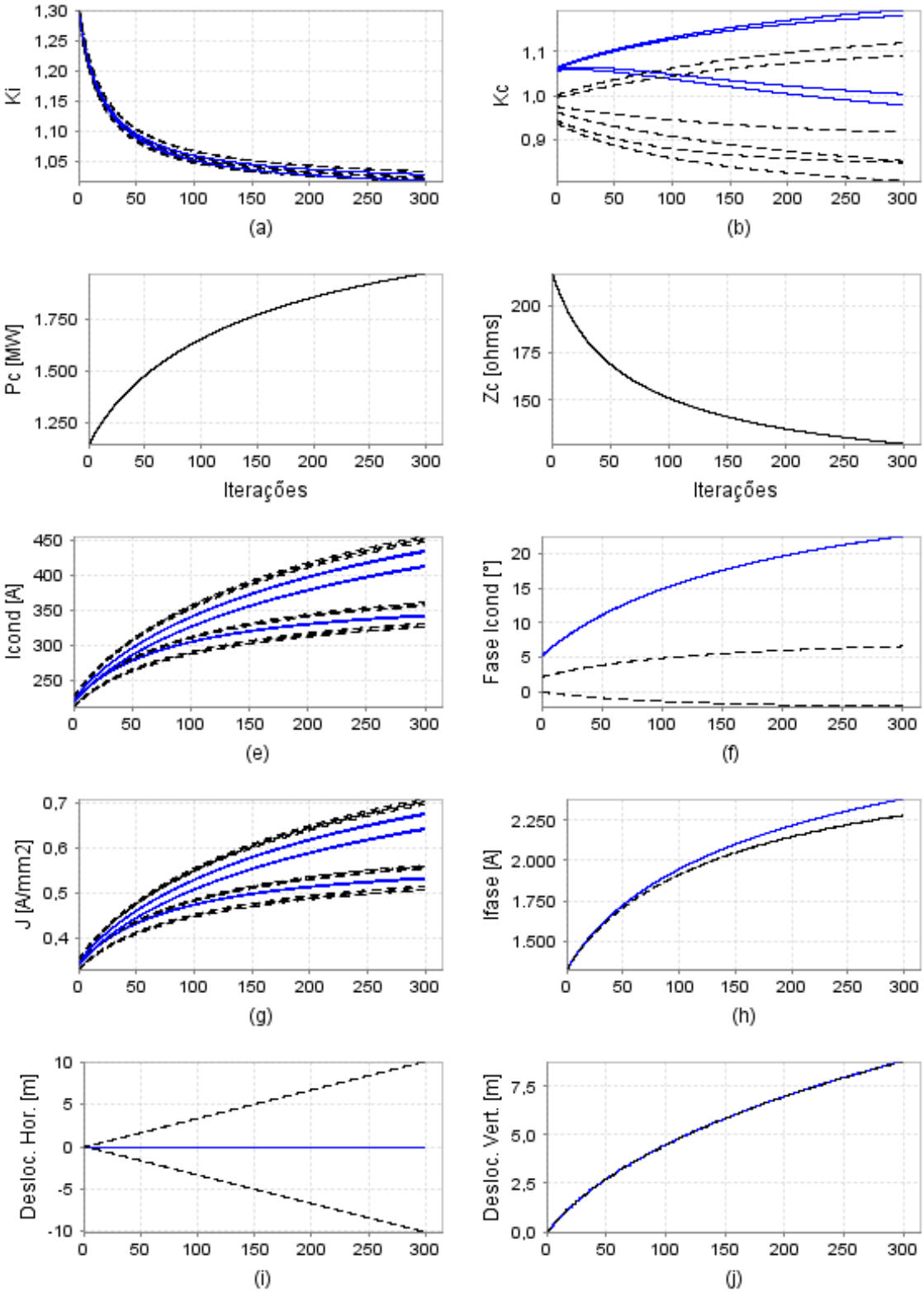

Figura H.159: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

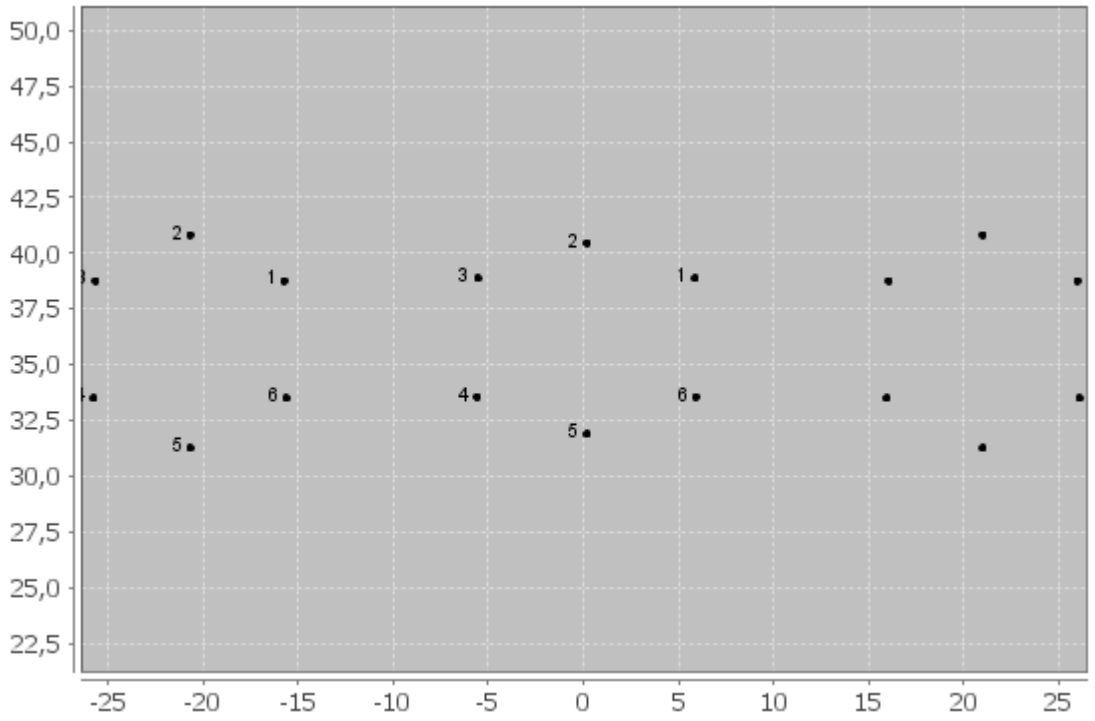

Figura H.160: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.95: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,215	0,996	1,215	1,228	1,021	1,228					1,150	0,247
Ki	1,028	1,018	1,028	1,028	1,018	1,028					1,024	0,012
Kc	1,182	0,978	1,182	1,195	1,004	1,195					1,123	0,229
Icond [A]	412	342	433	436	344	414					397	96
Esup [kV/cm]	18,0	14,8	18,0	18,2	15,1	18,2					17,1	3,7

Tabela H.96: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,126	0,872	0,821	0,863	0,937	1,156					0,962	0,321
Ki	1,033	1,024	1,019	1,017	1,022	1,032					1,024	0,015
Kc	1,090	0,852	0,806	0,848	0,917	1,120					0,939	0,299
Icond [A]	448	358	331	332	362	452					380	124
Esup [kV/cm]	16,7	12,9	12,2	12,8	13,9	17,1					14,3	4,8

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	6

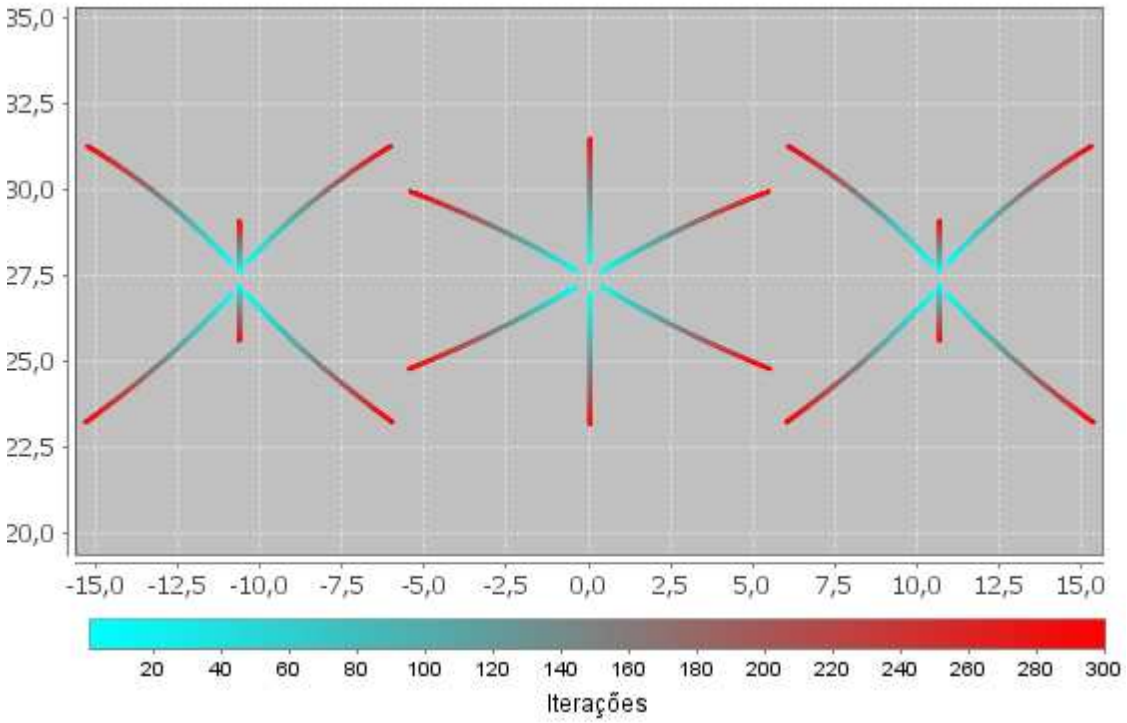

Figura H.161: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

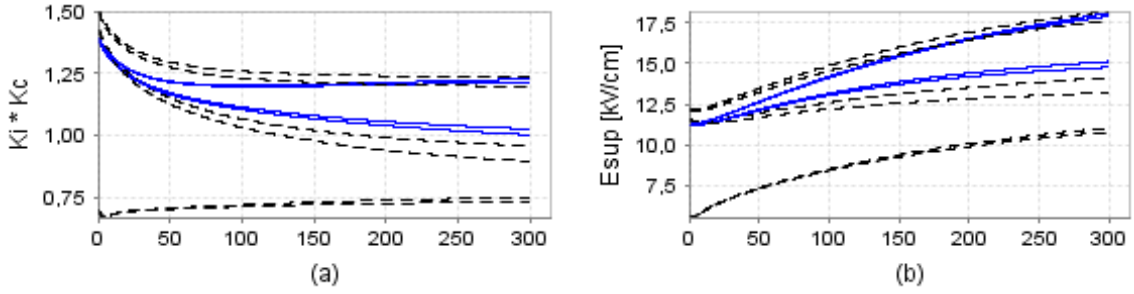

Figura H.162: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

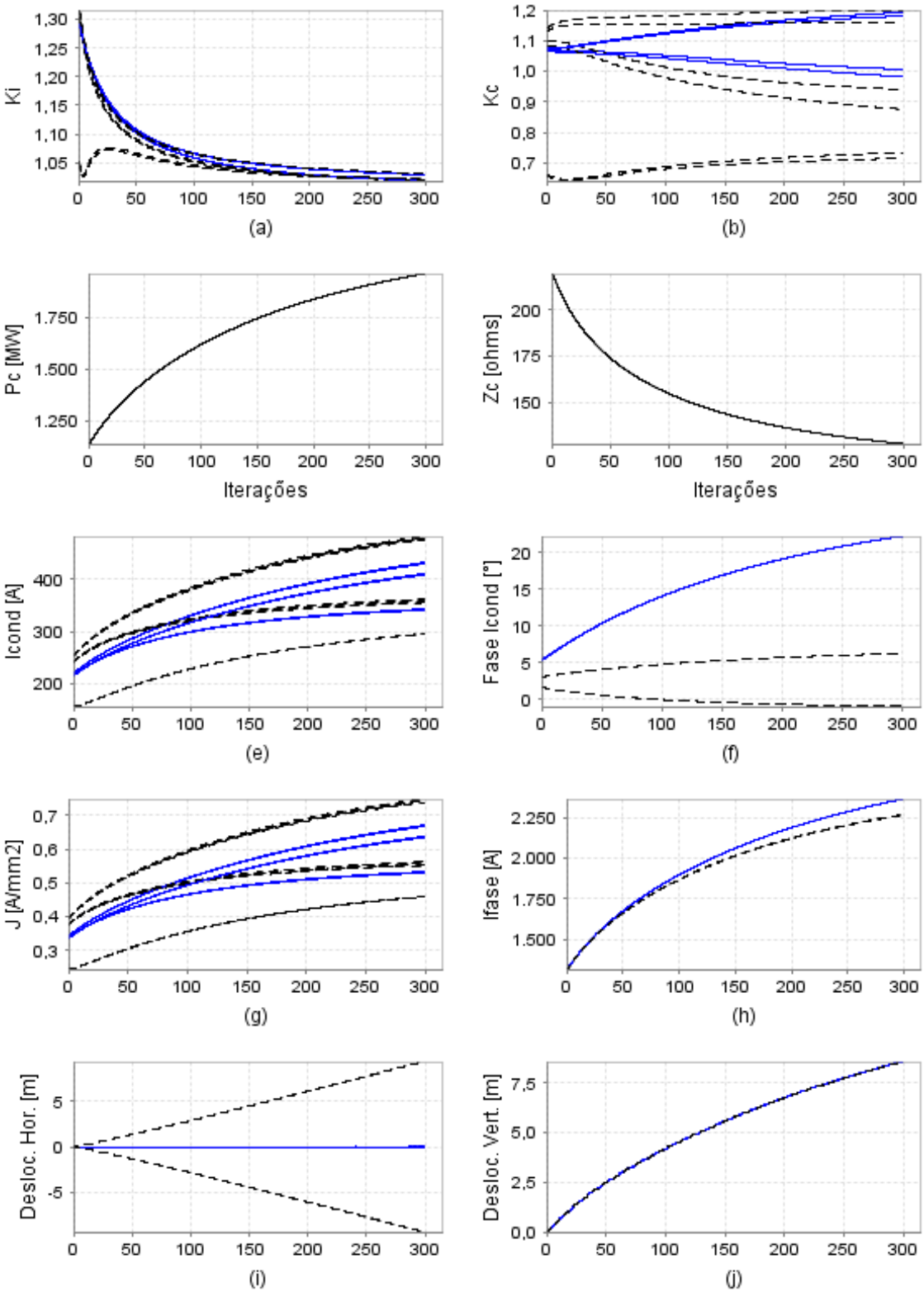

Figura H.163: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

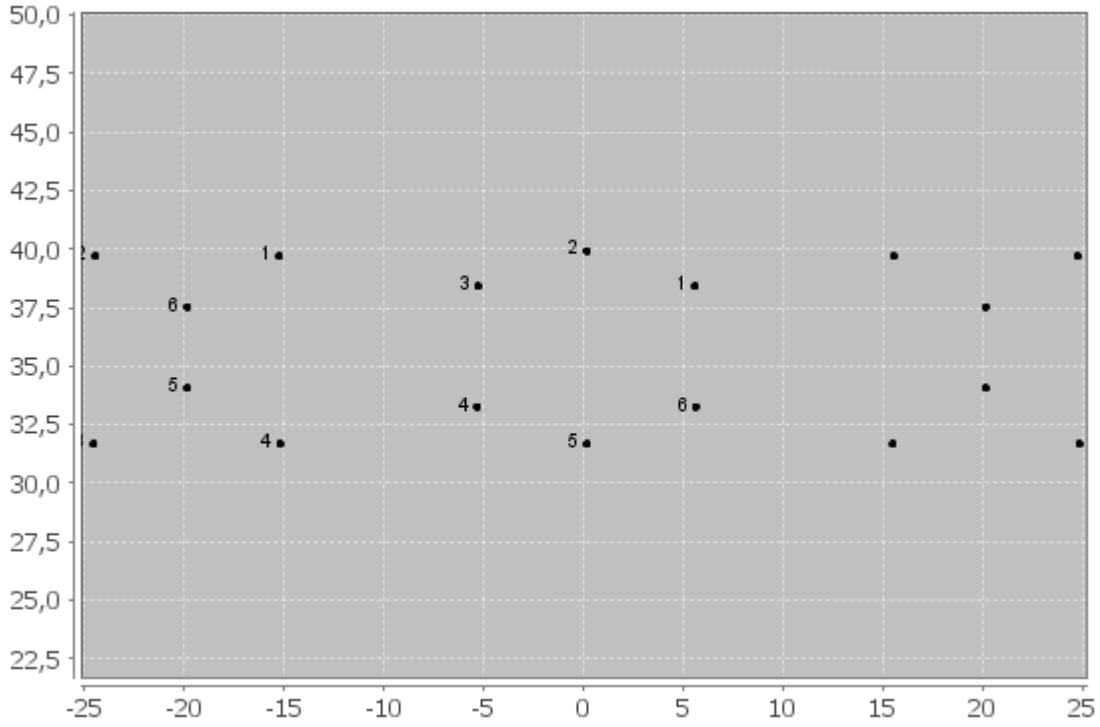

Figura H.164: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela H.97: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,216	1,002	1,216	1,227	1,026	1,227					1,152	0,240
Ki	1,029	1,019	1,029	1,029	1,019	1,029					1,025	0,012
Kc	1,181	0,984	1,181	1,193	1,007	1,193					1,123	0,223
Icond [A]	409	341	430	432	343	411					394	93
Esup [kV/cm]	17,9	14,8	17,9	18,1	15,1	18,1					17,0	3,5

Tabela H.98: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,198	0,895	0,958	1,237	0,748	0,731					0,961	0,485
Ki	1,031	1,020	1,018	1,030	1,020	1,022					1,024	0,012
Kc	1,162	0,877	0,941	1,201	0,734	0,715					0,938	0,463
Icond [A]	476	360	362	479	296	296					378	184
Esup [kV/cm]	17,7	13,2	14,1	18,2	11,0	10,8					14,2	7,1

APÊNDICE I – RESULTADOS DA MINIMIZAÇÃO DO FATOR DE IRREGULARIDADE DO CAMPO ELÉTRICO SUPERFICIAL

Neste apêndice são mostrados os resultados obtidos com a execução do procedimento explicado no Capítulo 9 exceto para os níveis de tensão 765 kV e 1000 kV, que já foram apresentados no referido capítulo.

I.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES OTIMIZADAS

Nesta secção são mostrados os resultados no mesmo formato que é explicado na secção 9.2.1, exceto para os níveis de tensão 765 kV e 1000 kV, que já foram apresentados no referido capítulo.

I.1.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Tabela I.1: Parâmetros elétricos das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
138	Não	2	BITTERN	0,98	8,9	43,6	166,28 - j9,00	114,19	34,63	0,372	0,377	0,0232
			BLUEJAY	0,99	9,4	45,5	168,47 - j10,23	112,62	34,06	0,419	0,425	0,0263
			CHUKAR	0,98	7,8	39,0	160,59 - j6,68	118,38	36,07	0,275	0,279	0,0172
			DRAKE	0,99	10,4	49,5	172,01 - j13,86	110,00	33,18	0,574	0,584	0,0356
			GROSBEAK	0,99	11,4	53,1	175,95 - j17,19	107,21	32,04	0,700	0,713	0,0443
			LINNET	0,99	14,8	65,2	187,43 - j32,02	98,73	28,87	1,231	1,262	0,0832
			RAIL	0,99	10,0	47,8	170,92 - j11,78	110,89	33,47	0,482	0,490	0,0303
	Sim	2	BITTERN	0,97	10,4	50,8	143,68 - j9,00	132,03	27,86	0,431	0,437	0,0232
			BLUEJAY	0,97	11,0	52,9	145,75 - j10,23	130,02	27,42	0,485	0,492	0,0264
			CHUKAR	0,97	9,1	45,7	138,31 - j6,68	137,37	28,96	0,320	0,324	0,0172
			DRAKE	0,98	12,1	57,2	149,58 - j13,86	126,23	26,42	0,660	0,672	0,0357
			GROSBEAK	0,98	13,1	61,2	153,40 - j17,19	122,61	25,44	0,803	0,818	0,0444
			LINNET	0,99	16,9	74,4	165,04 - j31,91	111,23	22,47	1,394	1,431	0,0834
			RAIL	0,98	11,6	55,4	148,47 - j11,78	127,47	26,64	0,555	0,563	0,0304

Tabela I.2: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 138 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
138	Não	2	BITTERN	8,32	27,16	18,65	7,42	0,82	7,38	1,00
			BLUEJAY	8,32	27,01	18,66	7,43	0,82	7,39	1,00
			CHUKAR	8,30	27,43	18,31	7,43	0,85	7,39	1,00
			DRAKE	8,28	26,81	16,01	7,42	0,81	7,38	1,00
			GROSBEAK	8,27	26,58	15,99	7,42	0,78	7,38	1,00
			LINNET	8,27	25,89	15,65	7,40	0,74	7,36	1,00
			RAIL	8,29	26,79	18,46	7,42	0,81	7,38	1,00
	Sim	2	BITTERN	8,29	31,50	18,41	4,33	0,60	4,29	1,00
			BLUEJAY	8,25	31,28	18,42	4,33	0,60	4,29	1,00
			CHUKAR	8,28	31,73	18,06	4,35	0,59	4,31	1,00
			DRAKE	8,27	31,21	15,77	4,32	0,61	4,27	1,00
			GROSBEAK	8,26	31,01	15,76	4,31	0,60	4,27	1,00
			LINNET	8,27	30,07	15,43	4,29	0,59	4,25	1,00
			RAIL	8,29	31,34	18,22	4,32	0,60	4,28	1,00

Tabela I.3: Parâmetros elétricos das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
230	Não	2	BITTERN	0,93	14,8	72,1	185,99 - j8,95	283,77	35,88	0,554	0,567	0,0231
			BLUEJAY	0,93	15,7	75,9	187,88 - j10,17	280,74	35,57	0,626	0,642	0,0263
			CHUKAR	0,94	12,7	63,4	180,85 - j6,64	292,11	36,79	0,407	0,417	0,0171
			DRAKE	0,92	17,8	84,4	190,75 - j13,76	275,89	35,15	0,862	0,885	0,0356
			GROSBEAK	0,96	18,4	85,5	194,30 - j17,11	270,17	34,34	1,057	1,087	0,0442
			LINNET	0,98	20,4	89,8	231,80 - j32,09	223,93	17,08	1,666	1,692	0,0831
			RAIL	0,92	17,0	81,2	189,87 - j11,71	277,56	35,34	0,722	0,741	0,0303
	Sim	2	BITTERN	0,98	15,5	75,7	159,02 - j9,01	331,61	33,64	0,648	0,654	0,0232
			BLUEJAY	0,98	16,4	79,0	161,10 - j10,24	327,04	33,15	0,731	0,738	0,0264
			CHUKAR	0,98	13,5	67,7	153,58 - j6,69	343,80	34,90	0,480	0,484	0,0172
			DRAKE	0,98	18,1	85,8	164,84 - j13,88	318,67	32,14	0,998	1,012	0,0357
			GROSBEAK	0,96	19,3	89,9	178,30 - j17,17	293,96	24,13	1,150	1,161	0,0442
			RAIL	0,98	17,4	82,9	163,71 - j11,79	321,46	32,42	0,839	0,849	0,0304

Tabela I.4: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 230 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
230	Não	2	BITTERN	8,27	427,22	16,78	8,31	0,14	8,31	1,00
			BLUEJAY	8,27	280,52	16,71	8,44	0,13	8,44	1,00
			CHUKAR	8,27	1221,79	16,54	8,09	0,15	8,09	1,00
			DRAKE	8,31	144,60	13,88	8,79	0,10	8,78	1,00
			GROSBEAK	4,80	175,50	14,66	9,15	0,10	9,15	1,00
			LINNET	8,27	27,50	16,64	2,90	0,29	3,25	1,00
			RAIL	8,26	164,07	16,37	8,70	0,09	8,70	1,00
	Sim	2	BITTERN	8,30	31,00	19,30	6,52	0,90	6,45	1,00
			BLUEJAY	8,26	30,87	19,31	6,52	0,90	6,46	1,00
			CHUKAR	8,30	30,93	18,98	6,51	0,92	6,45	1,00
			DRAKE	8,30	31,07	16,64	6,52	0,91	6,46	1,00
			GROSBEAK	8,28	30,81	16,91	3,61	0,23	3,60	1,00
			RAIL	8,26	30,81	19,11	6,52	0,91	6,46	1,00

Tabela I.5: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	3	BITTERN	0,97	15,6	76,1	164,32 - j6,01	723,38	50,48	0,628	0,644	0,0155
			BLUEJAY	0,98	16,5	79,9	165,45 - j6,83	718,19	50,25	0,713	0,730	0,0176
			CHUKAR	0,97	13,4	67,2	161,05 - j4,46	738,48	51,33	0,458	0,469	0,0115
			DRAKE	0,98	18,5	87,5	167,35 - j9,24	709,08	49,78	0,986	1,010	0,0238
			GROSBEAK	0,98	19,3	90,0	178,39 - j11,46	664,49	41,74	1,154	1,182	0,0296
			LINNET	0,88	20,4	89,9	256,06 - j21,55	461,57	1,56	1,517	1,548	0,0554
			RAIL	0,98	17,7	84,4	166,83 - j7,86	711,86	49,98	0,825	0,845	0,0203
		4	BITTERN	0,96	13,8	67,2	142,09 - j4,52	836,82	58,40	0,546	0,559	0,0117
			BLUEJAY	0,97	14,6	70,5	142,93 - j5,14	831,66	58,16	0,620	0,635	0,0132
			CHUKAR	0,95	11,8	59,2	139,92 - j3,36	850,16	58,95	0,396	0,405	0,0086
			DRAKE	0,97	16,3	77,3	144,24 - j6,95	823,29	57,68	0,859	0,882	0,0179
			GROSBEAK	0,97	18,0	83,6	145,73 - j8,63	813,91	57,13	1,062	1,095	0,0223
			LINNET	0,97	20,4	89,9	176,52 - j16,15	668,68	32,43	1,652	1,708	0,0417
			RAIL	0,97	15,6	74,5	143,89 - j5,92	825,80	57,87	0,718	0,736	0,0153
		5	BITTERN	0,95	12,1	59,2	131,31 - j3,63	905,74	60,37	0,473	0,488	0,0094
			BLUEJAY	0,96	12,9	62,1	132,00 - j4,12	900,86	60,14	0,538	0,555	0,0106
			CHUKAR	0,94	10,4	52,2	129,63 - j2,69	917,79	60,79	0,343	0,353	0,0069
			DRAKE	0,96	14,4	68,1	133,07 - j5,57	892,87	59,64	0,746	0,772	0,0144

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	5	GROSBEAK	0,97	15,8	73,7	134,34 - j6,92	883,65	59,07	0,924	0,961	0,0179
			LINNET	0,98	20,3	89,5	142,26 - j12,94	829,79	52,62	1,644	1,747	0,0335
			RAIL	0,96	13,8	65,7	132,81 - j4,74	895,09	59,83	0,624	0,644	0,0122
	Sim	3	BITTERN	0,97	18,4	90,0	137,46 - j6,05	864,22	53,19	0,752	0,764	0,0155
			BLUEJAY	0,97	18,6	89,9	146,51 - j6,87	810,62	44,66	0,805	0,818	0,0176
			CHUKAR	0,96	17,3	86,4	124,07 - j4,50	958,07	66,84	0,596	0,608	0,0116
			DRAKE	0,95	19,0	89,8	166,34 - j9,29	713,34	28,77	0,991	1,011	0,0238
			GROSBEAK	0,88	19,3	89,9	195,35 - j11,54	607,16	10,90	1,053	1,085	0,0295
			RAIL	0,96	18,8	89,9	157,89 - j7,90	751,97	35,23	0,871	0,887	0,0203
		4	BITTERN	0,95	17,0	82,7	115,65 - j4,57	1027,56	62,42	0,672	0,691	0,0117
			BLUEJAY	0,95	18,0	86,7	116,32 - j5,19	1021,24	62,33	0,763	0,786	0,0133
			CHUKAR	0,93	14,7	73,8	113,07 - j3,39	1051,75	63,79	0,492	0,505	0,0087
			DRAKE	0,95	19,0	89,8	125,71 - j7,02	943,91	51,47	0,987	1,020	0,0180
			GROSBEAK	0,93	19,3	89,9	139,41 - j8,70	850,46	37,82	1,111	1,148	0,0223
			LINNET	0,78	20,4	89,8	216,29 - j16,31	547,20	-8,46	1,349	1,387	0,0416
			RAIL	0,95	18,8	89,9	119,79 - j5,98	991,18	58,58	0,864	0,890	0,0153
		5	BITTERN	0,92	14,3	69,6	114,68 - j3,67	1036,80	53,23	0,543	0,563	0,0094
			BLUEJAY	0,91	15,1	72,8	116,37 - j4,17	1021,53	51,70	0,611	0,634	0,0107
			CHUKAR	0,90	12,6	62,9	110,55 - j2,73	1076,01	57,01	0,403	0,418	0,0070

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Sim	5	DRAKE	0,92	16,6	78,8	118,58 - j5,64	1001,46	49,90	0,838	0,872	0,0144
			GROSBEAK	0,93	18,1	84,3	120,71 - j6,99	982,78	48,33	1,029	1,072	0,0179
			LINNET	0,91	20,3	89,4	150,58 - j13,05	784,53	21,61	1,552	1,634	0,0334
			RAIL	0,92	16,0	76,2	117,99 - j4,79	1007,15	50,38	0,703	0,729	0,0123

Tabela I.6: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	3	BITTERN	8,21	20,15	23,12	6,01	2,21	10,66	1,12
			BLUEJAY	8,30	20,30	23,03	6,05	2,24	10,68	1,12
			CHUKAR	8,31	19,68	23,07	5,88	2,10	10,58	1,09
			DRAKE	8,32	20,39	20,28	6,12	2,30	10,72	1,13
			GROSBEAK	8,20	20,19	20,54	4,82	2,39	8,20	1,08
			LINNET	8,28	24,99	19,56	0,55	0,47	0,55	1,02
			RAIL	8,29	20,28	22,78	6,09	2,28	10,71	1,13
		4	BITTERN	8,33	19,98	24,29	5,25	3,68	10,34	1,54
			BLUEJAY	8,30	19,92	24,28	5,28	3,69	10,37	1,54
			CHUKAR	8,30	19,80	24,16	5,16	3,65	10,23	1,53
			DRAKE	8,30	19,90	21,57	5,34	3,72	10,43	1,55
			GROSBEAK	8,29	19,84	21,50	5,39	3,74	10,47	1,55
			LINNET	8,27	20,91	21,59	2,99	2,73	3,95	1,60
			RAIL	8,29	19,86	24,05	5,32	3,71	10,41	1,54
		5	BITTERN	8,32	19,72	25,69	5,52	5,90	9,72	1,78
			BLUEJAY	8,32	19,70	25,67	5,57	5,94	9,75	1,78
			CHUKAR	8,30	19,73	25,45	5,38	5,76	9,59	1,76
			DRAKE	8,30	19,68	22,98	5,64	6,02	9,77	1,80

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	5	GROSBEAK	8,31	19,66	22,90	5,69	6,08	9,77	1,81
			LINNET	8,26	19,84	22,42	5,41	5,87	8,46	1,86
			RAIL	8,32	19,68	25,43	5,61	5,99	9,76	1,79
	Sim	3	BITTERN	8,24	27,57	21,50	4,94	0,50	9,12	1,16
			BLUEJAY	8,26	25,09	22,06	4,01	0,31	7,63	1,08
			CHUKAR	6,83	37,44	20,07	5,74	1,28	10,71	1,11
			DRAKE	8,28	26,62	19,51	2,43	0,89	4,43	1,04
			GROSBEAK	8,25	30,52	19,24	0,99	0,77	1,29	1,00
			RAIL	8,26	26,43	21,86	3,03	0,77	5,69	1,07
		4	BITTERN	8,26	24,64	22,54	3,64	1,22	10,09	1,17
			BLUEJAY	8,27	24,70	22,51	3,65	1,20	10,13	1,17
			CHUKAR	8,29	24,55	22,27	3,60	1,27	9,97	1,18
			DRAKE	8,32	26,09	19,75	3,22	1,40	8,37	1,29
			GROSBEAK	8,28	24,42	20,39	2,61	1,66	5,87	1,49
			LINNET	7,63	29,96	19,04	0,30	0,30	0,30	1,00
			RAIL	8,30	24,83	22,32	3,54	1,25	9,65	1,20
		5	BITTERN	8,31	22,69	23,95	3,47	2,82	8,43	1,75
			BLUEJAY	8,29	22,76	23,95	3,41	2,79	8,21	1,75
			CHUKAR	8,30	22,43	23,68	3,62	2,92	8,92	1,75

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Sim	5	DRAKE	8,26	22,84	21,28	3,32	2,74	7,96	1,74
			GROSBEAK	8,30	22,68	21,30	3,27	2,75	7,80	1,73
			LINNET	8,29	26,25	20,66	2,22	2,52	2,51	2,60
			RAIL	8,33	22,94	23,70	3,35	2,76	8,04	1,74

Tabela I.7: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	3	BITTERN	0,97	18,3	89,4	201,69 - j5,99	1238,44	32,36	0,741	0,750	0,0154
			BLUEJAY	0,95	18,5	89,5	215,55 - j6,82	1158,64	24,47	0,791	0,800	0,0175
			CHUKAR	0,97	17,6	88,1	176,48 - j4,45	1415,69	49,22	0,605	0,617	0,0115
			RAIL	0,93	18,8	90,0	234,15 - j7,86	1066,47	15,26	0,850	0,857	0,0202
		4	BITTERN	0,97	18,1	88,1	155,31 - j4,51	1608,36	57,54	0,723	0,739	0,0116
			BLUEJAY	0,97	18,6	89,7	160,46 - j5,12	1556,45	53,11	0,799	0,816	0,0132
			CHUKAR	0,96	15,5	77,5	153,05 - j3,35	1632,63	58,12	0,524	0,535	0,0086
			DRAKE	0,96	19,0	89,8	178,92 - j6,93	1395,17	38,14	1,002	1,025	0,0178
			GROSBEAK	0,95	19,3	89,8	198,46 - j8,61	1257,34	25,40	1,128	1,149	0,0221
			RAIL	0,97	18,8	90,0	170,99 - j5,90	1460,32	44,35	0,875	0,897	0,0152
		5	BITTERN	0,96	15,8	77,2	143,86 - j3,61	1736,69	59,94	0,625	0,645	0,0093
			BLUEJAY	0,96	16,8	81,0	144,61 - j4,11	1727,37	59,65	0,710	0,733	0,0106
			CHUKAR	0,95	13,6	68,0	141,90 - j2,68	1761,20	60,64	0,453	0,467	0,0069
			DRAKE	0,97	18,8	88,9	145,78 - j5,56	1712,47	59,10	0,986	1,018	0,0144
			GROSBEAK	0,96	19,3	90,0	157,48 - j6,89	1584,51	48,12	1,140	1,176	0,0178
			LINNET	0,87	20,4	89,8	224,04 - j12,97	1112,14	5,98	1,511	1,544	0,0332
			RAIL	0,96	17,9	85,7	145,48 - j4,73	1716,64	59,30	0,824	0,850	0,0122
		6	BITTERN	0,95	14,3	69,8	134,66 - j3,02	1855,62	61,31	0,557	0,576	0,0078

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	6	BLUEJAY	0,95	15,1	73,0	135,64 - j3,44	1841,88	60,63	0,632	0,653	0,0089
			CHUKAR	0,94	12,4	61,8	132,34 - j2,25	1888,58	62,78	0,405	0,419	0,0058
			DRAKE	0,95	16,8	79,7	137,26 - j4,65	1819,28	59,36	0,874	0,902	0,0120
			GROSBEAK	0,96	18,5	86,0	138,87 - j5,77	1797,09	58,27	1,079	1,119	0,0149
			LINNET	0,95	20,4	90,0	172,76 - j10,81	1441,48	29,09	1,634	1,693	0,0278
			RAIL	0,95	16,1	77,0	136,77 - j3,96	1826,40	59,84	0,731	0,755	0,0102
		7	BITTERN	0,92	12,3	59,9	138,04 - j2,60	1810,40	50,20	0,466	0,480	0,0067
			BLUEJAY	0,92	12,9	62,5	139,16 - j2,95	1795,67	49,40	0,528	0,543	0,0076
			CHUKAR	0,91	10,7	53,5	134,91 - j1,93	1852,65	52,54	0,341	0,351	0,0050
			DRAKE	0,93	14,4	68,1	140,94 - j3,99	1772,33	48,03	0,729	0,754	0,0103
			GROSBEAK	0,94	15,7	73,2	142,56 - j4,95	1751,58	47,00	0,901	0,933	0,0127
			LINNET	0,96	20,3	89,5	147,84 - j9,28	1684,43	43,47	1,640	1,719	0,0239
			RAIL	0,93	13,8	65,8	140,37 - j3,40	1779,93	48,56	0,611	0,628	0,0087
		8	BITTERN	0,88	10,8	52,9	142,51 - j2,27	1753,82	39,23	0,395	0,406	0,0058
			BLUEJAY	0,88	11,4	55,1	143,93 - j2,58	1736,40	38,20	0,446	0,460	0,0066
			CHUKAR	0,86	9,5	47,8	138,52 - j1,69	1804,46	42,25	0,290	0,298	0,0043
			DRAKE	0,89	12,6	59,6	146,28 - j3,49	1708,09	36,42	0,615	0,636	0,0090
			GROSBEAK	0,90	13,7	63,8	148,39 - j4,34	1683,30	35,04	0,757	0,786	0,0111
			LINNET	0,92	17,7	78,1	153,85 - j8,13	1620,39	31,74	1,379	1,452	0,0209

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	8	RAIL	0,89	12,1	57,7	145,48 - j2,98	1717,70	37,11	0,515	0,531	0,0076
	Sim	3	CHUKAR	0,87	18,0	89,9	189,43 - j4,48	1319,00	19,36	0,564	0,578	0,0115
		4	BITTERN	0,91	18,4	90,0	160,32 - j4,55	1558,14	29,53	0,701	0,722	0,0116
			BLUEJAY	0,85	18,6	90,0	179,58 - j5,17	1390,99	16,23	0,714	0,745	0,0132
			CHUKAR	0,93	18,0	90,0	135,22 - j3,38	1847,74	51,57	0,594	0,605	0,0086
		5	BITTERN	0,94	18,3	89,5	125,90 - j3,65	1984,07	53,89	0,715	0,732	0,0093
			BLUEJAY	0,94	18,5	89,2	132,40 - j4,15	1886,40	46,95	0,777	0,796	0,0106
			CHUKAR	0,91	16,2	80,9	122,76 - j2,71	2035,52	56,08	0,525	0,538	0,0069
			DRAKE	0,92	19,0	90,0	148,95 - j5,60	1676,06	31,49	0,965	0,988	0,0143
			GROSBEAK	0,79	19,3	90,0	187,93 - j6,96	1328,43	5,00	0,954	0,999	0,0177
			RAIL	0,93	18,8	89,6	141,56 - j4,77	1764,04	38,09	0,847	0,866	0,0122
		6	BITTERN	0,89	16,6	81,0	122,60 - j3,06	2037,94	47,53	0,613	0,632	0,0078
			BLUEJAY	0,89	17,3	83,6	124,87 - j3,47	2000,54	45,38	0,687	0,707	0,0089
			CHUKAR	0,87	14,6	73,2	118,91 - j2,27	2101,69	50,59	0,452	0,467	0,0058
			DRAKE	0,91	19,0	89,8	126,93 - j4,70	1966,93	43,83	0,946	0,976	0,0120
			GROSBEAK	0,90	19,3	89,7	139,50 - j5,82	1789,01	31,69	1,074	1,101	0,0149
			RAIL	0,90	18,4	87,6	125,99 - j4,00	1982,35	44,69	0,795	0,820	0,0102
		7	BITTERN	0,85	14,9	72,5	122,36 - j2,63	2042,28	40,95	0,527	0,546	0,0067
			BLUEJAY	0,85	15,6	75,5	123,63 - j2,99	2020,92	39,96	0,596	0,617	0,0076

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	7	CHUKAR	0,84	13,3	66,5	117,35 - j1,96	2129,79	45,64	0,393	0,411	0,0050
			DRAKE	0,87	17,1	81,0	126,25 - j4,04	1978,13	37,75	0,816	0,850	0,0103
			GROSBEAK	0,87	18,3	85,0	131,35 - j5,01	1900,56	33,14	0,979	1,023	0,0128
			LINNET	0,77	20,4	89,7	181,97 - j9,38	1370,22	-2,21	1,332	1,439	0,0239
			RAIL	0,86	16,6	79,5	124,19 - j3,44	2011,51	39,86	0,692	0,721	0,0088
		8	BITTERN	0,81	14,0	68,2	119,80 - j2,31	2086,05	36,66	0,472	0,496	0,0059
			BLUEJAY	0,82	14,6	70,6	121,40 - j2,62	2058,31	35,28	0,531	0,561	0,0067
			CHUKAR	0,79	12,5	62,5	115,45 - j1,72	2164,87	40,62	0,350	0,370	0,0044
			DRAKE	0,83	15,9	75,5	124,18 - j3,54	2011,52	32,86	0,727	0,771	0,0090
			GROSBEAK	0,84	17,1	79,4	127,90 - j4,39	1952,41	29,67	0,881	0,935	0,0112
			LINNET	0,90	20,4	89,8	136,76 - j8,22	1821,44	23,04	1,554	1,616	0,0210
			RAIL	0,82	15,4	73,5	123,15 - j3,02	2028,87	33,82	0,611	0,646	0,0077

Tabela I.8: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	3	BITTERN	8,27	19,65	27,29	3,94	2,45	5,31	1,23
			BLUEJAY	8,26	19,68	27,23	2,57	1,89	3,37	1,13
			CHUKAR	8,30	19,15	26,63	6,72	3,14	10,94	1,17
			RAIL	8,32	19,88	26,63	1,62	1,38	1,93	1,10
		4	BITTERN	8,33	19,54	28,39	6,30	4,97	10,50	1,63
			BLUEJAY	8,25	19,35	28,56	5,97	4,68	9,53	1,64
			CHUKAR	8,30	19,53	28,22	6,19	4,90	10,39	1,62
			DRAKE	8,28	19,97	25,94	3,77	3,50	4,88	1,55
			GROSBEAK	8,31	20,02	25,60	2,39	2,31	2,78	1,41
			RAIL	8,31	19,70	28,49	4,74	4,23	6,43	1,64
		5	BITTERN	8,30	19,38	30,19	6,25	7,20	9,26	1,74
			BLUEJAY	8,32	19,41	30,13	6,27	7,23	9,25	1,74
			CHUKAR	8,31	19,43	29,95	6,17	7,11	9,26	1,73
			DRAKE	8,30	19,38	27,43	6,31	7,28	9,22	1,74
			GROSBEAK	8,26	19,51	27,37	5,24	6,13	6,34	1,90
			LINNET	8,33	20,94	24,45	0,64	1,20	0,97	1,10
			RAIL	8,31	19,37	29,90	6,30	7,26	9,23	1,74
		6	BITTERN	8,32	19,78	30,93	5,71	7,37	8,35	1,84

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	6	BLUEJAY	8,32	19,79	30,87	5,66	7,32	8,27	1,84
			CHUKAR	8,31	19,76	30,75	5,79	7,45	8,48	1,84
			DRAKE	8,30	19,79	28,14	5,56	7,23	8,13	1,84
			GROSBEAK	8,33	19,83	27,99	5,48	7,15	8,01	1,84
			LINNET	8,26	20,19	26,19	2,12	3,23	4,01	1,41
			RAIL	8,31	19,78	30,61	5,60	7,27	8,18	1,84
		7	BITTERN	8,31	19,97	30,90	4,04	6,31	7,30	1,85
			BLUEJAY	8,31	19,98	30,86	3,97	6,23	7,19	1,84
			CHUKAR	8,33	20,04	30,65	4,24	6,55	7,64	1,87
			DRAKE	8,31	20,01	28,12	3,86	6,09	6,99	1,82
			GROSBEAK	8,32	20,05	27,99	3,77	5,98	6,85	1,80
			LINNET	8,25	19,63	27,60	3,57	5,79	6,61	1,74
			RAIL	8,32	20,00	30,59	3,90	6,14	7,07	1,82
		8	BITTERN	8,30	20,41	30,78	2,71	4,92	5,66	1,77
			BLUEJAY	8,33	20,44	30,69	2,65	4,82	5,53	1,75
			CHUKAR	8,33	20,49	30,55	2,91	5,19	6,06	1,81
			DRAKE	8,30	20,43	27,96	2,53	4,65	5,29	1,72
			GROSBEAK	8,32	20,53	27,79	2,44	4,52	5,11	1,70
			LINNET	8,31	20,43	27,28	2,23	4,21	4,71	1,64

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	8	RAIL	8,32	20,44	30,43	2,57	4,72	5,38	1,73
	Sim	3	CHUKAR	8,30	26,04	24,78	1,55	1,17	2,08	1,01
		4	BITTERN	8,32	22,47	27,10	4,16	4,08	4,13	6,64
			BLUEJAY	8,33	25,49	26,04	1,54	2,16	1,53	4,25
			CHUKAR	8,31	22,51	26,04	3,85	2,31	8,89	1,46
		5	BITTERN	8,32	21,44	27,72	4,41	4,09	9,64	1,87
			BLUEJAY	8,33	21,29	28,06	5,02	5,20	8,41	3,73
			CHUKAR	8,31	21,66	27,48	4,28	3,94	9,56	1,71
			DRAKE	8,32	21,67	25,53	3,14	6,09	3,19	3,37
			GROSBEAK	8,29	27,57	22,81	0,75	1,05	0,78	1,66
			RAIL	8,26	21,41	27,84	5,42	5,66	5,52	3,59
		6	BITTERN	8,30	22,26	28,75	3,44	4,16	6,03	1,94
			BLUEJAY	8,30	22,55	28,62	3,26	4,03	5,60	1,89
			CHUKAR	8,33	22,34	28,55	3,64	4,28	6,29	1,95
			DRAKE	8,32	22,30	25,90	3,37	4,17	5,73	1,95
			GROSBEAK	8,32	21,76	25,78	2,99	4,09	4,25	2,48
			RAIL	8,32	22,59	28,35	3,24	4,04	5,57	1,89
		7	BITTERN	8,32	22,97	28,72	2,79	3,97	5,28	1,92
			BLUEJAY	8,30	22,85	28,73	2,75	3,93	5,19	1,91

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	7	CHUKAR	8,32	23,09	28,48	3,06	4,20	5,86	1,95
			DRAKE	8,32	23,03	25,92	2,68	3,87	4,96	1,93
			GROSBEAK	8,29	23,10	25,72	2,36	3,53	4,39	1,89
			LINNET	8,14	26,64	22,92	0,42	0,93	0,95	1,00
			RAIL	8,30	22,69	28,55	2,82	4,02	5,23	1,94
		8	BITTERN	8,32	23,60	28,64	2,37	3,73	5,12	2,05
			BLUEJAY	8,30	23,59	28,59	2,31	3,68	4,98	2,03
			CHUKAR	8,31	23,88	28,35	2,53	3,86	5,53	2,10
			DRAKE	8,30	23,45	25,89	2,22	3,58	4,74	2,01
			GROSBEAK	8,31	23,47	25,75	2,06	3,38	4,35	1,99
			LINNET	8,32	21,75	26,01	2,34	4,65	4,15	4,19
			RAIL	8,32	23,55	28,34	2,25	3,63	4,83	2,02

Tabela I.9: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1250	Não	9	BITTERN	0,88	18,3	89,5	182,15 - j2,02	8576,95	32,32	0,684	0,695	0,0052
			BLUEJAY	0,85	18,6	89,8	199,71 - j2,29	7822,86	20,91	0,713	0,724	0,0059
			CHUKAR	0,87	16,5	82,7	171,90 - j1,50	9088,93	39,50	0,518	0,526	0,0039
			RAIL	0,77	18,8	89,8	234,77 - j2,63	6654,62	3,07	0,707	0,718	0,0068
		10	BITTERN	0,86	17,3	84,4	179,06 - j1,82	8725,39	30,77	0,627	0,638	0,0047
			BLUEJAY	0,86	18,2	88,0	180,57 - j2,06	8651,79	29,88	0,710	0,723	0,0053
			CHUKAR	0,84	15,2	75,8	174,91 - j1,35	8932,57	33,24	0,458	0,466	0,0035
			DRAKE	0,81	19,0	89,8	208,24 - j2,79	7501,97	12,88	0,861	0,871	0,0071
			RAIL	0,88	18,8	89,6	184,48 - j2,38	8468,32	27,38	0,810	0,826	0,0061
	Sim	10	CHUKAR	0,79	18,0	89,9	157,63 - j1,36	9911,64	24,68	0,510	0,542	0,0035

Tabela I.10: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1250	Não	9	BITTERN	8,32	19,15	49,78	2,10	5,98	4,62	1,67
			BLUEJAY	8,32	19,35	47,56	1,32	3,92	3,00	1,52
			CHUKAR	8,32	19,39	50,01	2,65	6,30	6,26	1,40
			RAIL	8,32	19,27	43,96	0,60	1,77	1,50	1,27
		10	BITTERN	8,32	19,59	49,25	1,86	4,99	5,22	1,34
			BLUEJAY	8,33	19,57	49,09	1,82	4,89	5,12	1,33
			CHUKAR	8,32	19,72	49,24	1,98	5,26	5,49	1,36
			DRAKE	8,32	19,79	43,29	0,96	2,48	2,76	1,35
			RAIL	8,32	18,75	49,46	2,13	5,22	5,58	1,90
	Sim	10	CHUKAR	8,32	22,24	44,59	1,67	5,21	3,77	4,39

I.1.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

Tabela I.11: Parâmetros elétricos das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	3	0	BITTERN	0,94	15,3	74,5	173,95 - j6,02	683,45	42,01	0,594	0,632	0,0155
				BLUEJAY	0,95	16,1	77,9	175,73 - j6,84	676,28	41,32	0,672	0,714	0,0177
				CHUKAR	0,94	13,2	66,2	169,20 - j4,47	702,97	43,89	0,436	0,465	0,0115
				DRAKE	0,95	17,8	84,5	179,10 - j9,26	662,81	39,84	0,922	0,979	0,0239
				GROSBEAK	0,94	19,3	90,0	185,56 - j11,47	639,01	36,16	1,110	1,191	0,0296
				LINNET	0,86	20,4	90,0	259,89 - j21,56	454,85	0,00	1,495	1,521	0,0554
				RAIL	0,95	17,1	81,7	178,14 - j7,88	666,84	40,34	0,773	0,821	0,0203
			1	BITTERN	0,97	16,3	79,6	157,68 - j6,01	753,78	62,84	0,655	0,683	0,0155
				BLUEJAY	0,97	17,3	83,4	159,07 - j6,84	746,87	62,24	0,741	0,773	0,0176
				CHUKAR	0,96	14,1	70,3	154,06 - j4,46	771,96	64,31	0,479	0,499	0,0115
				DRAKE	0,97	19,0	90,0	164,21 - j9,25	722,54	58,32	1,004	1,050	0,0238
				GROSBEAK	0,95	19,3	90,0	182,64 - j11,49	649,12	43,61	1,127	1,185	0,0296
				LINNET	0,86	20,4	90,0	259,77 - j21,65	455,04	3,81	1,496	1,569	0,0556
				RAIL	0,97	18,4	88,1	160,68 - j7,87	739,01	61,55	0,856	0,893	0,0203
		4	0	BITTERN	0,93	14,2	69,3	142,57 - j4,53	833,99	57,87	0,544	0,580	0,0117
				BLUEJAY	0,93	15,0	72,5	143,77 - j5,15	826,83	57,24	0,616	0,657	0,0133
				CHUKAR	0,92	12,3	61,5	139,42 - j3,36	853,25	59,53	0,397	0,425	0,0087
				DRAKE	0,94	16,7	79,0	145,78 - j6,97	814,62	56,02	0,850	0,907	0,0179

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	4	0	GROSBEAK	0,94	18,3	85,2	147,81 - j8,64	802,50	54,93	1,047	1,116	0,0223
				LINNET	0,93	20,4	90,0	182,50 - j16,19	647,11	28,16	1,598	1,700	0,0417
				RAIL	0,93	16,0	76,4	145,13 - j5,93	818,79	56,53	0,712	0,759	0,0153
			2	BITTERN	0,95	14,4	70,5	136,36 - j4,53	871,88	65,38	0,569	0,599	0,0117
				BLUEJAY	0,95	15,3	73,9	137,37 - j5,15	865,22	64,89	0,645	0,679	0,0133
				CHUKAR	0,94	12,5	62,3	133,72 - j3,37	889,53	66,64	0,414	0,437	0,0087
				DRAKE	0,96	17,1	80,8	139,05 - j6,98	853,85	63,88	0,891	0,937	0,0179
				GROSBEAK	0,96	18,8	87,3	140,81 - j8,66	842,11	62,94	1,099	1,155	0,0223
				LINNET	0,92	20,4	89,9	183,51 - j16,20	643,58	27,77	1,589	1,664	0,0416
				RAIL	0,95	16,3	78,0	138,54 - j5,94	857,54	64,30	0,746	0,785	0,0153
		5	0	BITTERN	0,91	12,9	63,0	128,26 - j3,64	927,25	64,10	0,484	0,524	0,0094
				BLUEJAY	0,91	13,7	66,0	129,08 - j4,14	921,17	63,67	0,550	0,594	0,0106
				CHUKAR	0,90	11,1	55,7	126,13 - j2,71	943,22	65,18	0,352	0,382	0,0070
				DRAKE	0,92	15,3	72,2	130,33 - j5,60	911,59	62,91	0,762	0,822	0,0144
				GROSBEAK	0,92	16,8	78,1	131,65 - j6,95	901,61	62,23	0,942	1,014	0,0179
				LINNET	0,93	20,4	90,0	148,00 - j12,99	798,06	46,71	1,579	1,699	0,0335
				RAIL	0,92	14,6	69,7	129,98 - j4,77	914,52	63,22	0,637	0,687	0,0123
			1	BITTERN	0,92	13,2	64,2	124,02 - j3,64	958,92	76,42	0,501	0,536	0,0094
				BLUEJAY	0,92	14,0	67,4	124,79 - j4,14	952,74	75,97	0,569	0,609	0,0106

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Não	5	1	CHUKAR	0,91	11,4	56,8	121,91 - j2,71	975,87	77,68	0,364	0,390	0,0070
				DRAKE	0,93	15,6	73,7	126,10 - j5,60	942,01	75,03	0,787	0,842	0,0144
				GROSBEAK	0,93	17,1	79,7	127,50 - j6,95	930,74	74,10	0,972	1,040	0,0179
				LINNET	0,93	20,4	89,8	147,27 - j12,99	801,98	53,21	1,586	1,681	0,0334
				RAIL	0,93	14,9	71,2	125,73 - j4,77	945,33	75,42	0,658	0,704	0,0123
			3	BITTERN	0,93	12,9	63,2	124,62 - j3,64	954,29	64,98	0,499	0,536	0,0094
				BLUEJAY	0,93	13,8	66,5	125,33 - j4,14	948,63	64,67	0,566	0,609	0,0106
				CHUKAR	0,92	11,2	55,8	122,55 - j2,70	970,74	66,00	0,362	0,390	0,0069
				DRAKE	0,94	15,4	72,7	126,65 - j5,60	937,99	63,80	0,784	0,843	0,0144
				GROSBEAK	0,94	16,9	78,7	128,03 - j6,95	926,92	63,02	0,969	1,040	0,0179
				LINNET	0,93	20,4	89,9	147,43 - j12,99	801,09	44,06	1,584	1,682	0,0334
				RAIL	0,94	14,7	70,2	126,27 - j4,76	941,28	64,14	0,656	0,705	0,0123
	Sim	3	0	BITTERN	0,93	17,8	86,8	150,01 - j6,08	792,17	40,09	0,690	0,733	0,0156
				BLUEJAY	0,93	18,6	90,0	153,91 - j6,90	771,80	37,42	0,767	0,817	0,0177
				CHUKAR	0,93	15,6	77,8	144,58 - j4,51	822,44	42,89	0,511	0,544	0,0116
				DRAKE	0,92	19,0	89,9	172,15 - j9,32	689,40	24,17	0,958	1,019	0,0239
				GROSBEAK	0,86	19,3	89,9	200,60 - j11,55	591,37	7,78	1,026	1,068	0,0295
				RAIL	0,92	18,8	89,9	164,84 - j7,93	720,41	29,26	0,835	0,889	0,0203
			1	BITTERN	0,96	18,4	89,9	139,52 - j6,04	851,53	56,73	0,741	0,756	0,0155

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Sim	3	1	BLUEJAY	0,96	18,6	90,0	147,43 - j6,86	805,59	49,25	0,800	0,823	0,0176
				CHUKAR	0,95	17,1	85,3	128,10 - j4,50	928,01	67,88	0,577	0,594	0,0116
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	178,04 - j9,32	666,72	24,92	0,925	0,971	0,0238
				GROSBEAK	0,80	19,3	90,0	214,39 - j11,62	553,56	4,91	0,960	1,020	0,0297
				RAIL	0,91	18,8	90,0	165,58 - j7,91	717,20	33,87	0,830	0,866	0,0203
		4	0	BITTERN	0,92	18,3	89,1	108,76 - j4,58	1092,47	72,68	0,715	0,758	0,0117
				BLUEJAY	0,92	18,5	89,1	117,24 - j5,21	1013,21	61,06	0,757	0,807	0,0133
				CHUKAR	0,91	16,0	80,1	105,31 - j3,40	1129,11	75,84	0,527	0,561	0,0087
				DRAKE	0,90	19,0	89,9	131,99 - j7,02	899,23	44,30	0,939	1,008	0,0180
				GROSBEAK	0,89	19,3	89,9	145,98 - j8,72	812,43	31,65	1,060	1,151	0,0223
				LINNET	0,78	20,4	89,8	216,29 - j16,31	547,20	-8,46	1,349	1,387	0,0416
				RAIL	0,91	18,8	90,0	125,59 - j5,97	945,57	51,28	0,823	0,880	0,0153
			2	BITTERN	0,96	17,3	84,2	112,50 - j4,56	1056,30	66,55	0,691	0,708	0,0117
				BLUEJAY	0,96	18,2	88,1	113,42 - j5,18	1047,20	66,06	0,782	0,803	0,0133
				CHUKAR	0,95	15,0	74,8	110,09 - j3,39	1080,18	67,76	0,504	0,515	0,0087
				DRAKE	0,95	19,0	90,0	125,07 - j7,01	948,68	51,89	0,991	1,024	0,0179
				GROSBEAK	0,91	19,3	89,7	142,40 - j8,69	832,73	34,65	1,085	1,143	0,0222
				RAIL	0,95	18,8	90,0	119,34 - j5,97	994,83	58,78	0,867	0,894	0,0153
		5	0	BITTERN	0,90	16,2	79,1	102,64 - j3,69	1158,14	70,93	0,607	0,656	0,0094

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Sim	5	0	BLUEJAY	0,90	17,1	82,8	103,23 - j4,19	1151,07	70,71	0,689	0,743	0,0107
				CHUKAR	0,88	13,9	69,8	101,75 - j2,74	1168,87	70,32	0,438	0,475	0,0070
				DRAKE	0,90	18,9	89,8	105,35 - j5,67	1126,56	68,41	0,945	1,018	0,0145
				GROSBEAK	0,90	19,3	90,0	116,45 - j7,02	1018,45	53,52	1,066	1,148	0,0180
				LINNET	0,87	20,4	89,9	155,42 - j13,11	760,41	17,73	1,504	1,632	0,0335
				RAIL	0,90	18,2	86,9	104,54 - j4,82	1136,16	69,41	0,794	0,855	0,0123
			1	BITTERN	0,90	16,8	81,9	98,55 - j3,69	1206,05	85,00	0,632	0,687	0,0095
				BLUEJAY	0,90	17,6	85,0	100,22 - j4,19	1185,51	82,72	0,710	0,770	0,0107
				CHUKAR	0,90	14,6	73,2	95,75 - j2,74	1242,02	88,19	0,465	0,507	0,0070
				DRAKE	0,91	19,0	89,9	105,00 - j5,67	1130,29	75,58	0,947	1,021	0,0145
				GROSBEAK	0,91	19,3	90,0	115,11 - j7,01	1030,23	61,36	1,078	1,150	0,0179
				LINNET	0,84	20,4	90,0	162,58 - j13,20	727,32	16,95	1,439	1,619	0,0337
				RAIL	0,91	18,6	88,9	101,87 - j4,82	1165,78	80,70	0,815	0,882	0,0124
			3	BITTERN	0,94	15,7	76,8	101,40 - j3,67	1172,22	65,72	0,615	0,650	0,0094
				BLUEJAY	0,94	16,6	80,3	102,14 - j4,18	1163,36	65,30	0,697	0,737	0,0107
				CHUKAR	0,92	13,7	68,3	99,49 - j2,73	1195,40	66,69	0,448	0,473	0,0070
				DRAKE	0,95	18,5	87,6	103,39 - j5,65	1147,79	64,44	0,963	1,021	0,0145
				GROSBEAK	0,93	19,3	90,0	111,75 - j7,00	1060,95	53,34	1,111	1,181	0,0179
				LINNET	0,82	20,4	89,9	166,45 - j13,14	710,64	5,67	1,405	1,537	0,0336

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
345	Sim	5	3	RAIL	0,95	17,7	84,6	102,99 - j4,81	1153,14	64,76	0,806	0,854	0,0123

Tabela I.12: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 345 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	3	0	BITTERN	7,99	20,04	23,40	6,46	3,56	6,21	1,82
				BLUEJAY	8,28	20,56	23,23	6,18	3,50	5,93	1,77
				CHUKAR	8,29	19,74	23,19	7,05	3,78	6,79	1,86
				DRAKE	8,30	20,07	20,79	5,73	3,27	5,49	1,75
				GROSBEAK	8,28	20,05	20,98	5,01	3,81	4,63	1,32
				LINNET	8,06	24,66	19,58	0,46	0,46	0,40	1,00
				RAIL	8,30	19,79	23,33	5,92	3,38	5,67	1,75
			1	BITTERN	8,27	22,50	22,47	6,78	0,00	11,98	1,31
				BLUEJAY	8,27	22,48	22,44	6,82	0,00	11,97	1,32
				CHUKAR	8,27	22,52	22,21	6,68	0,00	11,96	1,27
				DRAKE	8,27	22,62	19,84	6,08	0,00	10,64	1,33
				GROSBEAK	8,32	23,08	20,17	3,29	0,00	5,92	1,25
				LINNET	8,29	24,41	19,48	0,39	0,00	0,76	1,03
				RAIL	8,31	22,59	22,18	6,85	0,00	11,96	1,34
		4	0	BITTERN	8,31	20,98	24,76	2,38	2,38	9,40	1,33
				BLUEJAY	8,29	20,90	24,74	2,33	2,33	9,42	1,33
				CHUKAR	8,31	21,10	24,53	2,53	2,53	9,35	1,35
				DRAKE	8,31	20,92	21,99	2,24	2,24	9,42	1,32

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	4	0	GROSBEAK	8,33	20,81	21,91	2,16	2,16	9,43	1,31
				LINNET	8,32	21,82	21,61	1,73	1,73	2,46	1,08
				RAIL	8,31	20,91	24,47	2,27	2,27	9,44	1,32
			2	BITTERN	8,28	21,38	23,58	3,49	0,00	12,52	1,30
				BLUEJAY	8,33	21,43	23,53	3,48	0,00	12,54	1,31
				CHUKAR	8,33	21,54	23,29	3,52	0,00	12,45	1,28
				DRAKE	8,28	21,33	20,85	3,45	0,00	12,56	1,33
				GROSBEAK	8,32	21,35	20,76	3,42	0,00	12,56	1,34
				LINNET	7,98	22,57	20,52	0,72	0,00	4,28	1,30
				RAIL	8,30	21,34	23,31	3,46	0,00	12,55	1,32
		5	0	BITTERN	8,30	21,22	24,60	3,29	2,87	10,63	2,31
				BLUEJAY	8,32	21,25	24,56	3,23	2,83	10,66	2,34
				CHUKAR	8,30	21,33	24,31	3,44	2,99	10,52	2,21
				DRAKE	8,33	21,46	21,78	3,13	2,76	10,72	2,39
				GROSBEAK	8,29	21,36	21,74	3,05	2,70	10,76	2,44
				LINNET	8,29	21,39	21,55	2,18	2,41	7,25	1,78
				RAIL	8,33	21,44	24,24	3,16	2,79	10,69	2,37
			1	BITTERN	8,28	21,69	24,95	5,27	1,87	10,86	3,13
				BLUEJAY	8,28	22,31	24,67	5,24	1,86	10,87	3,12

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Não	5	1	CHUKAR	8,29	21,56	24,77	5,32	1,89	10,86	3,14
				DRAKE	8,32	22,36	21,95	5,20	1,85	10,86	3,13
				GROSBEAK	8,32	22,30	21,88	5,15	1,85	10,84	3,14
				LINNET	8,28	22,02	21,52	3,30	1,07	6,86	3,13
				RAIL	8,30	22,30	24,43	5,21	1,85	10,86	3,13
			3	BITTERN	8,31	21,27	24,24	4,33	0,00	12,97	2,50
				BLUEJAY	8,32	22,21	23,84	4,35	0,00	13,00	2,56
				CHUKAR	8,30	21,31	23,97	4,28	0,00	12,92	2,41
				DRAKE	8,28	22,14	21,16	4,38	0,00	13,00	2,61
				GROSBEAK	8,33	22,18	21,06	4,39	0,00	13,01	2,64
				LINNET	8,33	22,14	20,98	2,90	0,00	8,06	3,19
				RAIL	8,32	22,19	23,60	4,37	0,00	13,00	2,59
	Sim	3	0	BITTERN	8,26	23,92	22,13	8,07	1,97	8,01	4,09
				BLUEJAY	8,31	24,54	22,20	6,56	2,13	6,47	3,09
				CHUKAR	8,29	24,38	21,72	8,50	2,25	8,42	3,78
				DRAKE	8,27	28,35	19,46	2,70	1,66	2,57	1,63
				GROSBEAK	8,31	31,42	19,06	0,93	0,76	0,85	1,22
				RAIL	8,30	28,45	21,73	3,62	1,90	3,49	1,91
			1	BITTERN	8,30	29,31	21,40	4,34	0,00	8,53	1,04

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Sim	3	1	BLUEJAY	8,30	29,07	21,53	3,50	0,00	6,78	1,07
				CHUKAR	8,26	27,97	21,13	5,55	0,00	10,82	1,05
				DRAKE	8,27	31,38	19,05	1,12	0,00	2,21	1,03
				GROSBEAK	8,23	32,17	18,83	0,33	0,00	0,65	1,00
				RAIL	8,30	30,79	21,46	1,71	0,00	3,37	1,03
		4	0	BITTERN	8,29	28,64	22,43	1,84	1,84	10,15	1,17
				BLUEJAY	8,29	27,03	23,03	2,25	2,25	10,13	1,68
				CHUKAR	8,27	28,26	22,16	1,92	1,92	10,18	1,17
				DRAKE	8,26	27,95	20,36	1,49	1,49	5,64	1,43
				GROSBEAK	8,28	29,05	20,30	1,28	1,28	2,94	1,06
				LINNET	7,63	29,96	19,04	0,30	0,30	0,30	1,00
				RAIL	8,32	27,67	22,78	1,71	1,71	7,44	1,55
			2	BITTERN	8,31	25,27	22,31	4,12	0,00	11,93	1,09
				BLUEJAY	8,27	25,18	22,31	4,11	0,00	11,95	1,08
				CHUKAR	8,30	25,14	22,05	4,13	0,00	11,89	1,10
				DRAKE	8,33	25,62	19,85	2,32	0,00	8,16	1,09
				GROSBEAK	8,31	30,23	19,30	1,15	0,00	4,73	1,11
				RAIL	8,32	25,55	22,19	3,13	0,00	10,08	1,00
		5	0	BITTERN	8,31	26,77	22,57	3,64	1,29	10,95	3,07

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Sim	5	0	BLUEJAY	8,28	26,60	22,57	3,57	1,28	11,02	3,08
				CHUKAR	8,30	24,98	22,69	3,85	1,31	10,71	3,13
				DRAKE	8,26	26,65	19,93	3,36	1,29	10,66	3,03
				GROSBEAK	8,29	25,57	20,45	2,60	1,40	7,65	2,91
				LINNET	8,27	29,43	19,84	1,15	1,46	2,08	1,12
				RAIL	8,25	26,53	22,38	3,44	1,28	10,83	3,08
			1	BITTERN	8,32	24,86	24,06	4,12	2,95	10,08	2,86
				BLUEJAY	8,29	24,81	24,06	4,07	2,84	9,84	2,92
				CHUKAR	8,28	24,33	23,95	4,42	3,13	10,48	2,69
				DRAKE	8,27	25,15	21,30	4,25	2,30	8,92	3,10
				GROSBEAK	8,29	27,70	20,58	3,39	1,35	6,70	3,12
				LINNET	8,32	30,50	19,84	0,77	0,88	1,27	1,01
				RAIL	8,33	24,95	23,79	4,01	2,71	9,57	2,98
			3	BITTERN	8,30	26,36	22,57	3,45	0,00	12,82	1,17
				BLUEJAY	8,33	26,48	22,53	3,47	0,00	12,85	1,17
				CHUKAR	8,29	26,18	22,32	3,38	0,00	12,73	1,14
				DRAKE	8,29	26,50	19,85	3,51	0,00	12,90	1,19
				GROSBEAK	8,27	26,87	19,96	2,72	0,00	9,64	1,40
				LINNET	8,24	33,50	18,98	0,57	0,00	1,74	1,96

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
345	Sim	5	3	RAIL	8,30	26,47	22,31	3,49	0,00	12,88	1,18

Tabela I.13: Parâmetros elétricos das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	3	0	BITTERN	0,94	18,4	89,9	206,52 - j6,00	1209,51	29,19	0,723	0,760	0,0154
				BLUEJAY	0,93	18,6	89,9	219,83 - j6,82	1136,17	21,99	0,776	0,809	0,0175
				CHUKAR	0,95	17,7	88,5	181,15 - j4,45	1379,21	45,29	0,590	0,627	0,0115
				RAIL	0,90	18,8	90,0	241,34 - j7,86	1034,78	11,76	0,825	0,847	0,0202
			1	BITTERN	0,93	18,4	90,0	208,62 - j6,02	1197,33	32,81	0,716	0,757	0,0155
				BLUEJAY	0,91	18,6	89,9	224,88 - j6,85	1110,66	23,83	0,758	0,805	0,0176
				CHUKAR	0,95	18,0	90,0	175,28 - j4,46	1425,40	55,98	0,609	0,640	0,0115
		4	0	BITTERN	0,93	18,4	90,0	156,95 - j4,52	1591,59	55,90	0,715	0,763	0,0116
				BLUEJAY	0,93	18,6	89,9	166,46 - j5,13	1500,44	47,60	0,770	0,823	0,0132
				CHUKAR	0,93	16,1	80,4	152,28 - j3,35	1640,88	58,92	0,527	0,562	0,0086
				DRAKE	0,93	19,0	90,0	185,04 - j6,94	1349,13	33,58	0,969	1,029	0,0179
				GROSBEAK	0,92	19,3	89,9	204,32 - j8,62	1221,38	21,81	1,096	1,150	0,0221
				RAIL	0,93	18,8	89,9	177,70 - j5,91	1405,33	38,91	0,841	0,898	0,0152
			2	BITTERN	0,95	18,3	89,2	155,05 - j4,52	1610,96	58,53	0,724	0,762	0,0116
				BLUEJAY	0,94	18,6	89,7	164,73 - j5,14	1516,12	49,84	0,778	0,816	0,0132
				CHUKAR	0,94	16,2	81,2	148,54 - j3,36	1682,23	63,67	0,540	0,573	0,0086
				DRAKE	0,91	19,0	90,0	188,07 - j6,95	1327,48	32,05	0,953	1,005	0,0178
				GROSBEAK	0,86	19,3	90,0	216,45 - j8,65	1153,15	15,56	1,034	1,104	0,0222

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	4	2	RAIL	0,92	18,8	90,0	178,34 - j5,92	1400,28	39,06	0,838	0,881	0,0152
		5	0	BITTERN	0,92	16,5	80,5	142,79 - j3,63	1749,67	61,10	0,630	0,678	0,0093
				BLUEJAY	0,92	17,5	84,5	143,61 - j4,12	1739,38	60,73	0,715	0,769	0,0106
				CHUKAR	0,91	14,2	71,1	140,54 - j2,69	1778,17	62,11	0,457	0,494	0,0069
				DRAKE	0,92	19,0	89,8	150,08 - j5,58	1663,53	54,51	0,957	1,033	0,0144
				GROSBEAK	0,92	19,3	89,9	165,10 - j6,91	1511,57	41,27	1,086	1,164	0,0178
				LINNET	0,87	20,4	90,0	222,74 - j12,98	1118,58	6,58	1,520	1,574	0,0333
				RAIL	0,93	18,8	89,5	144,45 - j4,75	1728,78	60,39	0,829	0,893	0,0122
			1	BITTERN	0,93	16,8	81,8	139,48 - j3,63	1791,17	70,69	0,644	0,685	0,0093
				BLUEJAY	0,93	17,8	85,8	140,31 - j4,12	1780,19	70,25	0,732	0,777	0,0106
				CHUKAR	0,92	14,5	72,3	137,21 - j2,69	1821,33	71,84	0,468	0,498	0,0069
				DRAKE	0,92	19,0	89,9	149,48 - j5,57	1670,12	60,53	0,961	1,015	0,0143
				GROSBEAK	0,91	19,3	90,0	164,85 - j6,91	1513,86	46,40	1,088	1,146	0,0177
				LINNET	0,82	20,4	90,0	239,17 - j13,11	1042,13	2,71	1,418	1,528	0,0336
				RAIL	0,93	18,8	89,9	143,23 - j4,75	1743,48	67,39	0,836	0,885	0,0122
			3	BITTERN	0,93	16,7	81,7	139,61 - j3,63	1789,48	61,48	0,644	0,689	0,0093
				BLUEJAY	0,93	17,7	85,6	140,44 - j4,12	1778,56	61,10	0,731	0,781	0,0106
				CHUKAR	0,92	14,4	72,1	137,39 - j2,69	1818,98	62,52	0,468	0,502	0,0069
				DRAKE	0,92	19,0	89,9	150,22 - j5,58	1661,90	51,34	0,956	1,019	0,0143

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	5	3	GROSBEAK	0,89	19,3	89,9	168,58 - j6,92	1480,50	35,69	1,064	1,137	0,0178
				RAIL	0,93	18,8	90,0	143,01 - j4,75	1746,22	58,82	0,838	0,893	0,0122
		6	0	BITTERN	0,91	14,8	72,2	134,58 - j3,04	1856,70	61,41	0,557	0,603	0,0078
				BLUEJAY	0,91	15,6	75,5	135,83 - j3,45	1839,40	60,41	0,631	0,682	0,0089
				CHUKAR	0,90	12,8	64,2	131,65 - j2,26	1898,43	63,63	0,407	0,442	0,0058
				DRAKE	0,92	17,3	82,0	138,16 - j4,67	1807,40	58,32	0,867	0,937	0,0120
				GROSBEAK	0,92	18,9	87,8	140,97 - j5,79	1770,50	55,93	1,062	1,147	0,0149
				LINNET	0,91	20,4	89,8	180,22 - j10,83	1382,21	23,78	1,567	1,679	0,0278
				RAIL	0,92	16,6	79,3	137,34 - j3,97	1818,80	59,17	0,728	0,786	0,0102
			2	BITTERN	0,92	15,1	73,9	130,25 - j3,03	1918,30	68,57	0,576	0,610	0,0078
				BLUEJAY	0,92	16,0	77,5	130,94 - j3,45	1907,95	68,21	0,654	0,693	0,0088
				CHUKAR	0,90	13,1	65,3	128,37 - j2,25	1946,83	69,60	0,417	0,443	0,0058
				DRAKE	0,93	17,9	84,8	132,01 - j4,66	1891,42	67,52	0,908	0,960	0,0120
				GROSBEAK	0,92	19,3	90,0	136,73 - j5,78	1825,09	62,54	1,095	1,153	0,0148
				LINNET	0,89	20,4	89,8	183,72 - j10,83	1356,08	22,85	1,537	1,605	0,0278
				RAIL	0,92	17,1	81,8	131,71 - j3,97	1896,34	67,80	0,759	0,803	0,0102
			4	BITTERN	0,91	15,3	74,6	130,13 - j3,04	1920,18	61,04	0,576	0,620	0,0078
				BLUEJAY	0,91	16,2	78,2	130,85 - j3,45	1909,32	60,67	0,655	0,703	0,0089
				CHUKAR	0,90	13,2	66,1	128,15 - j2,25	1950,19	62,10	0,418	0,451	0,0058

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	6	4	DRAKE	0,92	18,1	85,5	131,97 - j4,67	1892,01	59,98	0,908	0,973	0,0120
				GROSBEAK	0,93	19,2	89,2	136,83 - j5,80	1823,86	55,10	1,095	1,157	0,0149
				RAIL	0,92	17,3	82,5	131,66 - j3,97	1897,14	60,24	0,759	0,814	0,0102
		7	0	BITTERN	0,89	12,9	62,7	136,06 - j2,61	1836,74	52,35	0,473	0,519	0,0067
				BLUEJAY	0,89	13,5	65,3	137,75 - j2,97	1814,00	50,89	0,533	0,585	0,0076
				CHUKAR	0,88	11,3	56,7	131,01 - j1,94	1907,84	57,05	0,351	0,388	0,0050
				DRAKE	0,90	14,9	70,6	140,66 - j4,01	1775,93	48,33	0,731	0,801	0,0103
				GROSBEAK	0,90	16,2	75,5	143,32 - j4,97	1742,23	46,22	0,896	0,980	0,0128
				LINNET	0,91	20,4	89,8	155,90 - j9,31	1597,87	36,06	1,555	1,703	0,0240
				RAIL	0,90	14,3	68,4	139,65 - j3,41	1789,16	49,33	0,614	0,672	0,0088
			1	BITTERN	0,90	13,3	65,0	129,30 - j2,61	1932,68	65,17	0,497	0,535	0,0067
				BLUEJAY	0,90	14,1	67,9	130,60 - j2,96	1913,20	63,97	0,562	0,605	0,0076
				CHUKAR	0,89	11,6	57,8	126,72 - j1,94	1972,34	67,28	0,363	0,391	0,0050
				DRAKE	0,91	15,6	73,8	132,68 - j4,01	1882,57	61,93	0,775	0,833	0,0103
				GROSBEAK	0,91	17,0	79,0	135,20 - j4,97	1846,58	59,61	0,950	1,020	0,0128
				LINNET	0,91	20,4	89,7	154,80 - j9,30	1609,20	41,23	1,565	1,668	0,0239
				RAIL	0,91	15,0	71,4	131,89 - j3,41	1894,28	62,84	0,650	0,698	0,0088
			3	BITTERN	0,90	13,7	66,7	125,91 - j2,61	1984,72	63,54	0,511	0,540	0,0067
				BLUEJAY	0,91	14,4	69,6	127,01 - j2,96	1967,30	62,59	0,578	0,611	0,0076

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	7	3	CHUKAR	0,89	11,9	59,5	123,07 - j1,94	2030,84	66,02	0,374	0,396	0,0050
				DRAKE	0,91	15,9	75,5	129,32 - j4,00	1931,39	60,31	0,795	0,837	0,0103
				GROSBEAK	0,92	17,4	80,9	131,53 - j4,97	1898,03	58,34	0,976	1,027	0,0127
				LINNET	0,90	20,4	89,7	155,70 - j9,30	1599,99	35,52	1,556	1,641	0,0238
				RAIL	0,91	15,3	73,1	128,50 - j3,41	1944,19	61,25	0,667	0,703	0,0087
		8	0	BITTERN	0,87	11,3	55,2	138,50 - j2,30	1804,60	43,26	0,407	0,452	0,0059
				BLUEJAY	0,87	11,9	57,4	140,22 - j2,61	1782,35	41,86	0,459	0,509	0,0067
				CHUKAR	0,86	10,0	49,8	133,86 - j1,71	1867,35	47,21	0,301	0,337	0,0044
				DRAKE	0,88	13,1	62,0	143,17 - j3,52	1745,09	39,37	0,628	0,697	0,0090
				GROSBEAK	0,88	14,2	66,2	145,92 - j4,37	1711,70	37,31	0,770	0,852	0,0112
				LINNET	0,90	18,3	80,5	153,43 - j8,17	1624,81	32,10	1,383	1,522	0,0210
				RAIL	0,88	12,6	60,1	142,13 - j3,00	1758,11	40,34	0,528	0,585	0,0077
			2	BITTERN	0,88	11,9	58,1	128,98 - j2,29	1937,75	55,54	0,437	0,468	0,0059
				BLUEJAY	0,89	12,5	60,4	130,90 - j2,60	1909,09	53,65	0,491	0,526	0,0067
				CHUKAR	0,87	10,5	52,6	124,57 - j1,70	2006,48	59,91	0,323	0,347	0,0044
				DRAKE	0,89	13,7	64,9	134,30 - j3,51	1860,18	50,26	0,670	0,717	0,0090
				GROSBEAK	0,90	14,8	69,0	137,77 - j4,35	1812,84	47,11	0,816	0,872	0,0112
				LINNET	0,91	18,8	82,6	147,57 - j8,15	1688,98	38,97	1,438	1,528	0,0209
				RAIL	0,89	13,2	63,0	133,12 - j2,99	1877,09	51,55	0,563	0,603	0,0077

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Não	8	4	BITTERN	0,88	12,4	60,3	124,81 - j2,28	2002,40	55,76	0,451	0,475	0,0059
				BLUEJAY	0,88	13,0	62,7	126,43 - j2,60	1976,49	54,17	0,509	0,535	0,0066
				CHUKAR	0,87	10,9	54,4	120,69 - j1,70	2070,96	59,9	0,334	0,353	0,0044
				DRAKE	0,89	14,3	67,5	129,52 - j3,51	1928,74	51,01	0,695	0,728	0,0090
				GROSBEAK	0,89	15,4	71,8	132,72 - j4,35	1881,64	48	0,847	0,886	0,0112
				LINNET	0,91	19,5	85,8	142,42 - j8,16	1749,68	39,6	1,490	1,588	0,0209
				RAIL	0,89	13,7	65,6	128,38 - j2,99	1946,35	52,28	0,584	0,613	0,0077
	Sim	3	0	CHUKAR	0,86	18,0	90,0	193,22 - j4,48	1293,18	17,12	0,552	0,575	0,0115
			1	CHUKAR	0,81	18,0	89,9	204,40 - j4,51	1222,48	15,03	0,522	0,556	0,0115
		4	0	BITTERN	0,85	18,4	90,0	169,59 - j4,56	1473,11	22,47	0,662	0,712	0,0116
				BLUEJAY	0,81	18,6	90,0	188,80 - j5,17	1323,15	10,56	0,678	0,714	0,0132
				CHUKAR	0,89	18,0	90,0	141,03 - j3,39	1771,70	45,33	0,569	0,616	0,0087
			2	BITTERN	0,81	18,4	90,0	179,34 - j4,56	1393,12	15,65	0,626	0,671	0,0116
				CHUKAR	0,91	18,0	90,0	136,48 - j3,37	1830,61	49,92	0,588	0,616	0,0086
		5	0	BITTERN	0,88	18,4	90,0	132,45 - j3,67	1886,08	46,15	0,679	0,745	0,0094
				BLUEJAY	0,88	18,6	89,9	140,79 - j4,17	1774,10	38,07	0,730	0,801	0,0107
				CHUKAR	0,89	17,6	88,3	115,41 - j2,73	2165,03	65,85	0,558	0,602	0,0070
				DRAKE	0,85	19,0	90,0	160,05 - j5,63	1560,12	22,28	0,897	0,969	0,0144
				GROSBEAK	0,78	19,3	89,9	190,18 - j6,97	1312,79	3,67	0,943	0,986	0,0177

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	5	0	RAIL	0,87	18,8	90,0	151,59 - j4,80	1647,58	28,86	0,790	0,860	0,0122
			1	BITTERN	0,86	18,4	90,0	136,44 - j3,66	1830,94	47,41	0,659	0,715	0,0093
				BLUEJAY	0,84	18,6	90,0	146,93 - j4,18	1700,14	37,47	0,699	0,779	0,0107
				CHUKAR	0,91	18,0	89,9	111,04 - j2,73	2250,06	79,09	0,580	0,620	0,0070
				DRAKE	0,81	19,0	90,0	168,90 - j5,69	1478,49	20,38	0,851	0,965	0,0145
				GROSBEAK	0,78	19,3	90,0	191,87 - j7,06	1301,17	6,73	0,935	1,048	0,0180
				RAIL	0,83	18,8	89,9	158,42 - j4,83	1576,58	28,09	0,756	0,859	0,0123
			3	BITTERN	0,89	18,4	90,0	130,78 - j3,65	1910,19	43,6	0,687	0,732	0,0093
				BLUEJAY	0,84	18,6	90,0	147,27 - j4,16	1696,25	28,09	0,697	0,768	0,0106
				CHUKAR	0,92	17,5	87,5	111,78 - j2,72	2235,12	66,02	0,576	0,610	0,0070
				DRAKE	0,72	19,0	89,9	190,04 - j5,66	1314,35	0	0,755	0,859	0,0144
				RAIL	0,80	18,8	90,0	165,50 - j4,82	1509,33	14,56	0,724	0,821	0,0123
		6	0	BITTERN	0,89	17,8	87,0	114,45 - j3,08	2182,81	58,02	0,657	0,721	0,0079
				BLUEJAY	0,88	18,6	90,0	117,50 - j3,50	2125,86	54,49	0,730	0,801	0,0089
				CHUKAR	0,88	15,8	79,1	109,82 - j2,29	2275,37	63,04	0,490	0,542	0,0059
				DRAKE	0,86	19,0	89,9	132,97 - j4,74	1877,74	37,31	0,902	0,998	0,0121
				GROSBEAK	0,86	19,3	90,0	145,98 - j5,86	1709,75	25,85	1,026	1,129	0,0150
				RAIL	0,87	18,8	89,9	126,75 - j4,03	1970,43	43,82	0,790	0,868	0,0103
			2	BITTERN	0,90	18,4	89,8	108,74 - j3,07	2297,17	67,91	0,691	0,732	0,0078

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	6	2	BLUEJAY	0,89	18,6	89,9	115,90 - j3,48	2155,15	58,15	0,740	0,786	0,0089
				CHUKAR	0,89	16,2	81,1	104,31 - j2,28	2395,60	73,28	0,515	0,548	0,0058
				DRAKE	0,84	19,0	90,0	135,63 - j4,70	1841,10	35,98	0,884	0,953	0,0120
				GROSBEAK	0,82	19,3	89,9	153,02 - j5,85	1631,39	21,31	0,979	1,080	0,0149
				RAIL	0,87	18,8	90,0	125,51 - j4,00	1989,89	46,68	0,796	0,839	0,0102
			4	BITTERN	0,92	18,4	89,7	105,99 - j3,06	2356,76	62,34	0,710	0,753	0,0078
				BLUEJAY	0,91	18,6	90,0	112,80 - j3,48	2214,28	53,15	0,760	0,798	0,0089
				CHUKAR	0,90	16,2	81,2	102,83 - j2,28	2430,02	65,56	0,523	0,562	0,0058
				DRAKE	0,88	19,0	90,0	129,64 - j4,71	1925,91	34,11	0,924	1,010	0,0120
				RAIL	0,90	18,8	89,9	122,21 - j4,00	2043,52	42,01	0,818	0,876	0,0102
		7	0	BITTERN	0,84	15,7	76,5	117,79 - j2,66	2121,28	46,31	0,548	0,614	0,0068
				BLUEJAY	0,85	16,4	79,1	119,76 - j3,02	2086,10	44,39	0,615	0,688	0,0077
				CHUKAR	0,83	14,0	69,9	112,70 - j1,98	2217,58	51,55	0,410	0,462	0,0051
				DRAKE	0,86	17,7	84,0	123,82 - j4,08	2016,80	40,35	0,832	0,927	0,0104
				GROSBEAK	0,86	19,2	89,5	127,18 - j5,06	1962,69	37,4	1,012	1,124	0,0129
				LINNET	0,77	20,4	89,8	181,85 - j9,38	1371,08	-2,21	1,333	1,437	0,0239
				RAIL	0,85	17,2	81,9	122,43 - j3,47	2040,32	41,77	0,702	0,783	0,0089
			1	BITTERN	0,86	16,4	80,2	109,66 - j2,65	2278,48	61,98	0,588	0,640	0,0068
				BLUEJAY	0,86	17,2	83,1	111,59 - j3,01	2238,74	59,71	0,660	0,715	0,0077

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	7	1	CHUKAR	0,85	14,7	73,6	104,34 - j1,97	2395,11	68,66	0,442	0,486	0,0050
				DRAKE	0,87	18,7	88,4	115,64 - j4,06	2159,13	54,83	0,891	0,959	0,0104
				GROSBEAK	0,84	19,3	89,9	129,26 - j5,06	1931,08	39,3	0,996	1,114	0,0129
				LINNET	0,77	20,4	89,9	181,52 - j9,50	1373,49	0,93	1,338	1,476	0,0242
				RAIL	0,86	18,1	86,3	113,97 - j3,46	2191,60	56,92	0,754	0,813	0,0088
			3	BITTERN	0,87	16,4	80,0	108,63 - j2,63	2299,98	55,75	0,593	0,627	0,0067
				BLUEJAY	0,87	17,1	82,7	110,79 - j2,99	2254,86	53,26	0,664	0,701	0,0076
				CHUKAR	0,85	14,6	73,2	103,81 - j1,96	2407,28	61,47	0,444	0,472	0,0050
				DRAKE	0,87	18,7	88,4	114,29 - j4,04	2184,71	49,35	0,901	0,947	0,0103
				GROSBEAK	0,85	19,3	89,9	126,60 - j5,01	1971,68	35,63	1,015	1,071	0,0128
				RAIL	0,87	18,0	86,1	112,97 - j3,44	2210,98	50,92	0,760	0,800	0,0088
		8	0	BITTERN	0,81	14,2	69,3	119,13 - j2,35	2097,65	37,42	0,475	0,544	0,0060
				BLUEJAY	0,81	14,8	71,6	121,01 - j2,66	2065,00	35,72	0,534	0,609	0,0068
				CHUKAR	0,79	12,7	63,7	113,83 - j1,75	2195,69	42,62	0,356	0,411	0,0045
				DRAKE	0,82	16,1	76,4	124,34 - j3,59	2008,90	32,69	0,726	0,824	0,0092
				GROSBEAK	0,83	17,4	80,9	127,27 - j4,45	1961,89	30,3	0,886	0,999	0,0113
				LINNET	0,81	20,3	89,5	151,87 - j8,27	1641,29	10,87	1,399	1,534	0,0211
				RAIL	0,82	15,6	74,4	123,12 - j3,06	2029,32	33,85	0,612	0,696	0,0078
			2	BITTERN	0,83	15,3	74,8	106,55 - j2,32	2345,29	54,62	0,530	0,574	0,0059

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
500	Sim	8	2	BLUEJAY	0,83	16,0	77,3	108,69 - j2,64	2298,85	52,06	0,594	0,640	0,0067
				CHUKAR	0,81	13,9	69,3	101,25 - j1,73	2468,41	61,3	0,399	0,439	0,0044
				DRAKE	0,84	17,3	82,0	112,70 - j3,56	2216,15	47,36	0,800	0,859	0,0091
				GROSBEAK	0,85	18,6	86,6	115,80 - j4,41	2155,79	44,16	0,973	1,043	0,0112
				LINNET	0,79	20,2	89,2	158,41 - j8,38	1573,73	7,12	1,344	1,545	0,0214
				RAIL	0,84	16,8	80,1	111,08 - j3,03	2248,94	49,32	0,677	0,727	0,0077
			4	BITTERN	0,84	15,3	74,5	105,97 - j2,31	2358,08	48,86	0,533	0,566	0,0059
				BLUEJAY	0,84	15,9	77,0	107,84 - j2,62	2316,97	46,77	0,598	0,633	0,0067
				CHUKAR	0,82	13,7	68,4	101,14 - j1,72	2471,15	54,58	0,400	0,428	0,0044
				DRAKE	0,85	17,3	82,1	111,24 - j3,55	2245,05	43,01	0,811	0,858	0,0090
				GROSBEAK	0,85	18,7	86,8	114,56 - j4,40	2179,00	39,62	0,983	1,044	0,0112
				LINNET	0,65	20,4	89,7	186,79 - j8,36	1335,71	-12,85	1,138	1,350	0,0213
				RAIL	0,84	16,8	80,1	109,97 - j3,02	2271,71	44,47	0,684	0,722	0,0077

Tabela I.14: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 500 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	3	0	BITTERN	8,29	20,20	27,26	3,28	3,01	2,91	1,09
				BLUEJAY	8,30	20,32	27,08	2,30	2,20	2,02	1,04
				CHUKAR	8,30	19,09	26,76	7,73	5,14	7,29	1,50
				RAIL	8,32	20,46	26,40	1,28	1,22	1,12	1,05
			1	BITTERN	8,33	21,21	26,53	2,12	0,00	3,94	1,16
				BLUEJAY	8,31	21,23	26,40	1,39	0,00	2,62	1,14
				CHUKAR	8,32	20,59	26,10	5,54	0,00	9,99	1,24
		4	0	BITTERN	8,33	20,55	28,43	2,46	2,46	8,82	1,00
				BLUEJAY	8,31	20,71	28,57	2,58	2,58	5,92	1,07
				CHUKAR	8,33	20,41	28,31	2,69	2,69	9,54	1,07
				DRAKE	8,30	20,84	25,82	2,34	2,34	2,99	1,08
				GROSBEAK	8,30	20,59	25,35	1,63	1,63	1,88	1,06
				RAIL	8,30	20,73	28,44	2,59	2,59	3,78	1,08
			2	BITTERN	8,31	20,82	27,09	2,42	0,00	11,87	1,38
				BLUEJAY	8,26	21,04	27,05	1,58	0,00	9,38	1,37
				CHUKAR	8,32	20,98	26,83	3,23	0,00	12,51	1,28
				DRAKE	8,26	21,38	24,42	0,86	0,00	4,93	1,23
				GROSBEAK	8,26	21,71	24,05	0,45	0,00	2,28	1,14

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	4	2	RAIL	8,28	21,20	26,89	1,11	0,00	6,52	1,29
		5	0	BITTERN	8,32	20,42	28,68	3,43	3,68	10,87	1,85
				BLUEJAY	8,32	20,47	28,59	3,37	3,62	10,91	1,88
				CHUKAR	8,33	20,44	28,47	3,61	3,87	10,76	1,76
				DRAKE	8,33	20,52	25,99	2,98	3,48	9,11	1,60
				GROSBEAK	8,32	20,50	26,18	2,53	3,55	5,42	1,19
				LINNET	8,29	20,66	24,43	0,78	1,24	1,28	1,00
				RAIL	8,31	20,37	28,39	3,31	3,55	10,94	1,86
			1	BITTERN	8,32	20,94	28,66	5,31	1,73	11,04	3,18
				BLUEJAY	8,33	20,92	28,61	5,30	1,72	11,05	3,19
				CHUKAR	8,30	20,99	28,44	5,33	1,75	11,01	3,14
				DRAKE	8,30	21,07	25,83	4,23	1,41	8,74	3,09
				GROSBEAK	8,31	21,38	25,53	2,88	1,08	5,85	2,78
				LINNET	8,23	22,73	23,25	0,38	0,54	0,54	1,01
				RAIL	8,30	21,00	28,34	4,99	1,63	10,35	3,07
			3	BITTERN	8,32	20,87	27,89	4,61	0,00	13,01	3,09
				BLUEJAY	8,29	20,79	27,88	4,62	0,00	13,02	3,12
				CHUKAR	8,30	20,93	27,67	4,57	0,00	12,97	3,01
				DRAKE	8,32	21,15	25,15	3,65	0,00	10,09	3,23

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	5	3	GROSBEAK	8,30	21,59	24,98	2,28	0,00	6,19	3,34
				RAIL	8,29	20,82	27,65	4,39	0,00	12,36	3,04
		6	0	BITTERN	8,31	20,61	29,30	2,83	3,18	11,22	1,09
				BLUEJAY	8,33	20,66	29,21	2,73	3,07	11,07	1,09
				CHUKAR	8,32	20,64	29,11	3,13	3,52	11,43	1,09
				DRAKE	8,31	20,73	26,44	2,55	2,88	10,72	1,10
				GROSBEAK	8,33	20,70	26,36	2,41	2,74	10,23	1,10
				LINNET	8,32	20,93	25,75	1,44	2,33	3,10	1,06
				RAIL	8,33	20,65	28,95	2,62	2,95	10,88	1,09
			2	BITTERN	8,30	21,04	28,96	4,04	1,32	12,05	3,34
				BLUEJAY	8,31	21,03	28,92	4,05	1,32	12,06	3,37
				CHUKAR	8,31	21,13	28,70	4,01	1,33	12,02	3,25
				DRAKE	8,32	21,05	26,19	4,08	1,31	12,07	3,42
				GROSBEAK	8,33	21,24	25,98	3,61	1,18	10,89	3,38
				LINNET	8,31	21,74	24,82	1,09	0,45	3,52	2,57
				RAIL	8,31	21,02	28,67	4,07	1,32	12,07	3,40
			4	BITTERN	8,32	21,14	28,34	3,77	0,00	13,44	3,88
				BLUEJAY	8,32	21,14	28,30	3,75	0,00	13,46	3,88
				CHUKAR	8,31	21,24	28,09	3,82	0,00	13,40	3,82

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	6	4	DRAKE	8,31	21,09	25,59	3,69	0,00	13,48	3,88
				GROSBEAK	8,32	20,81	25,58	3,64	0,00	12,85	5,21
				RAIL	8,30	21,06	28,08	3,71	0,00	13,47	3,88
		7	0	BITTERN	8,31	20,70	29,99	3,63	3,71	8,56	2,31
				BLUEJAY	8,30	20,69	29,94	3,53	3,63	8,31	2,32
				CHUKAR	8,31	20,75	29,75	3,91	3,92	9,36	2,30
				DRAKE	8,31	20,74	27,18	3,34	3,46	7,88	2,35
				GROSBEAK	8,31	20,74	27,06	3,20	3,32	7,55	2,38
				LINNET	8,29	20,76	26,55	2,34	3,28	5,41	1,73
				RAIL	8,31	20,72	29,66	3,41	3,53	8,04	2,33
			1	BITTERN	8,31	21,02	29,35	4,36	2,11	11,38	2,70
				BLUEJAY	8,31	21,10	29,26	4,29	2,08	11,18	2,73
				CHUKAR	8,30	21,05	29,12	4,45	2,18	11,67	2,63
				DRAKE	8,31	21,10	26,55	4,17	2,02	10,84	2,77
				GROSBEAK	8,31	21,02	26,50	4,02	1,96	10,42	2,80
				LINNET	8,33	21,19	25,79	2,69	1,45	6,69	2,87
				RAIL	8,30	21,05	29,04	4,23	2,05	11,01	2,75
			3	BITTERN	8,32	21,20	29,14	3,37	0,95	12,29	3,93
				BLUEJAY	8,29	21,13	29,14	3,32	0,93	12,15	3,97

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	7	3	CHUKAR	8,30	21,22	28,93	3,47	1,00	12,63	3,82
				DRAKE	8,30	21,12	26,43	3,21	0,89	11,73	4,06
				GROSBEAK	8,32	21,16	26,30	3,12	0,85	11,37	4,13
				LINNET	8,31	21,57	25,44	1,94	0,48	6,61	4,18
				RAIL	8,30	21,08	28,92	3,26	0,91	11,90	4,02
		8	0	BITTERN	8,33	20,99	30,60	2,18	3,98	6,15	1,30
				BLUEJAY	8,31	20,96	30,54	2,13	3,89	5,96	1,31
				CHUKAR	8,32	21,00	30,45	2,34	4,25	6,69	1,27
				DRAKE	8,32	21,07	27,70	2,04	3,71	5,63	1,33
				GROSBEAK	8,32	20,99	27,61	1,97	3,56	5,37	1,35
				LINNET	8,32	20,94	26,97	1,80	3,16	4,77	1,44
				RAIL	8,31	20,94	30,27	2,07	3,78	5,76	1,32
			2	BITTERN	8,31	21,36	29,40	2,97	1,58	10,29	2,78
				BLUEJAY	8,31	21,33	29,37	2,89	1,54	9,96	2,82
				CHUKAR	8,31	21,37	29,19	3,16	1,70	11,08	2,68
				DRAKE	8,32	21,48	26,56	2,73	1,45	9,33	2,88
				GROSBEAK	8,27	21,35	26,52	2,58	1,37	8,77	2,93
				LINNET	8,31	21,44	25,88	2,21	1,18	7,38	3,03
				RAIL	8,30	21,35	29,10	2,79	1,48	9,56	2,86

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Não	8	4	BITTERN	8,32	21,45	29,26	2,53	0,68	11,58	4,20
				BLUEJAY	8,32	21,45	29,21	2,47	0,65	11,28	4,26
				CHUKAR	8,30	21,34	29,11	2,71	0,75	12,35	4,03
				DRAKE	8,31	21,39	26,52	2,34	0,61	10,68	4,36
				GROSBEAK	8,30	21,40	26,41	2,22	0,56	10,09	4,47
				LINNET	8,29	21,46	25,80	1,89	0,45	8,50	4,72
				RAIL	8,32	21,38	28,99	2,39	0,62	10,92	4,32
	Sim	3	0	CHUKAR	8,29	26,79	24,51	1,58	1,23	1,45	1,28
			1	CHUKAR	8,31	29,23	23,72	0,63	0,00	1,25	1,00
		4	0	BITTERN	8,29	24,99	26,36	1,43	1,43	1,70	1,02
				BLUEJAY	8,33	27,57	25,29	0,83	0,88	0,83	1,00
				CHUKAR	8,29	24,55	26,51	1,93	1,93	4,84	1,13
			2	BITTERN	8,29	26,95	25,03	0,44	0,00	2,10	1,05
				CHUKAR	8,29	23,75	25,34	1,96	0,00	7,78	1,07
		5	0	BITTERN	8,31	24,32	26,81	2,59	2,30	6,16	1,68
				BLUEJAY	8,32	24,54	26,83	2,22	2,35	4,61	1,35
				CHUKAR	8,32	23,92	26,11	3,82	2,07	10,65	2,84
				DRAKE	8,31	24,93	23,86	1,40	1,85	2,46	1,10
				GROSBEAK	8,28	27,81	22,49	0,58	0,87	0,94	1,02

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	5	0	RAIL	8,29	24,81	26,48	1,75	2,15	3,23	1,17
			1	BITTERN	8,30	25,65	26,51	2,26	1,01	4,41	2,26
				BLUEJAY	8,23	26,93	26,33	1,62	1,13	3,05	1,48
				CHUKAR	8,32	23,53	26,97	5,30	2,15	10,52	3,18
				DRAKE	8,29	27,04	23,40	0,86	1,04	1,38	1,01
				GROSBEAK	8,32	27,19	22,65	0,49	0,65	0,74	1,01
				RAIL	8,32	26,42	26,19	1,19	1,23	2,03	1,01
			3	BITTERN	8,31	24,11	26,17	2,48	0,00	7,32	2,18
				BLUEJAY	8,30	26,56	25,73	1,37	0,00	4,06	2,18
				CHUKAR	8,30	23,21	26,01	3,74	0,00	12,84	1,49
				DRAKE	8,14	27,35	22,28	0,46	0,00	1,37	2,00
				RAIL	8,29	29,05	24,84	0,75	0,00	2,37	1,79
		6	0	BITTERN	8,32	23,73	27,25	2,58	2,13	9,56	1,44
				BLUEJAY	8,31	23,70	27,30	2,42	2,26	8,72	1,27
				CHUKAR	8,26	23,52	27,02	3,00	2,29	10,56	1,61
				DRAKE	8,30	24,39	24,62	1,94	2,42	5,25	1,02
				GROSBEAK	8,32	24,44	24,44	1,53	2,14	3,60	1,06
				RAIL	8,33	24,19	27,10	2,10	2,37	6,35	1,00
			2	BITTERN	8,31	23,36	27,34	2,98	1,32	9,85	2,44

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	6	2	BLUEJAY	8,29	23,67	27,08	2,64	1,01	8,15	2,71
				CHUKAR	8,30	23,19	27,19	3,23	1,53	10,71	2,31
				DRAKE	8,32	25,58	23,85	1,46	0,62	4,44	2,43
				GROSBEAK	8,31	26,71	23,42	0,92	0,54	2,76	1,78
				RAIL	8,30	24,04	26,62	2,12	0,75	6,44	2,92
			4	BITTERN	8,30	22,88	26,75	2,53	0,00	13,05	1,81
				BLUEJAY	8,29	23,18	26,61	2,21	0,00	10,89	2,50
				CHUKAR	8,27	22,91	26,50	2,72	0,00	13,32	1,54
				DRAKE	8,27	23,75	23,76	1,94	0,00	7,15	4,71
				RAIL	8,32	23,55	26,29	2,39	0,00	8,60	4,23
		7	0	BITTERN	8,30	24,21	27,83	2,37	2,37	6,58	1,94
				BLUEJAY	8,32	24,28	27,77	2,34	2,34	6,29	1,98
				CHUKAR	8,33	24,32	27,54	2,46	2,48	7,35	1,85
				DRAKE	8,31	24,46	25,00	2,23	2,28	5,77	2,00
				GROSBEAK	8,31	24,38	24,94	2,09	2,23	5,34	1,95
				LINNET	8,09	26,51	22,95	0,42	0,95	0,93	1,00
				RAIL	8,29	24,38	27,50	2,30	2,30	5,97	2,01
			1	BITTERN	8,32	23,86	27,35	3,08	1,56	8,84	2,24
				BLUEJAY	8,32	23,92	27,30	3,00	1,50	8,49	2,23

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	7	1	CHUKAR	8,29	23,75	27,12	3,27	1,71	9,82	2,26
				DRAKE	8,31	24,23	24,51	2,83	1,39	7,81	2,21
				GROSBEAK	8,29	25,55	24,46	1,71	1,58	5,00	1,41
				LINNET	8,30	28,99	22,28	0,50	0,82	1,03	1,08
				RAIL	8,31	24,16	26,98	2,89	1,44	8,08	2,22
			3	BITTERN	8,32	23,61	27,40	2,25	0,81	8,89	2,87
				BLUEJAY	8,32	23,57	27,37	2,14	0,76	8,51	2,92
				CHUKAR	8,32	23,48	27,25	2,40	0,96	9,70	2,66
				DRAKE	8,31	23,76	24,58	2,04	0,67	7,96	3,07
				GROSBEAK	8,33	25,06	24,07	1,57	0,47	5,68	3,37
				RAIL	8,32	23,69	27,07	2,08	0,71	8,17	3,01
		8	0	BITTERN	8,32	24,86	28,36	1,53	2,68	4,80	1,18
				BLUEJAY	8,29	24,76	28,32	1,49	2,62	4,64	1,18
				CHUKAR	8,31	25,02	28,18	1,67	2,85	5,33	1,19
				DRAKE	8,29	24,93	25,48	1,41	2,50	4,35	1,20
				GROSBEAK	8,33	24,95	25,33	1,36	2,40	4,14	1,22
				LINNET	8,30	26,02	24,04	0,76	1,66	1,93	1,09
				RAIL	8,29	24,93	27,97	1,44	2,55	4,46	1,19
			2	BITTERN	8,30	24,04	27,48	2,04	1,28	8,28	1,77

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
500	Sim	8	2	BLUEJAY	8,30	24,29	27,36	1,99	1,22	7,94	1,85
				CHUKAR	8,27	23,96	27,29	2,14	1,44	9,11	1,67
				DRAKE	8,29	24,29	24,64	1,90	1,13	7,39	1,99
				GROSBEAK	8,31	24,24	24,55	1,83	1,05	6,97	2,11
				LINNET	8,28	27,80	23,10	0,58	0,91	1,96	1,05
				RAIL	8,30	24,30	27,10	1,94	1,16	7,61	1,93
			4	BITTERN	8,30	23,90	27,52	1,72	0,61	8,65	2,87
				BLUEJAY	8,33	24,01	27,43	1,68	0,57	8,37	2,97
				CHUKAR	8,29	23,62	27,43	1,86	0,73	9,41	2,66
				DRAKE	8,30	24,01	24,68	1,60	0,51	7,86	3,14
				GROSBEAK	8,30	24,02	24,57	1,53	0,46	7,38	3,32
				LINNET	7,28	25,38	22,86	0,29	0,29	1,15	1,41
				RAIL	8,29	23,93	27,18	1,63	0,53	8,05	3,07

Tabela I.15: Parâmetros elétricos das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1250	Não	9	0	BITTERN	0,88	18,4	89,8	182,87 - j2,02	8543,21	31,84	0,681	0,727	0,0052
				BLUEJAY	0,86	18,6	90,0	196,56 - j2,29	7948,15	22,88	0,724	0,766	0,0059
				CHUKAR	0,87	16,7	83,7	170,10 - j1,50	9184,86	40,99	0,524	0,564	0,0039
				RAIL	0,77	18,8	90,0	234,03 - j2,63	6675,64	3,39	0,709	0,732	0,0068
			1	BITTERN	0,84	18,4	89,6	191,53 - j2,04	8157,27	28,30	0,651	0,722	0,0052
				BLUEJAY	0,81	18,6	90,0	207,91 - j2,32	7514,35	18,42	0,685	0,749	0,0060
				CHUKAR	0,85	17,9	89,7	163,39 - j1,52	9562,29	49,68	0,546	0,619	0,0039
			3	CHUKAR	0,86	17,2	86,3	167,82 - j1,50	9309,77	42,43	0,531	0,561	0,0039
		10	0	BITTERN	0,86	17,4	85,1	177,71 - j1,82	8791,55	31,76	0,631	0,675	0,0047
				BLUEJAY	0,86	18,4	88,7	179,31 - j2,07	8712,80	30,79	0,715	0,763	0,0053
				CHUKAR	0,85	15,3	76,4	173,36 - j1,36	9012,44	34,43	0,463	0,495	0,0035
				DRAKE	0,84	19,0	89,8	201,02 - j2,79	7771,30	16,93	0,892	0,950	0,0072
				RAIL	0,85	18,8	90,0	190,74 - j2,38	8190,62	23,20	0,784	0,830	0,0061
			2	BITTERN	0,88	18,1	88,5	166,72 - j1,82	9370,97	41,31	0,674	0,729	0,0047
				BLUEJAY	0,88	18,6	89,9	174,34 - j2,07	8961,06	35,38	0,735	0,792	0,0053
				CHUKAR	0,87	15,9	79,4	162,53 - j1,36	9612,77	44,26	0,494	0,535	0,0035
				RAIL	0,77	18,8	90,0	212,35 - j2,44	7357,09	11,38	0,704	0,809	0,0062
			4	BITTERN	0,83	17,6	86,1	182,98 - j1,82	8538,29	26,43	0,613	0,649	0,0047

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	Kut	Emax [kV/cm]	Emax/Ecr [%]	Zc [Ω]	Pc [MW]	ΔPc [%]	Jc média [A/mm^2]	Jc máxima [A/mm^2]	Rpos [Ω/km]
1250	Não	10	4	CHUKAR	0,81	15,5	77,7	178,84 - j1,35	8736,25	28,71	0,448	0,480	0,0035
	Sim	10	0	CHUKAR	0,75	18,0	90,0	165,50 - j1,37	9440,50	18,75	0,485	0,521	0,0035
			2	CHUKAR	0,63	18,0	89,9	196,93 - j1,41	7934,03	0,40	0,407	0,494	0,0036

Tabela I.16: Parâmetros ao nível do solo e parâmetros geométricos do feixe externo das linhas de 1250 kV otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical.

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1250	Não	9	0	BITTERN	8,32	19,29	48,93	1,84	4,98	5,39	1,04
				BLUEJAY	8,31	18,98	47,83	1,44	3,91	4,19	1,04
				CHUKAR	8,33	19,56	49,67	2,32	6,11	6,87	1,04
				RAIL	8,33	19,86	43,31	0,52	1,49	1,51	1,02
			1	BITTERN	8,31	19,95	47,48	1,95	3,64	3,80	1,31
				BLUEJAY	8,33	19,97	45,81	1,36	2,54	2,60	1,30
				CHUKAR	8,33	19,92	50,10	3,40	6,37	7,84	1,38
			3	CHUKAR	8,33	20,28	47,13	2,49	1,45	10,20	3,03
		10	0	BITTERN	8,32	19,67	49,19	1,69	4,89	5,58	1,05
				BLUEJAY	8,32	19,64	49,05	1,66	4,78	5,45	1,04
				CHUKAR	8,33	19,81	49,18	1,81	5,17	5,94	1,06
				DRAKE	8,33	19,31	44,50	1,23	3,19	3,86	2,12
				RAIL	8,32	19,53	47,68	1,32	3,72	4,39	1,09
			2	BITTERN	8,32	19,58	50,35	2,21	5,96	7,70	1,10
				BLUEJAY	8,32	19,51	49,59	1,88	5,08	6,53	1,08
				CHUKAR	8,33	19,65	50,43	2,35	6,38	8,23	1,08
				RAIL	8,31	20,08	44,95	0,86	1,87	2,51	1,11
			4	BITTERN	8,33	20,64	46,15	1,38	0,83	6,75	3,04

Tensão [kV]	Compacta	Nsub	Condutores verticais	Condutor	EsoloMax [kV/m]	BsoloMax [μT]	Distância ao solo [m]	Espaçamento Máximo [m]	Largura do Feixe Externo [m]	Altura do Feixe Externo [m]	Assimetria do Feixe Externo
1250	Não	10	4	CHUKAR	8,32	20,78	46,08	1,42	0,92	7,04	2,82
	Sim	10	0	CHUKAR	8,32	23,85	41,79	0,97	2,67	3,20	1,10
			2	CHUKAR	8,30	24,11	38,84	0,47	1,13	1,58	1,01

I.2 - EVOLUÇÃO DE CASOS REPRESENTATIVOS

Nesta secção são mostrados os resultados no mesmo formato que é explicado na secção 9.2.2, exceto para os níveis de tensão 765 kV e 1000 kV, que já foram apresentados no referido capítulo.

I.2.1 - Linhas otimizadas sem a restrição de feixes com simetria vertical

Tensão de operação [kV]	138
Distância de isolação	Convencional (2,8 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	2

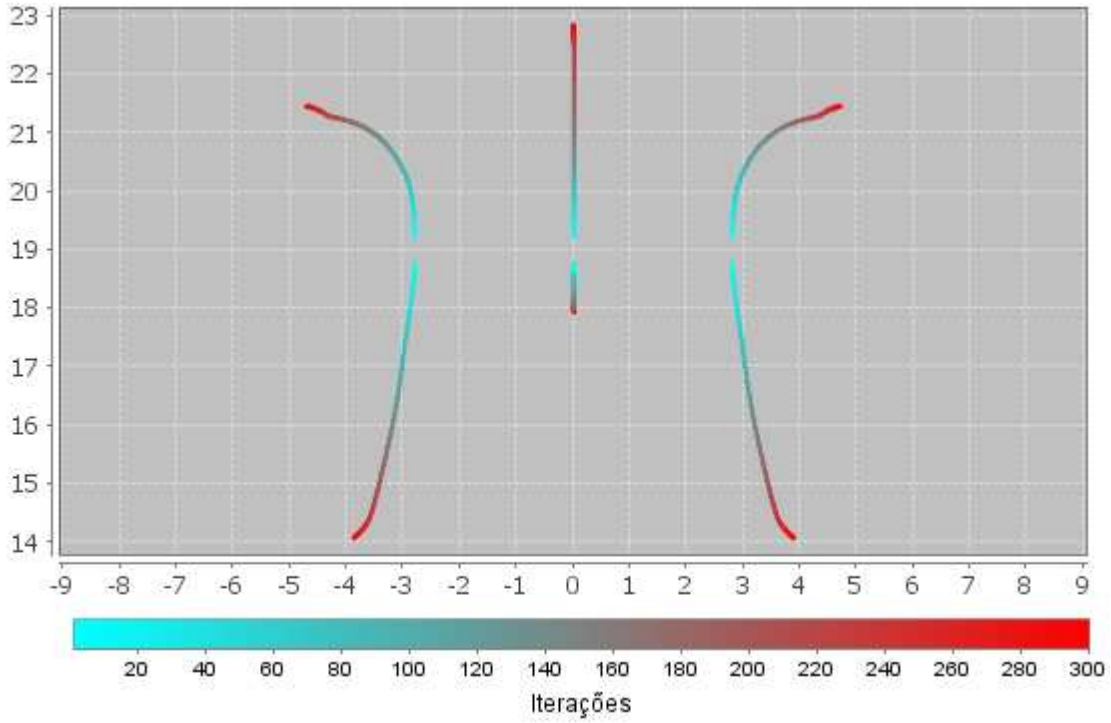

Figura I.1: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

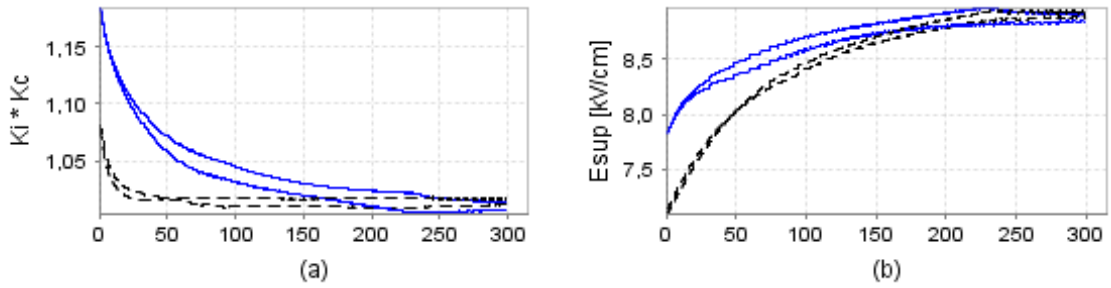

Figura I.2: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

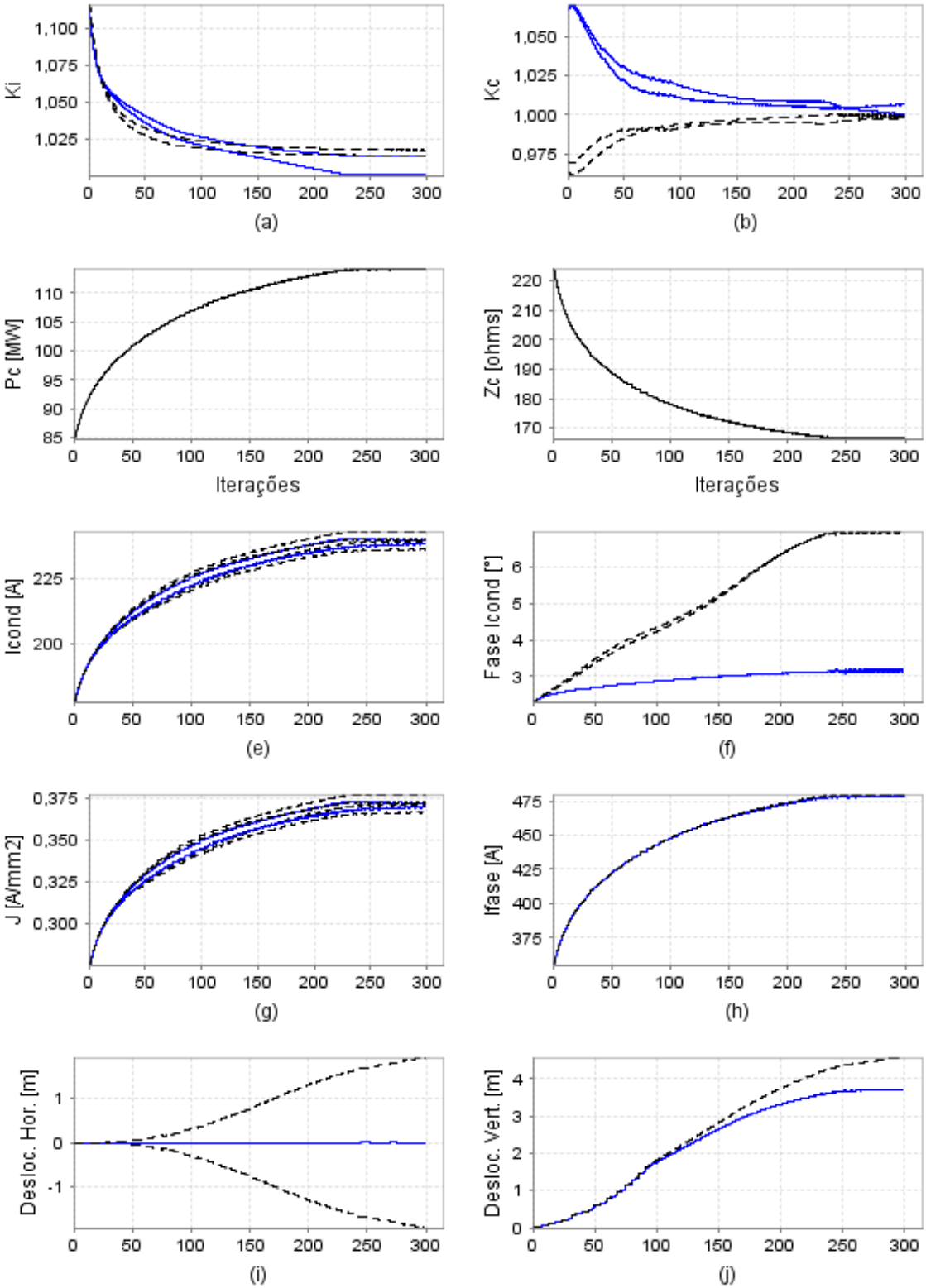

Figura I.3: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

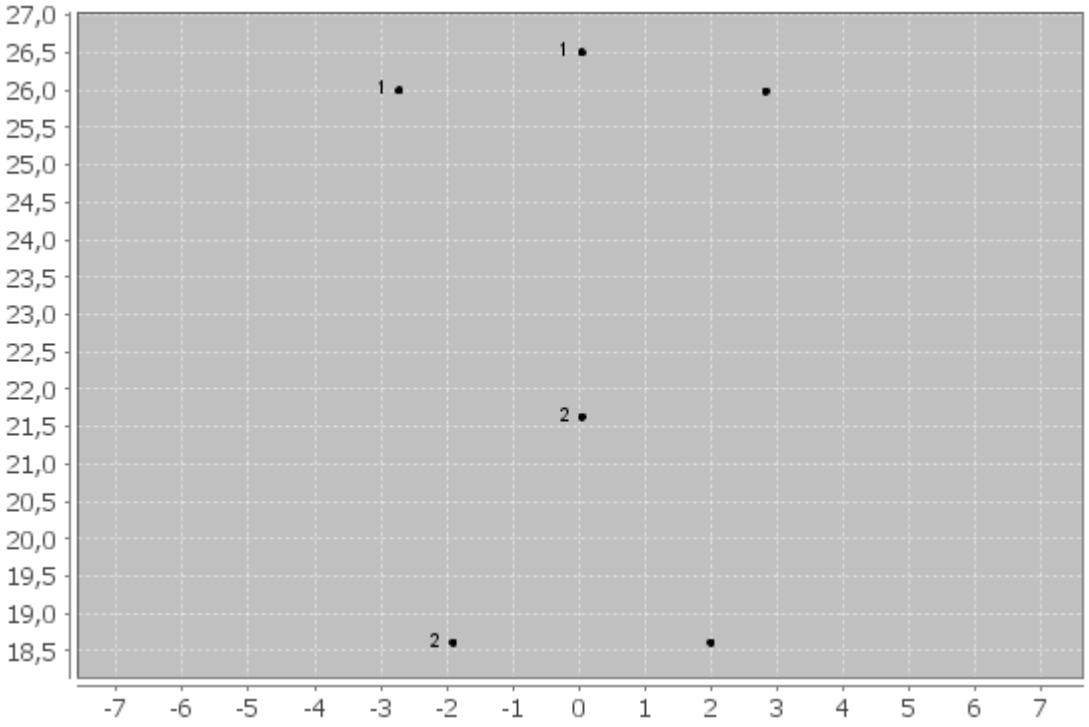

Figura I.4: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.17: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2									Média	Desvio
Ki * Kc	1,007	1,013									1,010	0,005
Ki	1,000	1,013									1,006	0,009
Kc	1,006	1,000									1,003	0,004
Icond [A]	238	240									239	1
Esup [kV/cm]	8,8	8,9									8,9	0,0

Tabela I.18: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 138 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2									Média	Desvio
Ki * Kc	1,017	1,011									1,014	0,004
Ki	1,017	1,013									1,015	0,003
Kc	1,000	0,998									0,999	0,001
Icond [A]	240	239									240	1
Esup [kV/cm]	8,9	8,9									8,9	0,0

Tensão de operação [kV]	230
Distância de isolação	Compacta (2,3 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	2

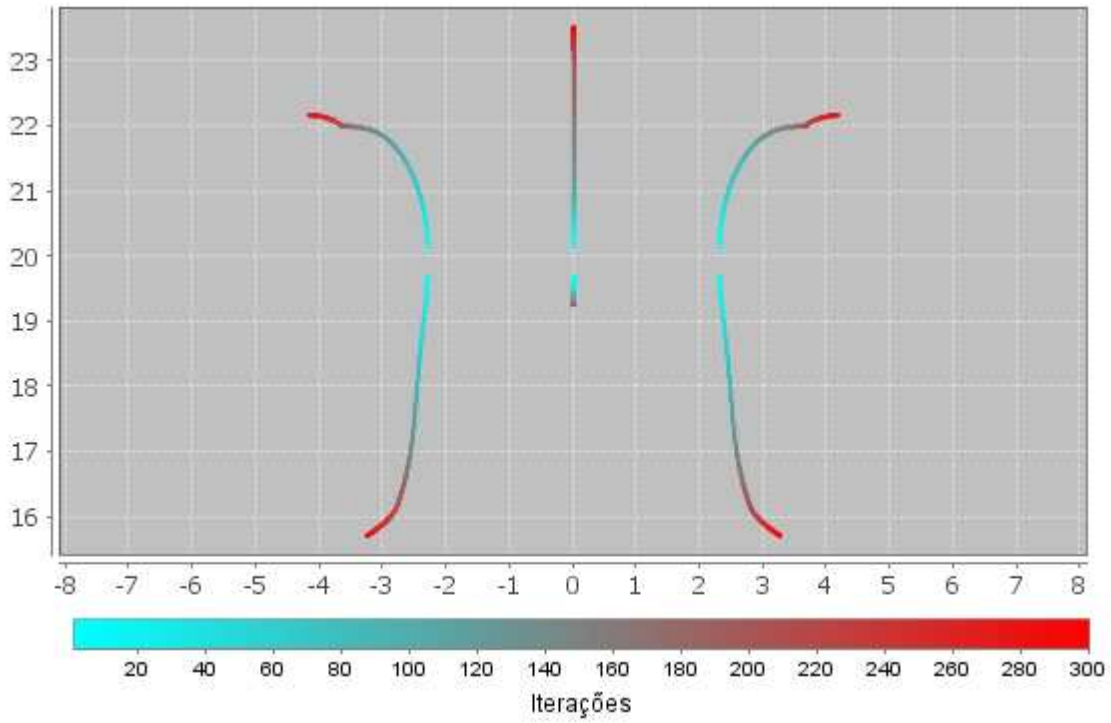

Figura I.5: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

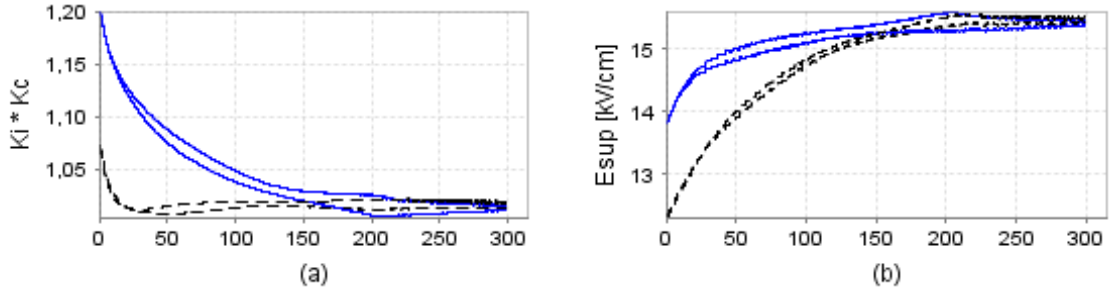

Figura I.6: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta

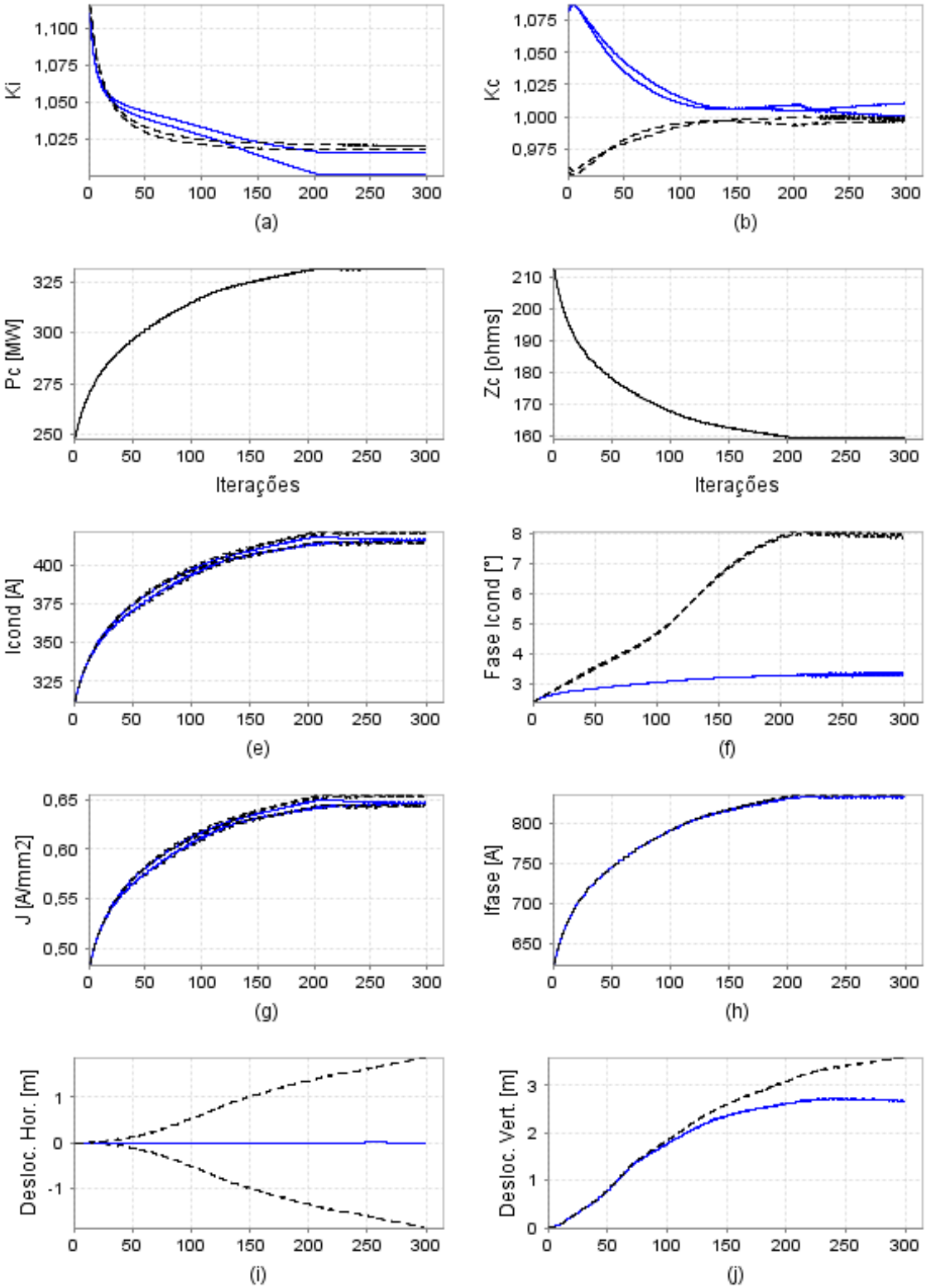

Figura I.7: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta

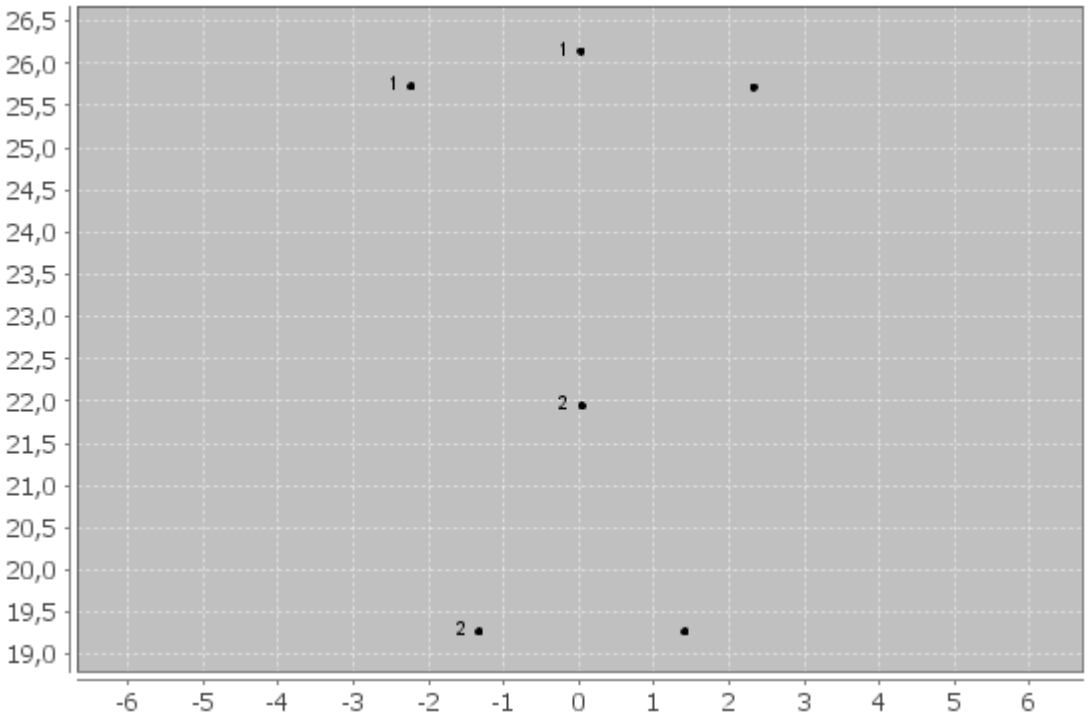

Figura I.8: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta

Tabela I.19: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2									Média	Desvio
Ki * Kc	1,011	1,015									1,013	0,003
Ki	1,000	1,015									1,008	0,010
Kc	1,011	1,000									1,005	0,008
Icond [A]	417	417									417	0
Esup [kV/cm]	15,4	15,5									15,4	0,0

Tabela I.20: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 2 condutores do tipo BITTERN a 230 kV com distância de isolação compacta

Subcondutor	1	2									Média	Desvio
Ki * Kc	1,020	1,014									1,017	0,004
Ki	1,020	1,017									1,019	0,002
Kc	0,999	0,997									0,998	0,002
Icond [A]	415	421									418	4
Esup [kV/cm]	15,5	15,4									15,5	0,1

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	3

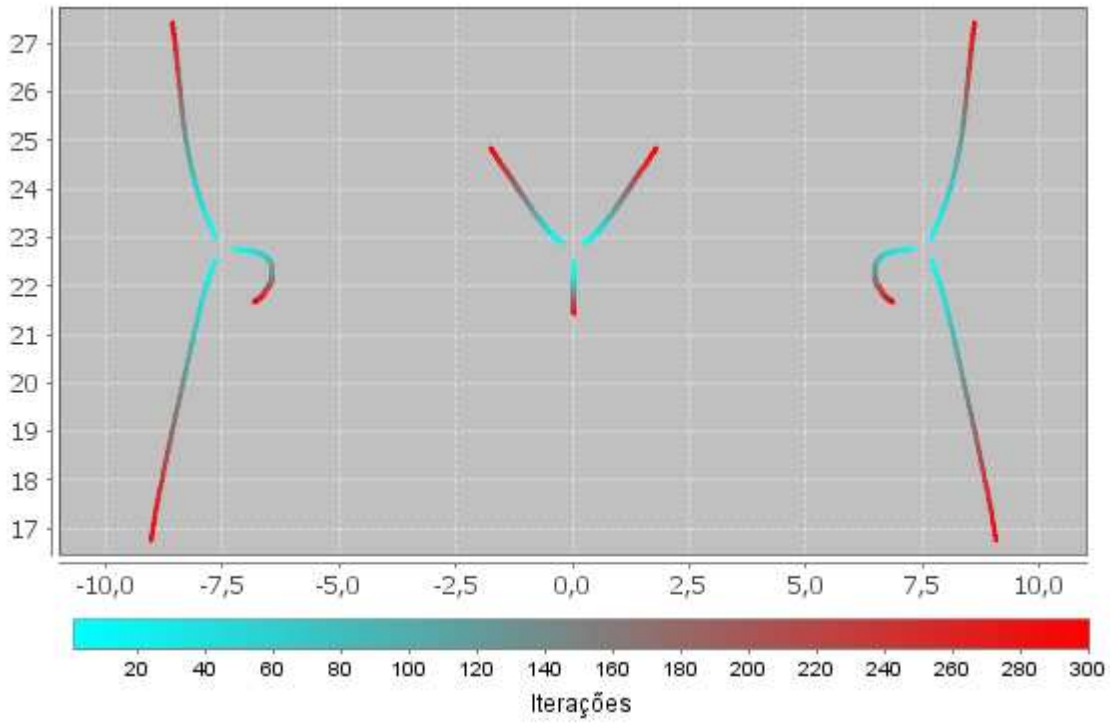

Figura I.9: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

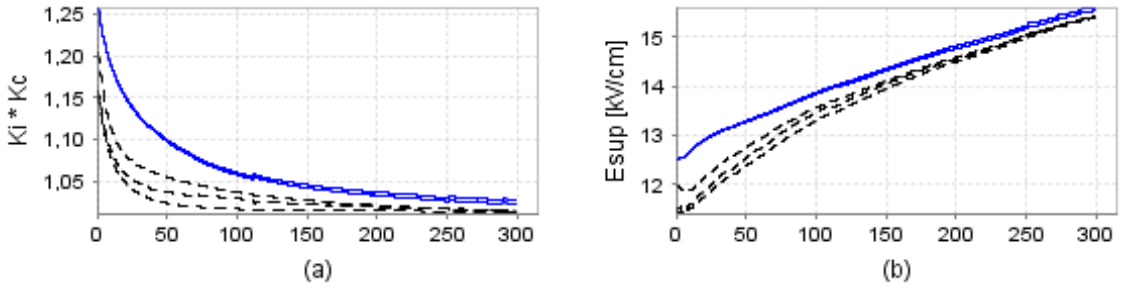

Figura I.10: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

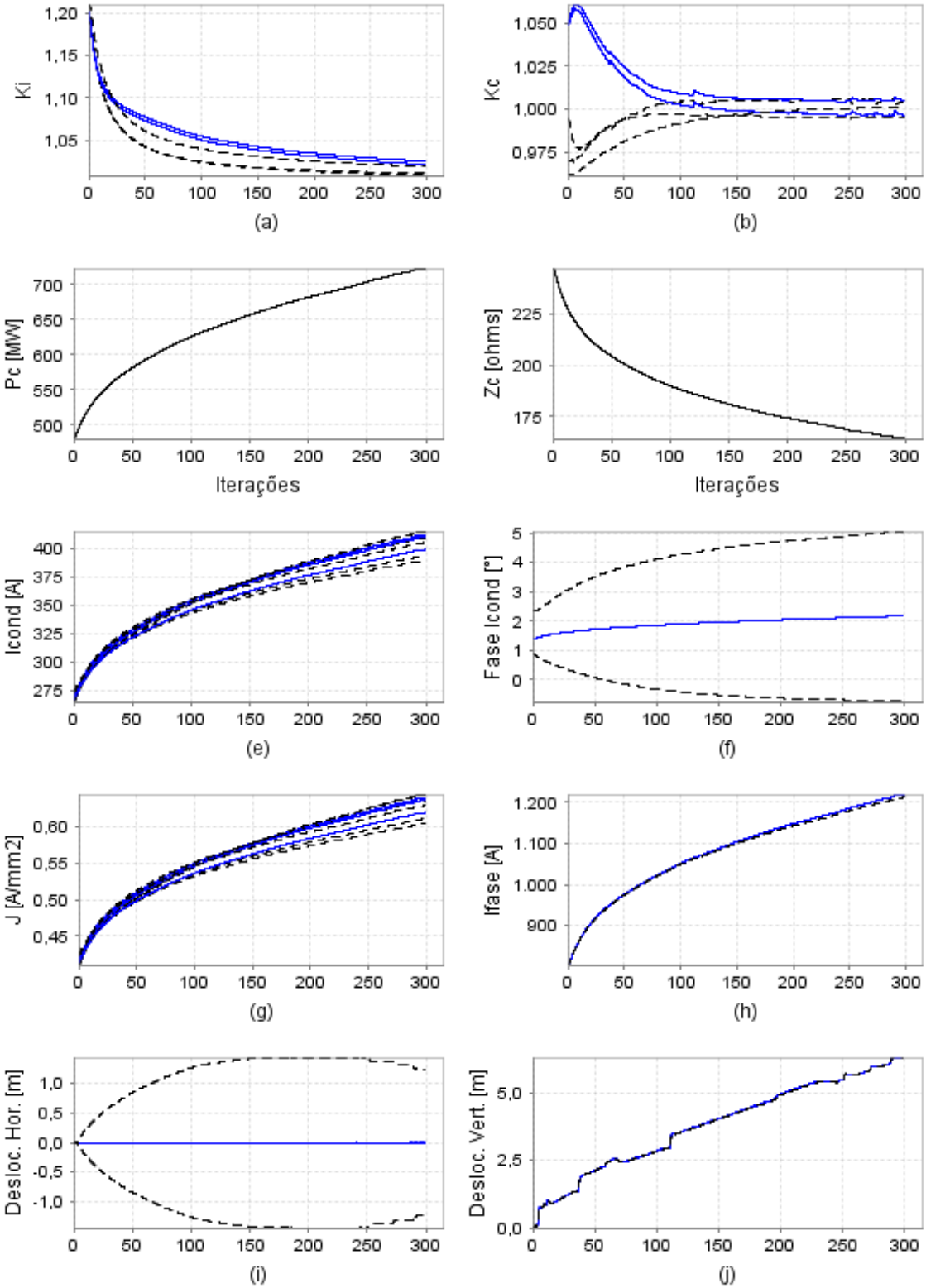

Figura I.11: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

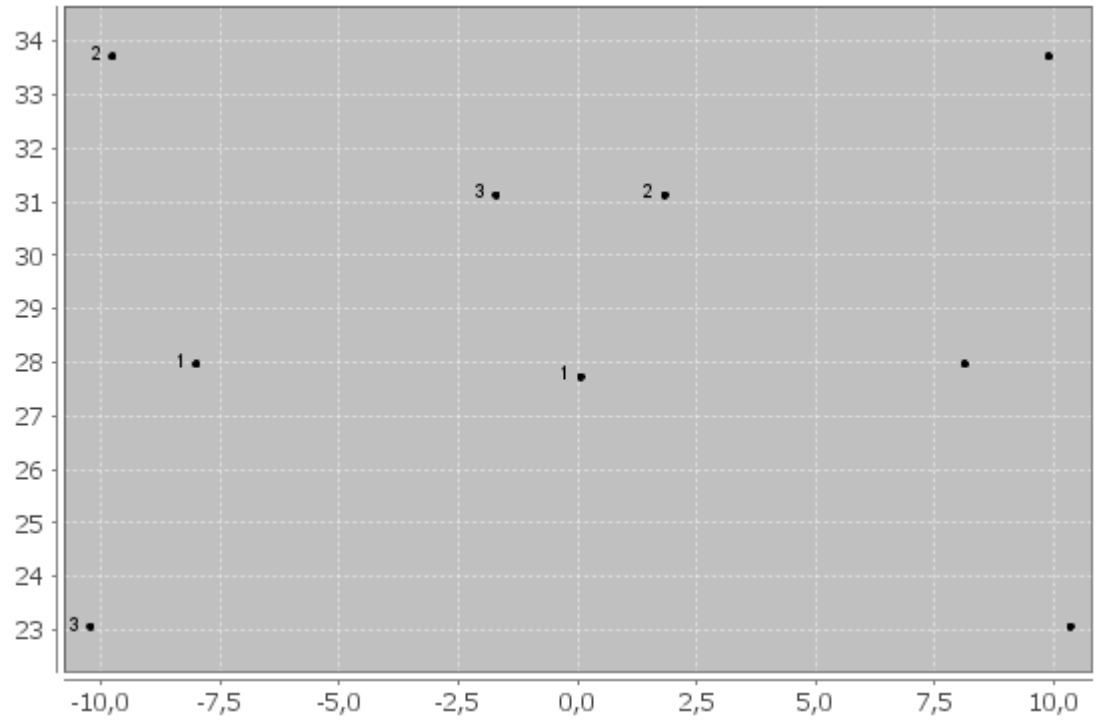

Figura I.12: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.21: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,028	1,023	1,023								1,024	0,004
Ki	1,022	1,026	1,026								1,025	0,003
Kc	1,005	0,996	0,996								0,999	0,007
Icond [A]	410	399	411								407	10
Esup [kV/cm]	15,6	15,5	15,5								15,6	0,1

Tabela I.22: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,015	1,014	1,014								1,014	0,001
Ki	1,020	1,012	1,010								1,014	0,008
Kc	0,995	1,001	1,005								1,000	0,007
Icond [A]	405	415	393								404	15
Esup [kV/cm]	15,4	15,4	15,4								15,4	0,0

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	3

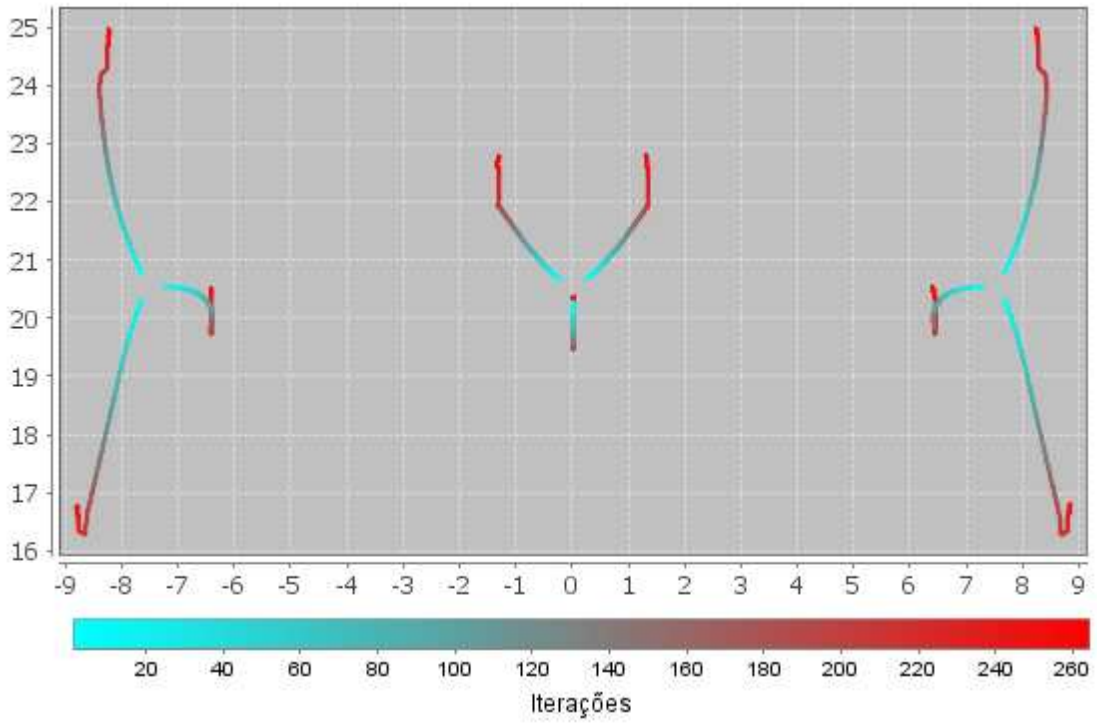

Figura I.13: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 1-I (191), 2-I (201), 3-I (201), 1-E (211), 3-E (220), 2-E (247)

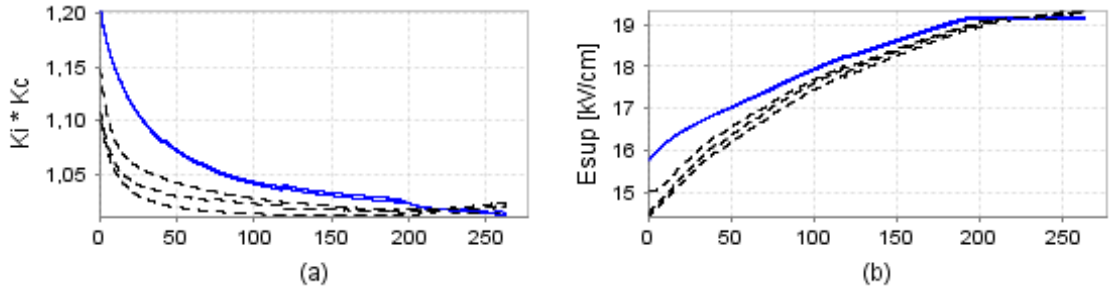

Figura I.14: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

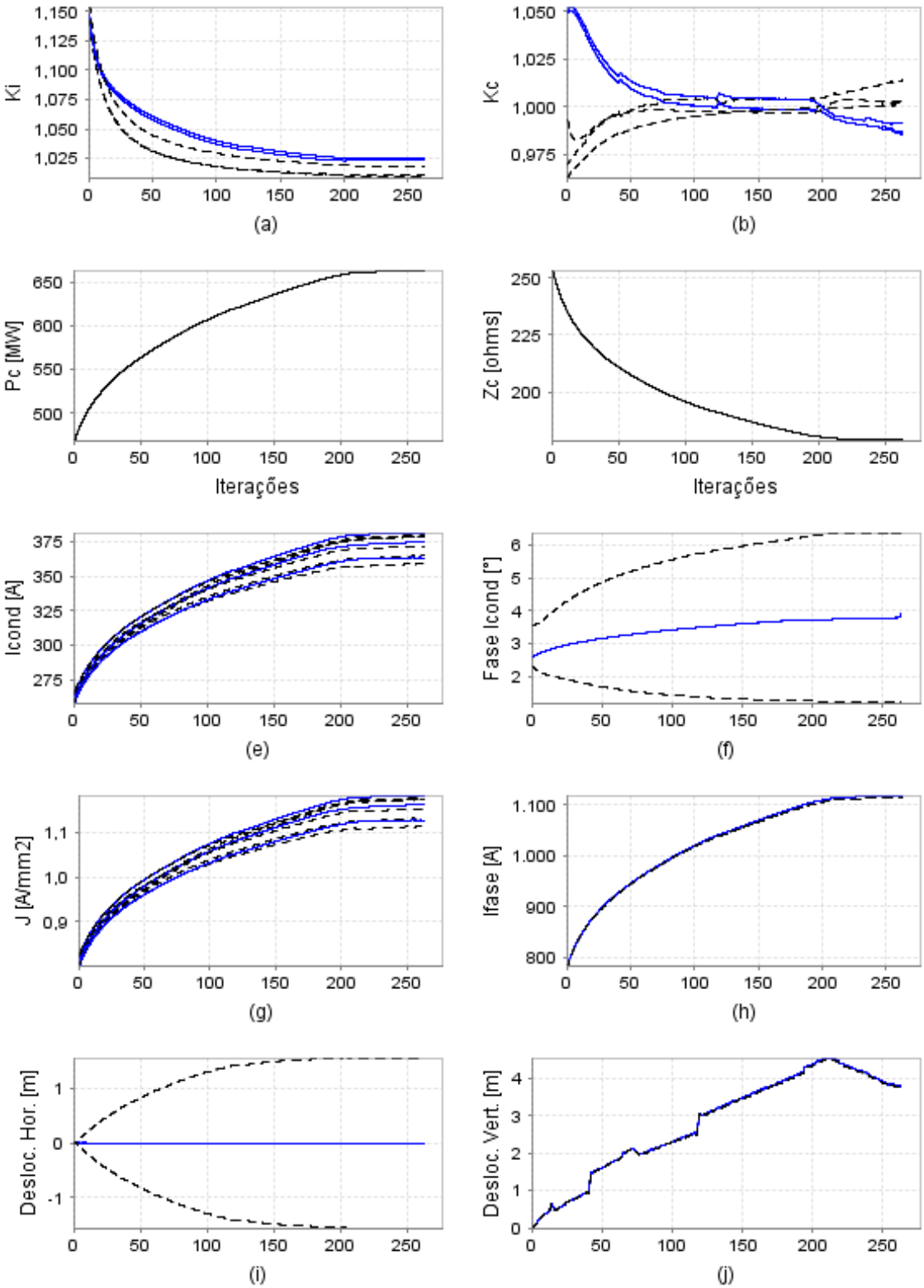

Figura I.15: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

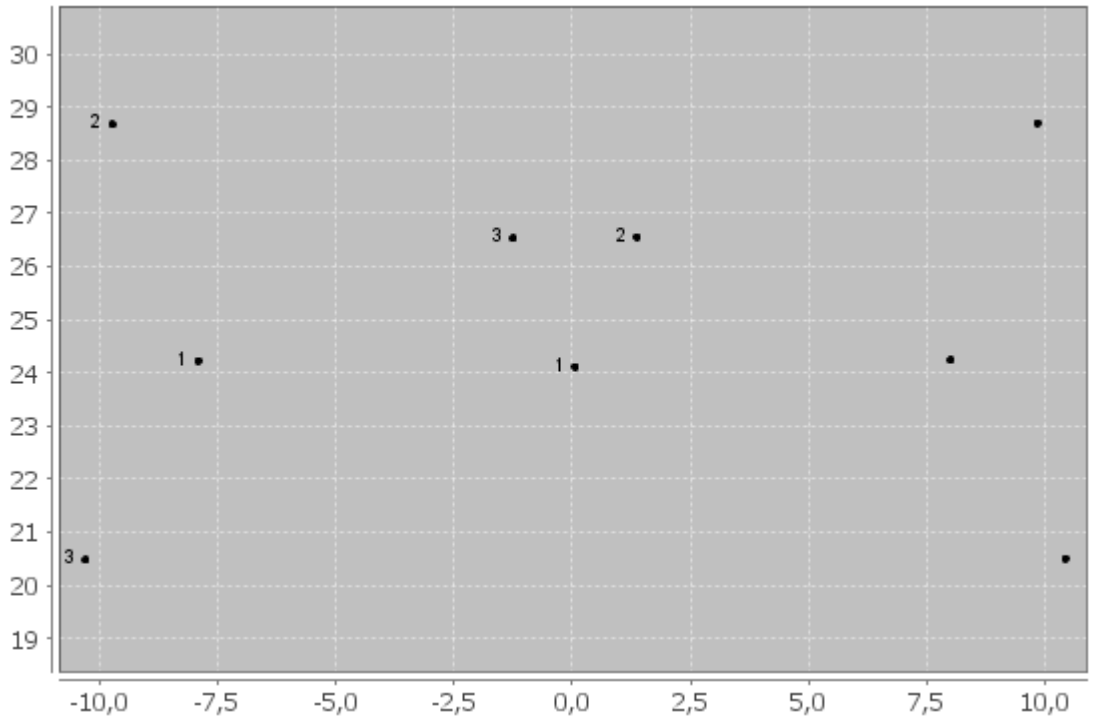

Figura I.16: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.23: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,014	1,012	1,012								1,013	0,002
Ki	1,023	1,026	1,026								1,025	0,002
Kc	0,991	0,986	0,986								0,988	0,004
Icond [A]	375	363	381								373	13
Esup [kV/cm]	19,2	19,1	19,1								19,1	0,0

Tabela I.24: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo GROSBEAK a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,019	1,014	1,023								1,018	0,006
Ki	1,018	1,011	1,009								1,013	0,007
Kc	1,001	1,003	1,014								1,006	0,010
Icond [A]	371	379	365								372	10
Esup [kV/cm]	19,3	19,2	19,3								19,3	0,1

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	4

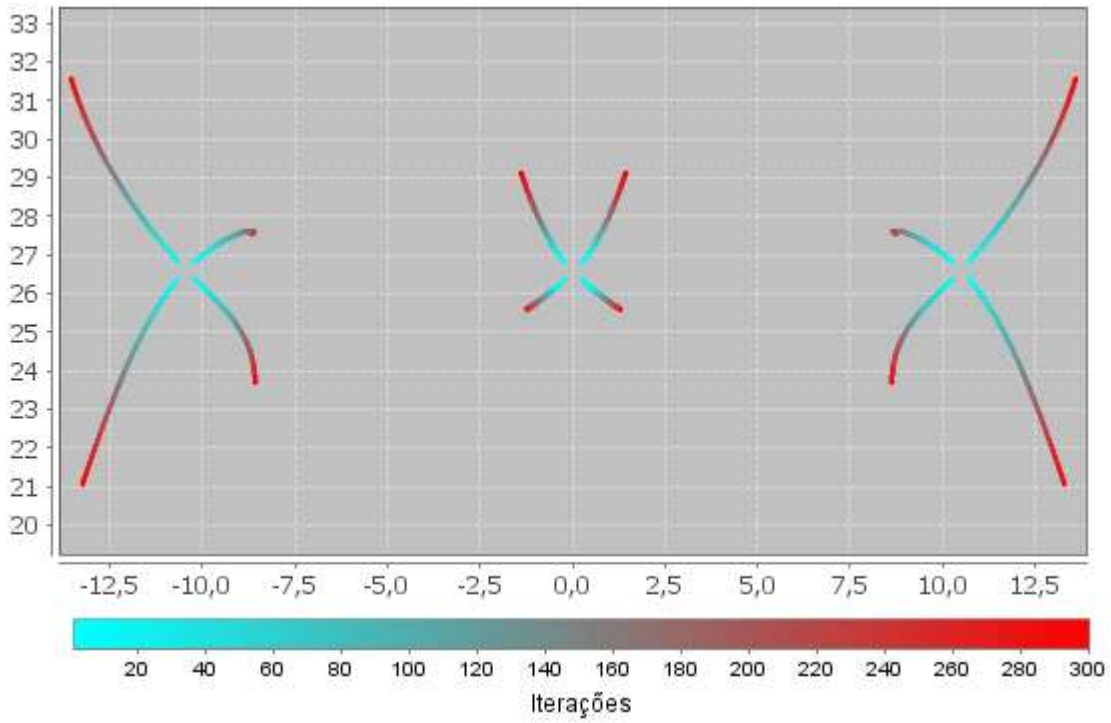

Figura I.17: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

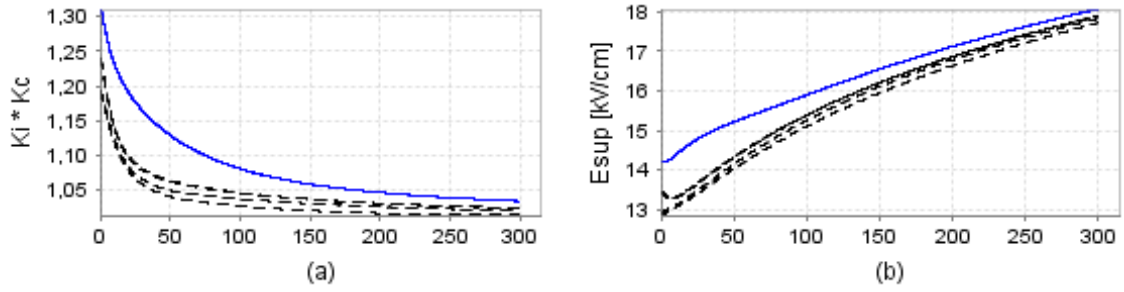

Figura I.18: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

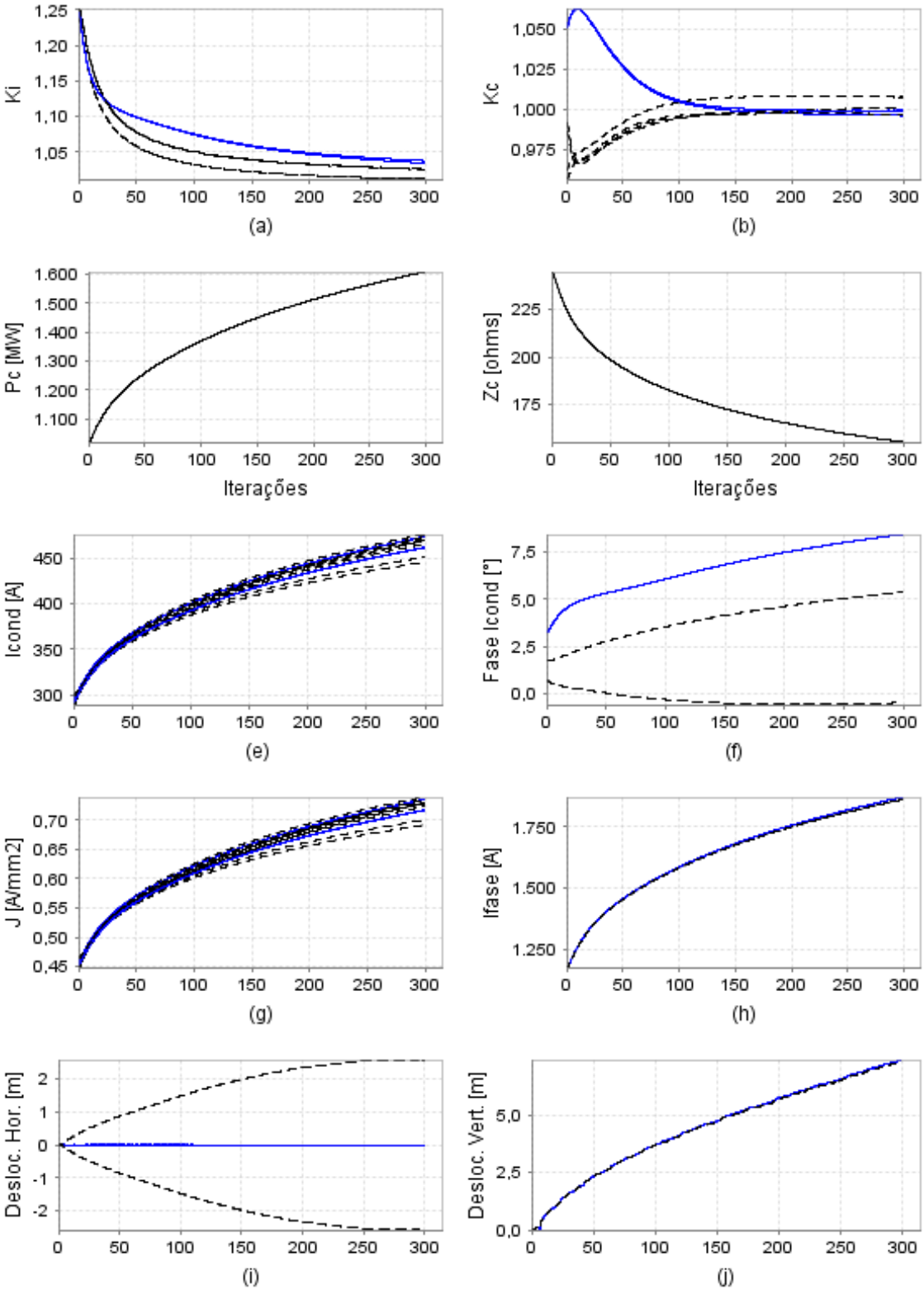

Figura I.19: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

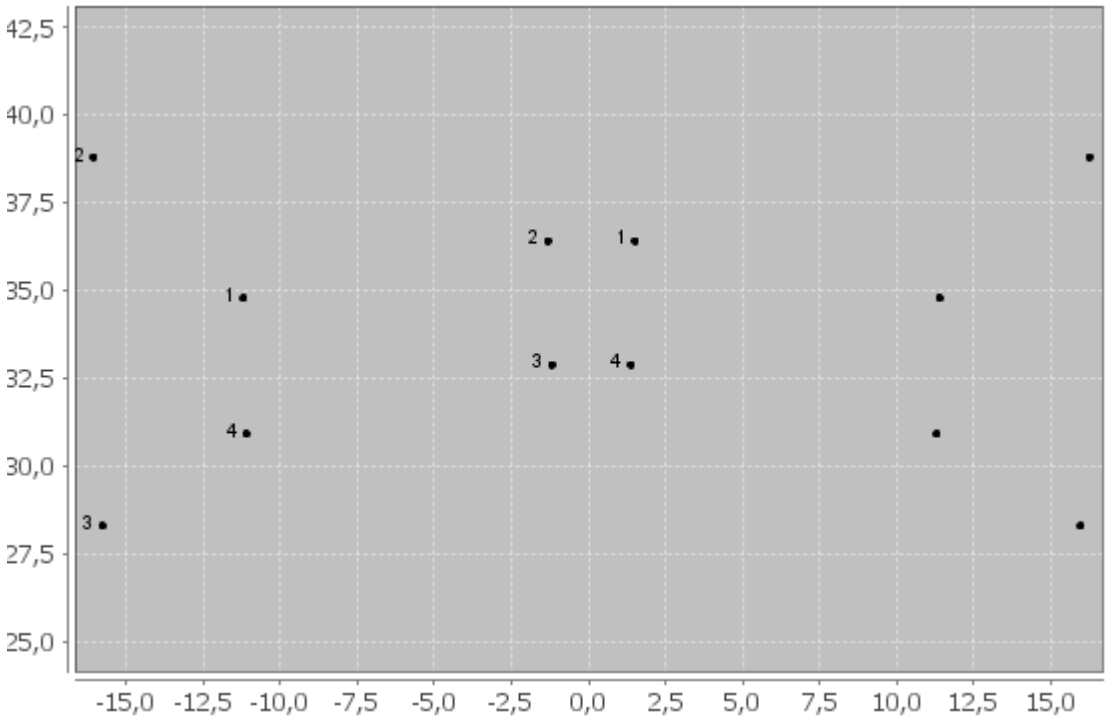

Figura I.20: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.25: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,034	1,034	1,034	1,034							1,034	0,000
Ki	1,035	1,035	1,038	1,038							1,037	0,003
Kc	0,999	0,999	0,996	0,996							0,998	0,003
Icond [A]	461	473	474	462							468	12
Esup [kV/cm]	18,0	18,0	18,1	18,1							18,0	0,0

Tabela I.26: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,024	1,014	1,020	1,024							1,021	0,008
Ki	1,027	1,013	1,012	1,026							1,019	0,014
Kc	0,997	1,001	1,008	0,998							1,001	0,008
Icond [A]	471	473	451	466							465	17
Esup [kV/cm]	17,9	17,7	17,8	17,9							17,8	0,1

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	4

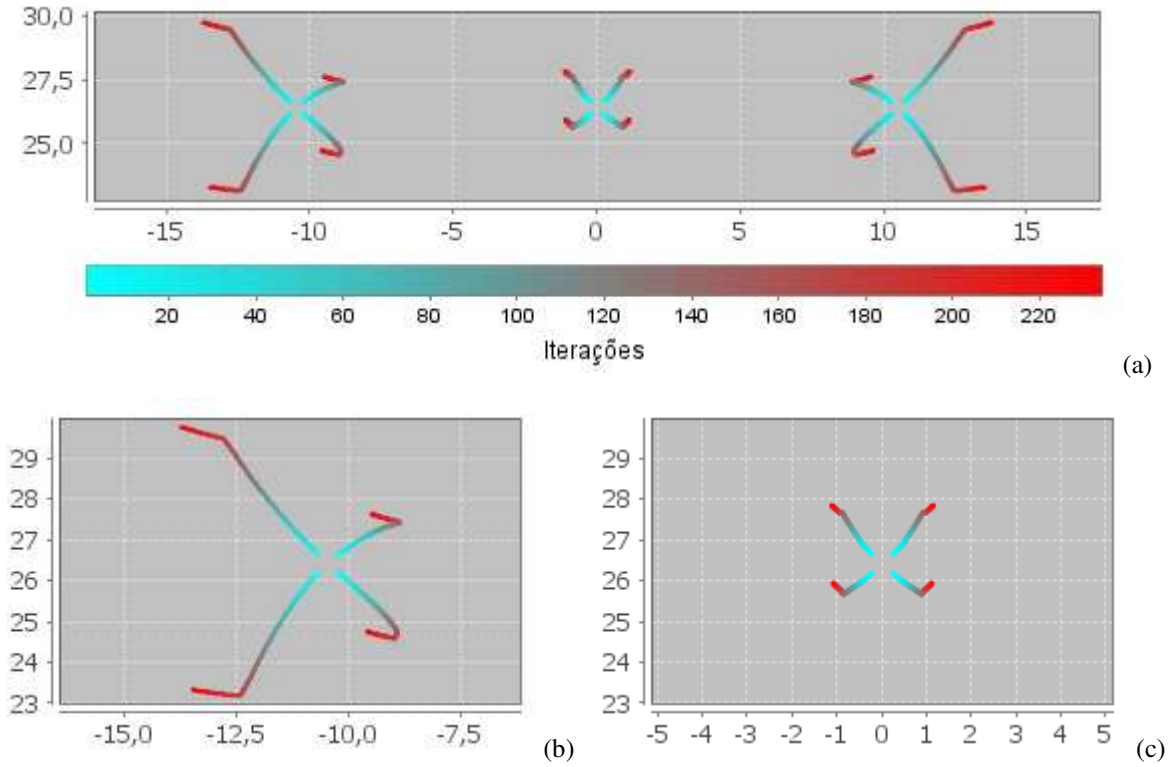

Figura I.21: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (147), 2-I (147), 3-I (147), 4-I (147), 4-E (180), 3-E (181), 1-E (182)

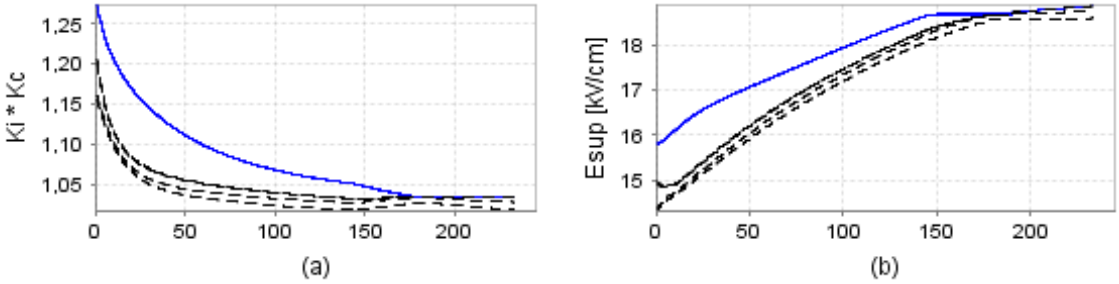

Figura I.22: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

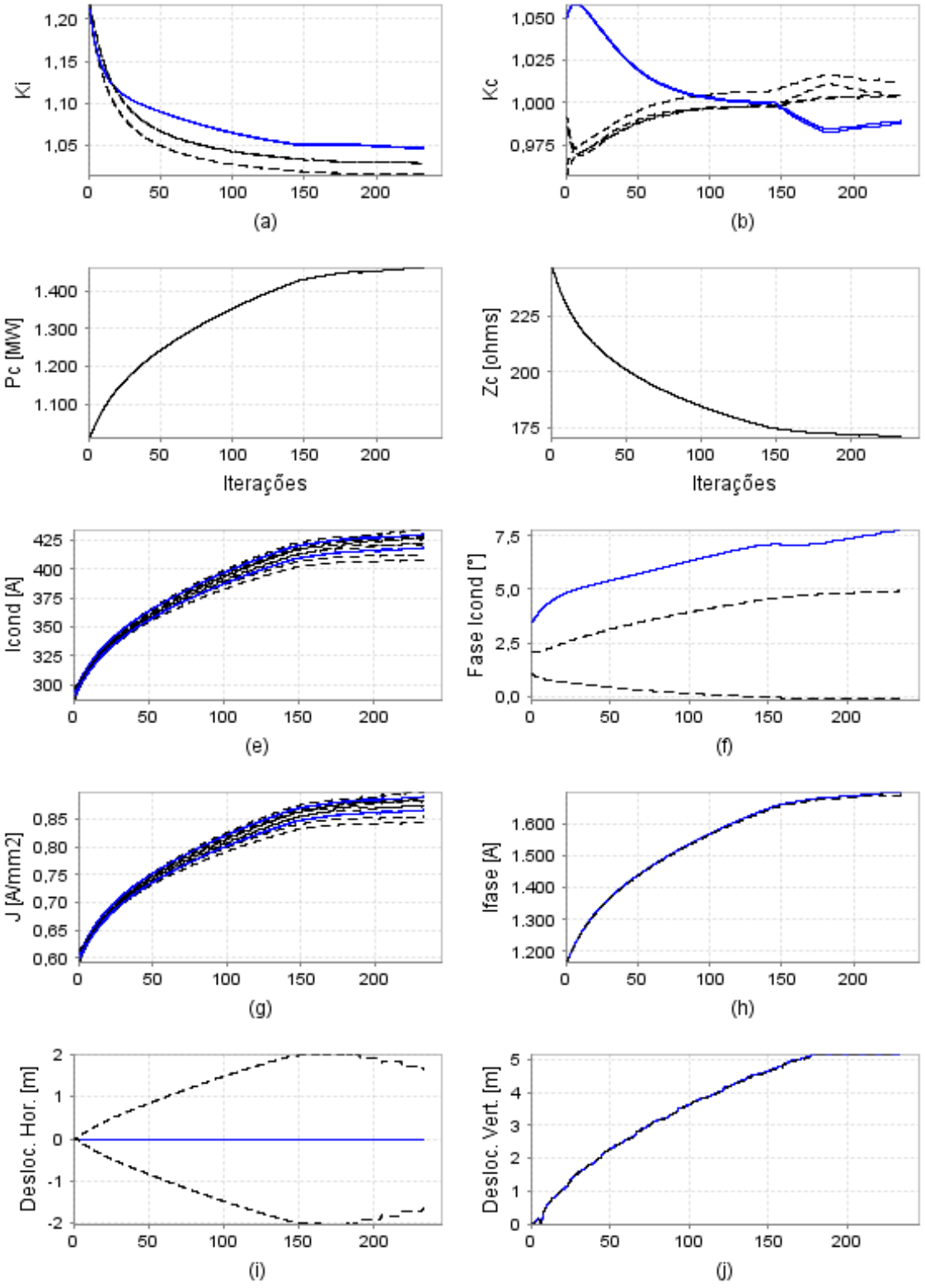

Figura I.23: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

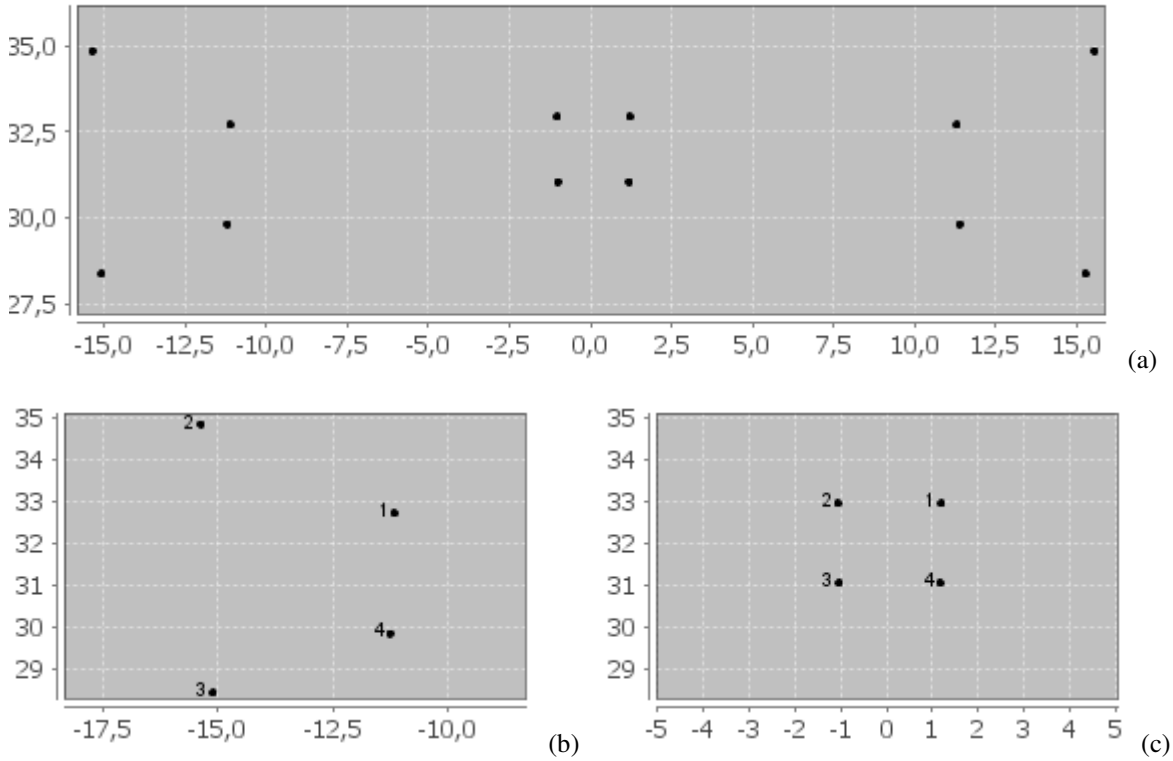

Figura I.24: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.27: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,035	1,035	1,034	1,034							1,035	0,000
Ki	1,046	1,046	1,048	1,048							1,047	0,001
Kc	0,989	0,989	0,987	0,987							0,988	0,001
Icond [A]	418	430	430	418							424	12
Esup [kV/cm]	18,8	18,8	18,8	18,8							18,8	0,0

Tabela I.28: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,034	1,020	1,029	1,033							1,029	0,011
Ki	1,030	1,016	1,016	1,029							1,023	0,014
Kc	1,004	1,004	1,012	1,004							1,006	0,008
Icond [A]	428	426	413	422							422	12
Esup [kV/cm]	18,8	18,6	18,7	18,8							18,7	0,2

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	5

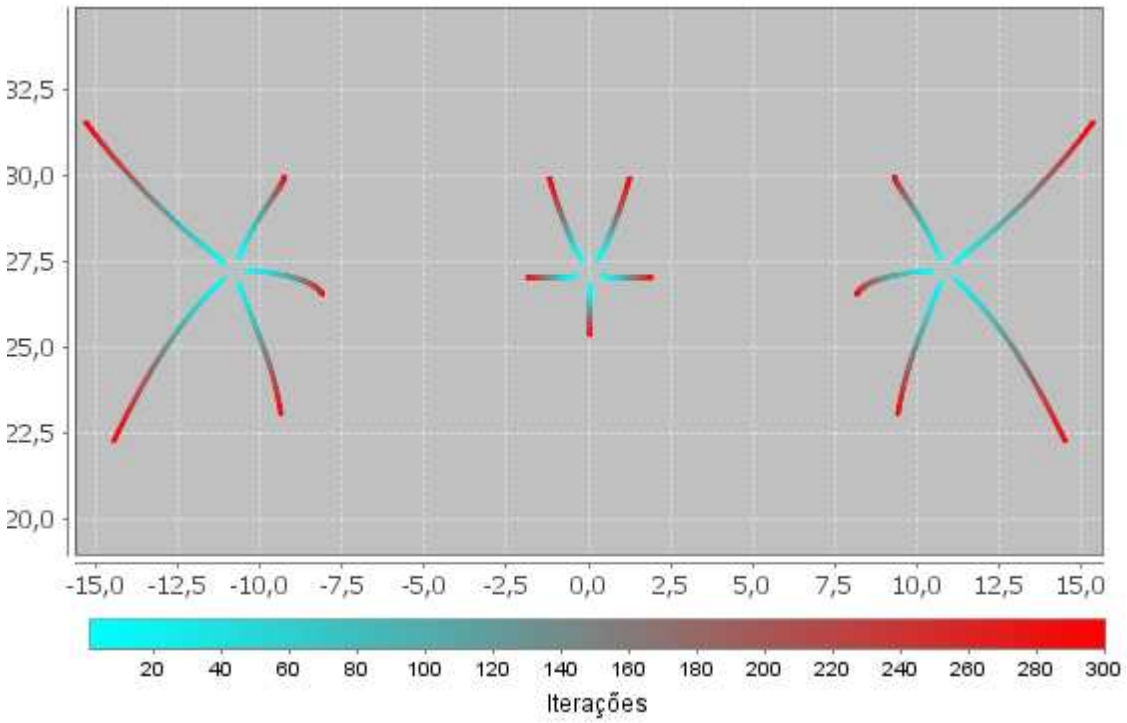

Figura I.25: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

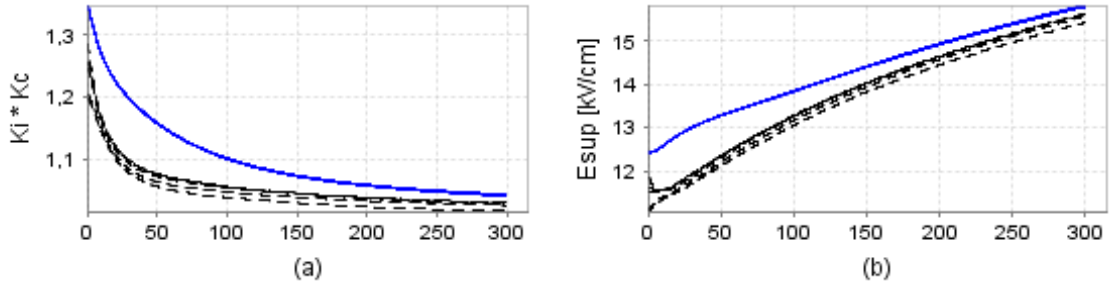

Figura I.26: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

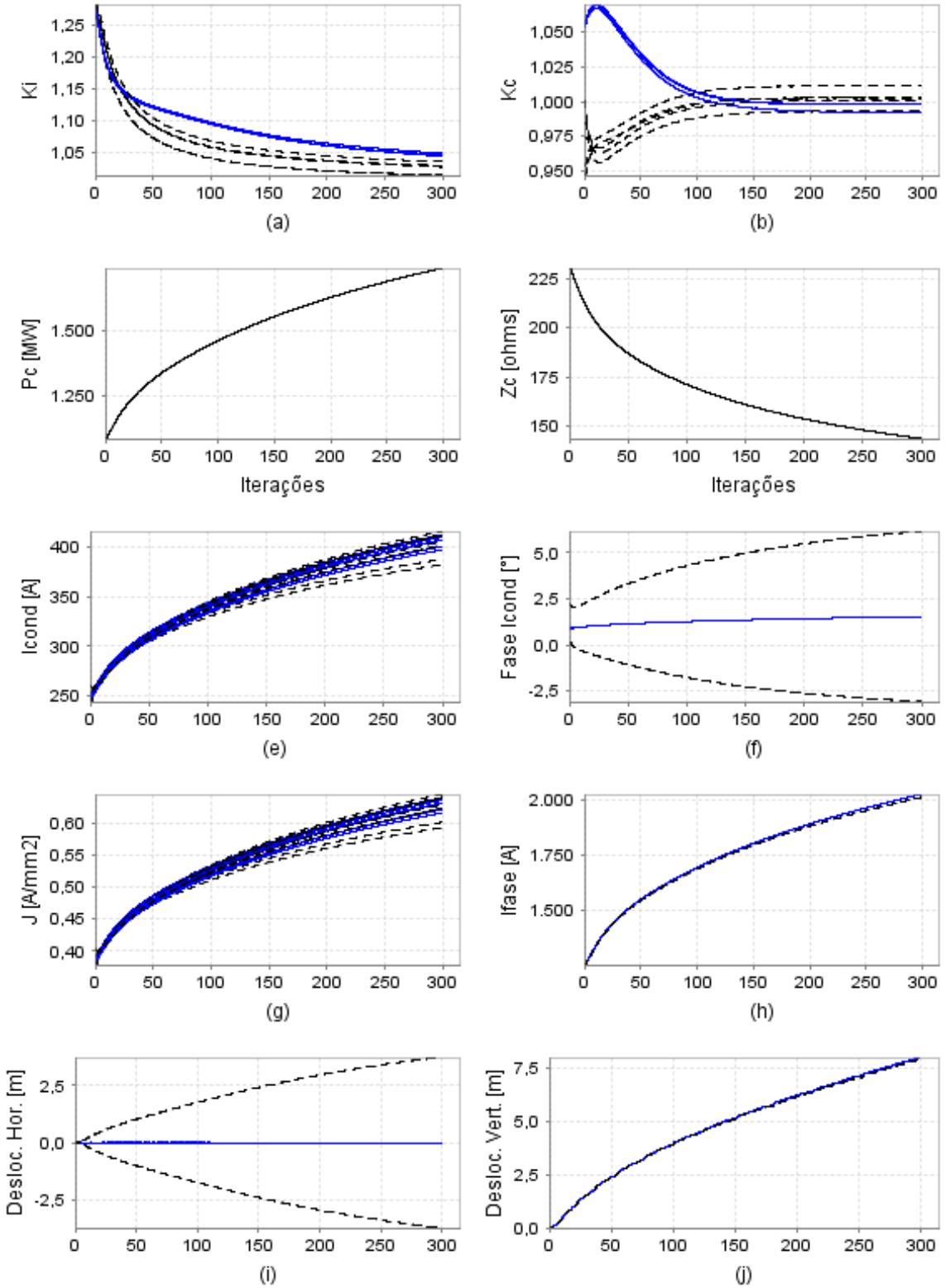

Figura I.27: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

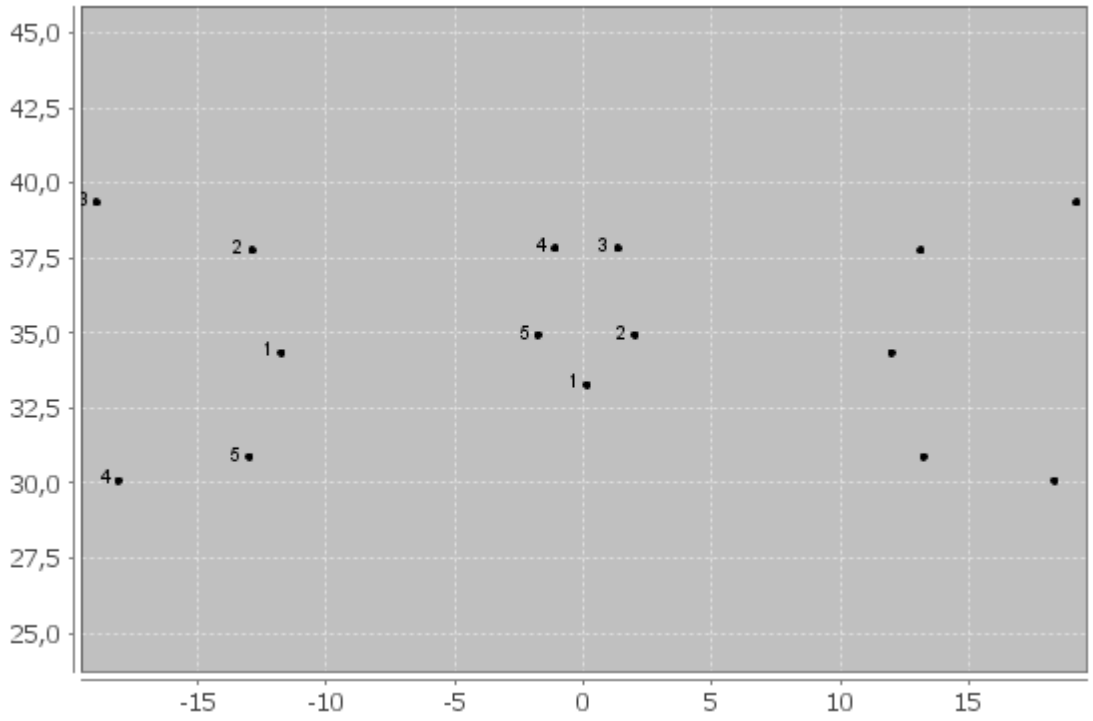

Figura I.28: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.29: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,044	1,041	1,043	1,043	1,041						1,042	0,003
Ki	1,046	1,049	1,045	1,045	1,049						1,047	0,005
Kc	0,998	0,992	0,998	0,998	0,992						0,996	0,007
Icond [A]	407	397	400	409	412						405	13
Esup [kV/cm]	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8						15,8	0,0

Tabela I.30: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,029	1,031	1,017	1,027	1,031						1,027	0,011
Ki	1,036	1,030	1,015	1,015	1,028						1,025	0,019
Kc	0,993	1,001	1,002	1,011	1,003						1,002	0,013
Icond [A]	405	412	406	387	400						402	19
Esup [kV/cm]	15,6	15,6	15,4	15,6	15,6						15,6	0,2

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	5

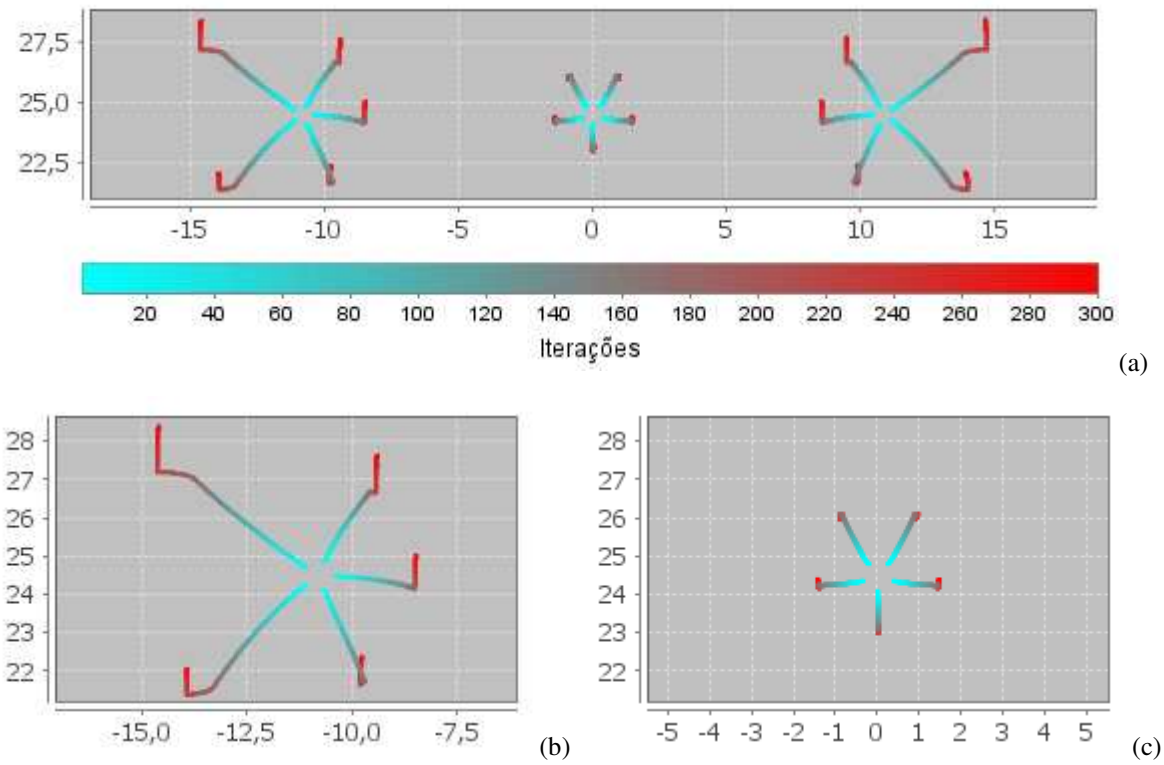

Figura I.29: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (176), 3-I (176), 4-I (176), 2-I (177), 5-I (177), 4-E (217), 1-E (226), 3-E (226), 5-E (231), 2-E (262)

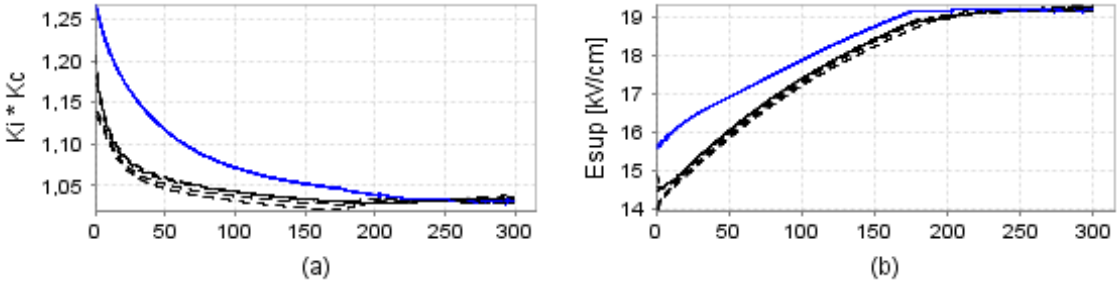

Figura I.30: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

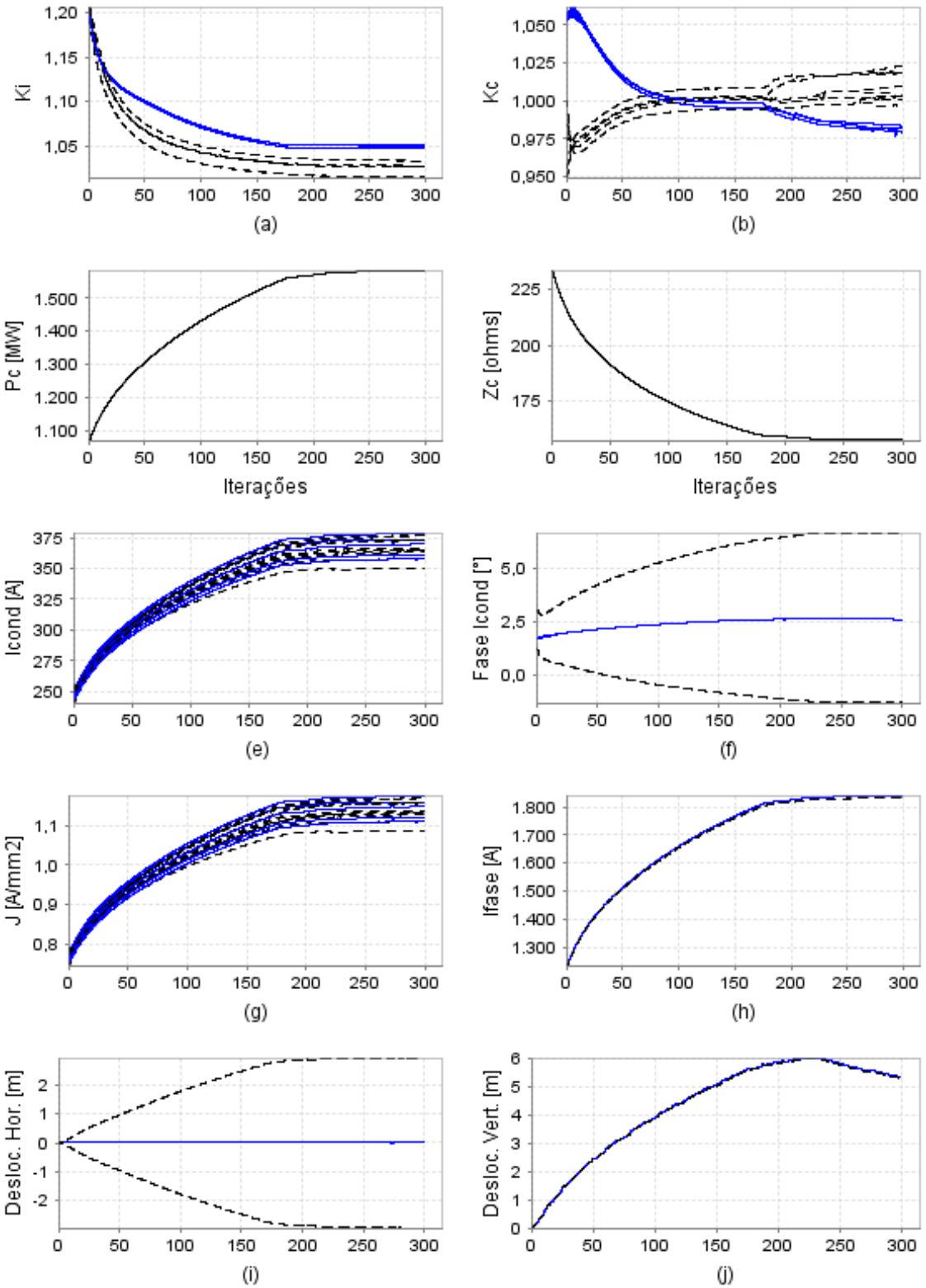

Figura I.31: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

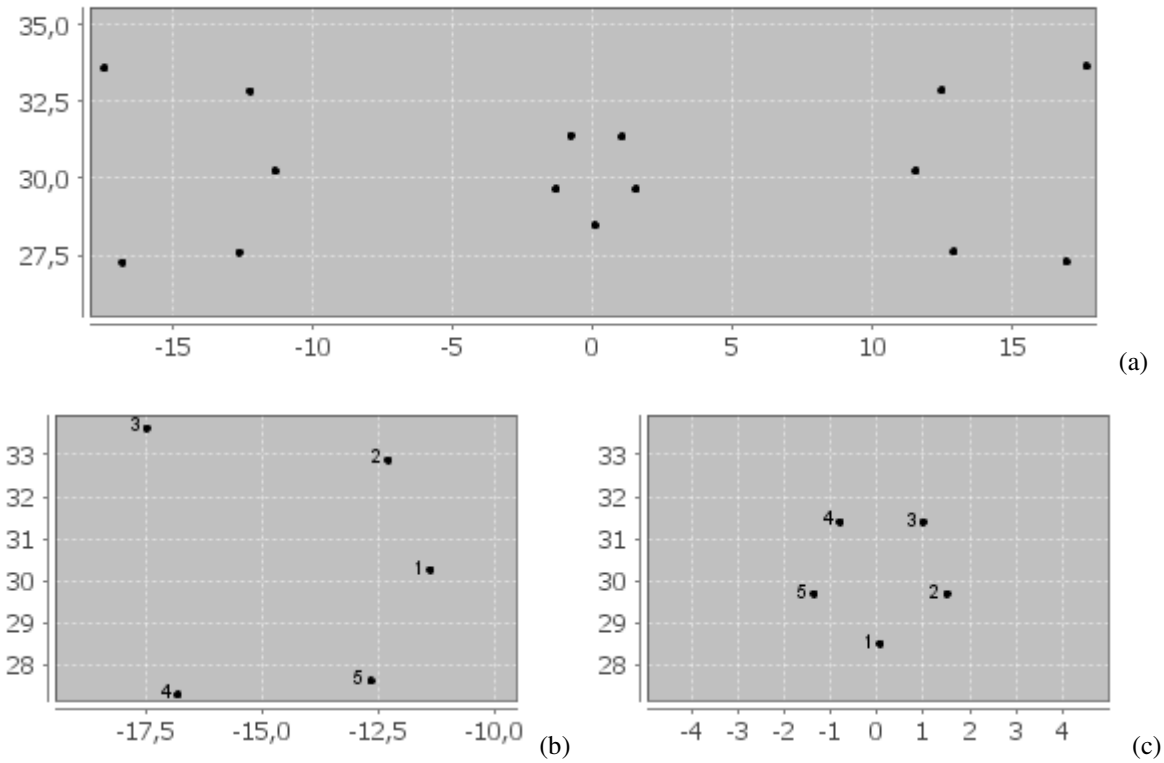

Figura I.32: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.31: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,030	1,030	1,030	1,028	1,032						1,030	0,003
Ki	1,047	1,051	1,050	1,049	1,052						1,050	0,003
Kc	0,984	0,980	0,982	0,979	0,982						0,981	0,003
Icond [A]	370	358	361	373	379						368	17
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	19,2	19,1	19,2						19,2	0,1

Tabela I.32: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,030	1,030	1,032	1,039	1,036						1,033	0,008
Ki	1,033	1,027	1,014	1,015	1,026						1,023	0,016
Kc	0,997	1,003	1,018	1,023	1,010						1,010	0,022
Icond [A]	366	373	373	358	364						367	13
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	19,2	19,3	19,3						19,2	0,1

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	LINNET
Nsub	5

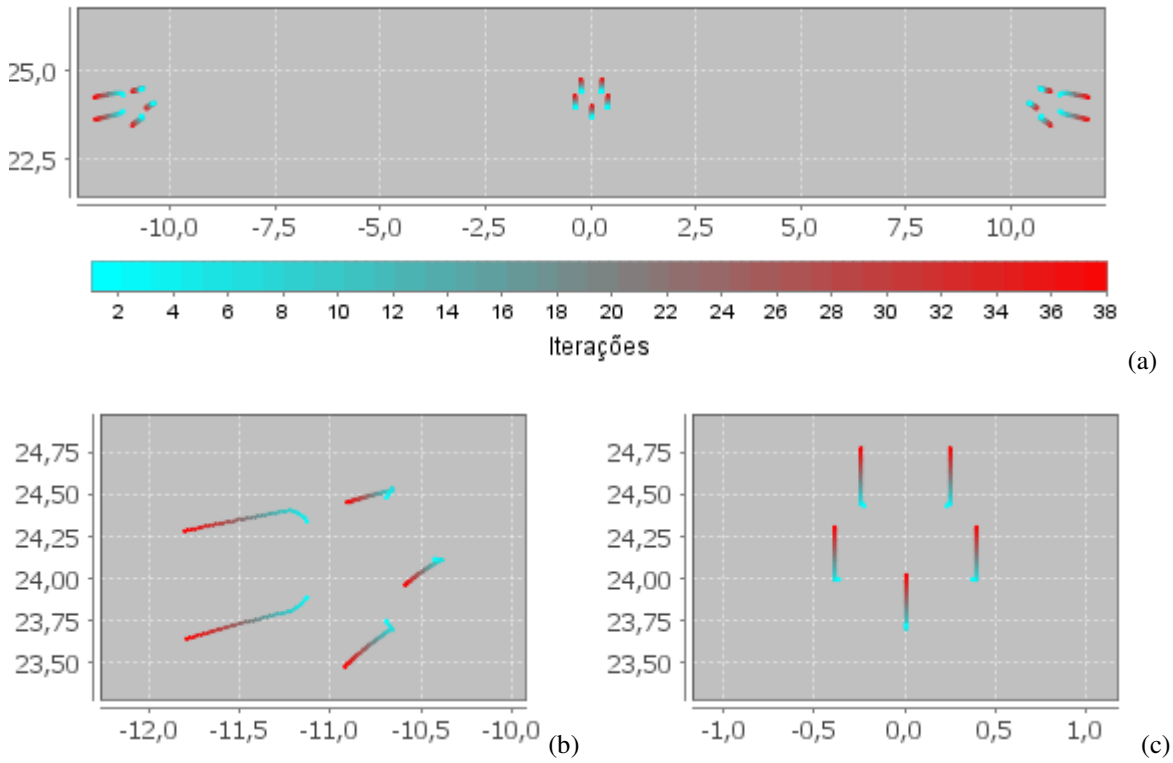

Figura I.33: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 3-I (3), 4-I (3), 1-I (4), 2-I (5), 5-I (5)

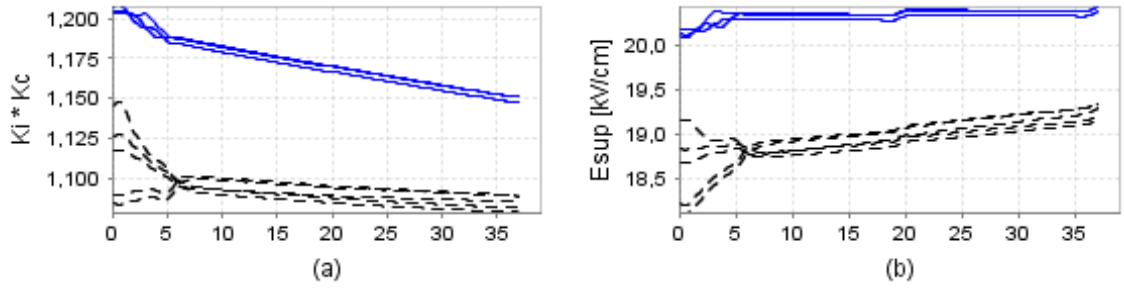

Figura I.34: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

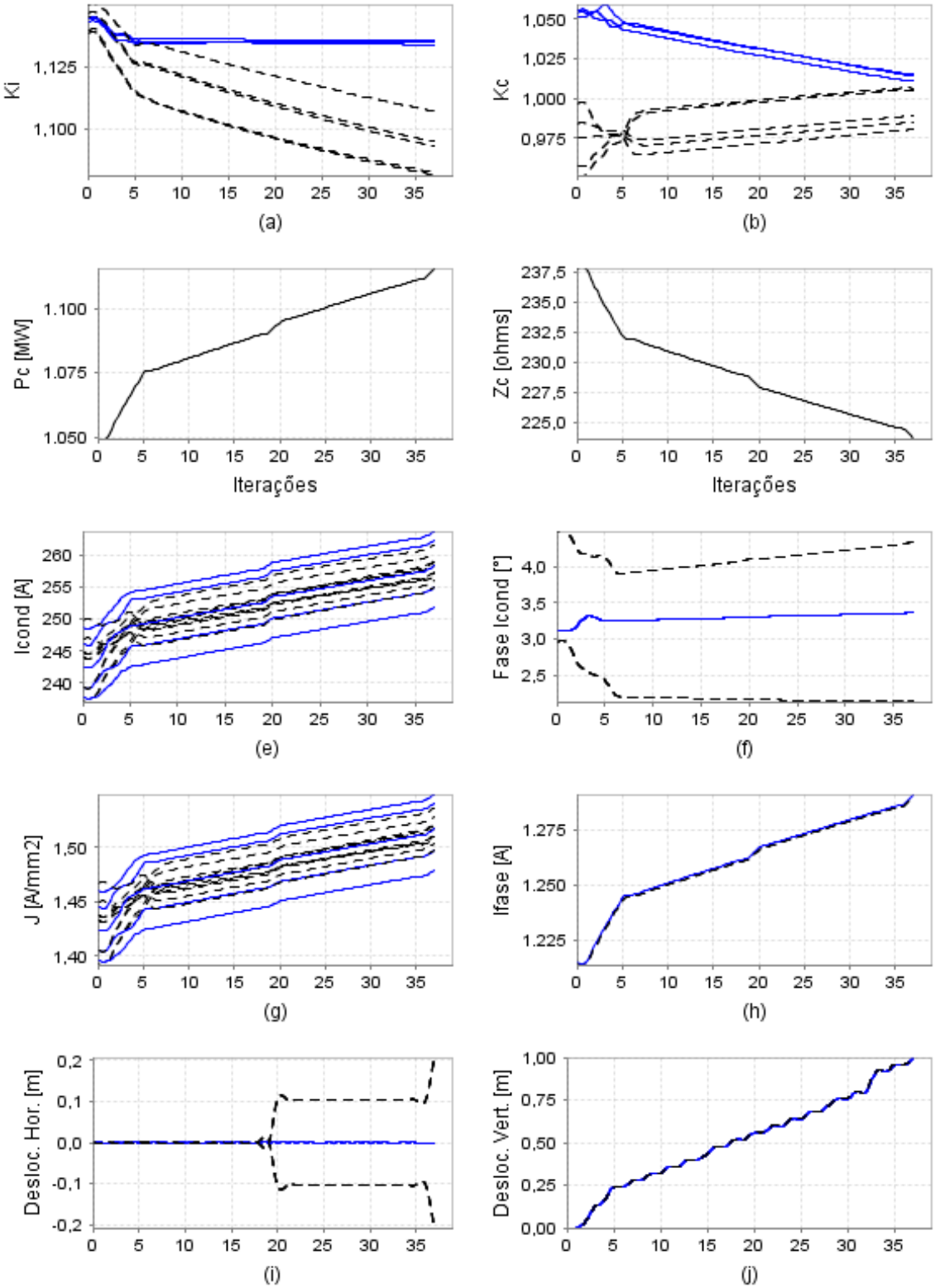

Figura I.35: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

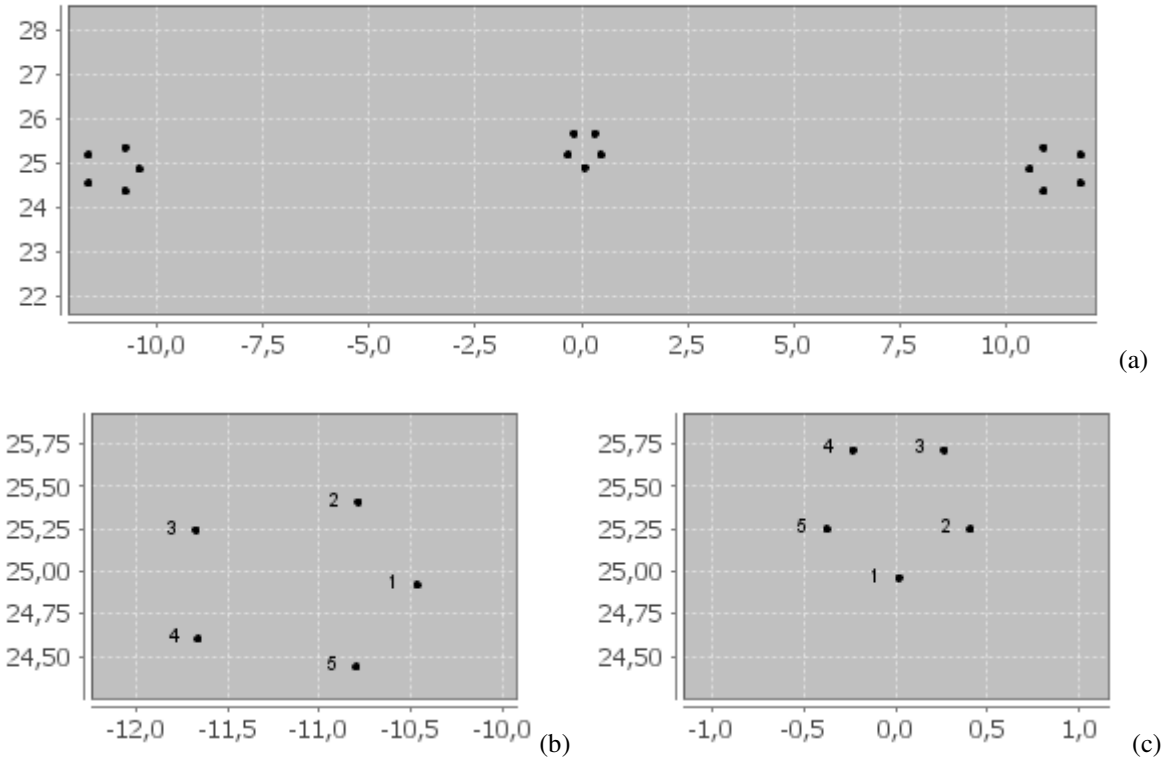

Figura I.36: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.33: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,151	1,148	1,151	1,151	1,148						1,150	0,004
Ki	1,135	1,135	1,134	1,134	1,135						1,134	0,002
Kc	1,015	1,011	1,016	1,016	1,011						1,014	0,005
Icond [A]	258	251	254	262	263						257	10
Esup [kV/cm]	20,4	20,3	20,4	20,4	20,3						20,4	0,1

Tabela I.34: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo LINNET a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,086	1,079	1,090	1,090	1,082						1,085	0,009
Ki	1,108	1,096	1,084	1,083	1,094						1,093	0,021
Kc	0,980	0,985	1,005	1,007	0,989						0,993	0,024
Icond [A]	254	257	261	260	255						257	6
Esup [kV/cm]	19,2	19,1	19,3	19,3	19,2						19,2	0,2

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	6

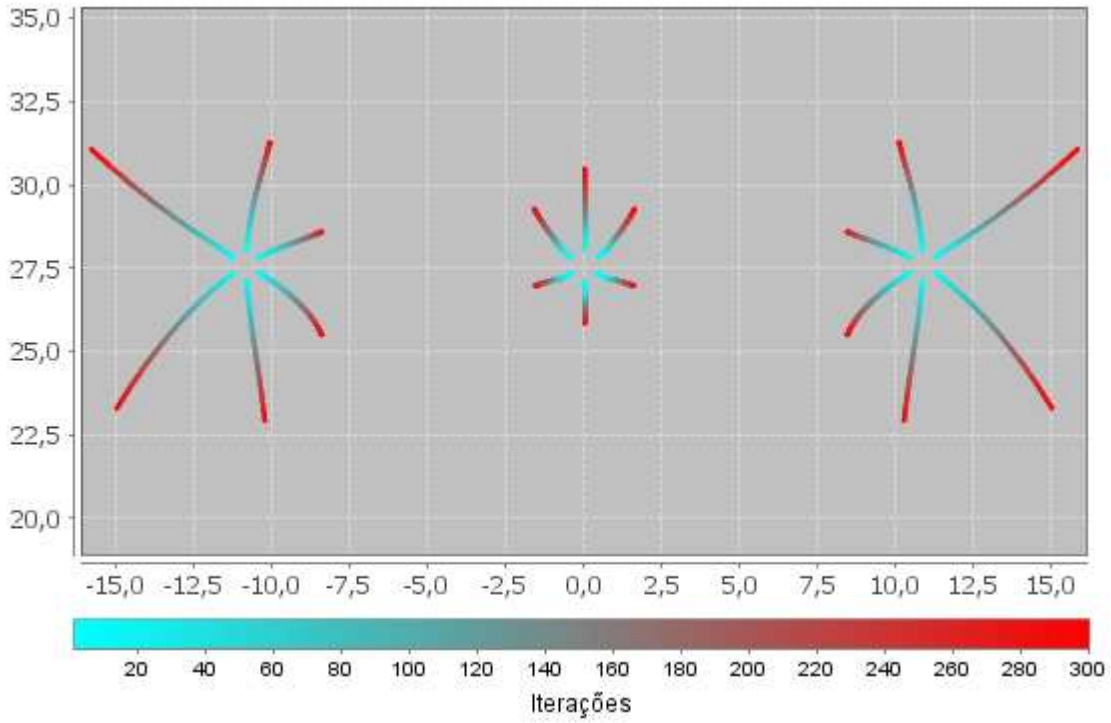

Figura I.37: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

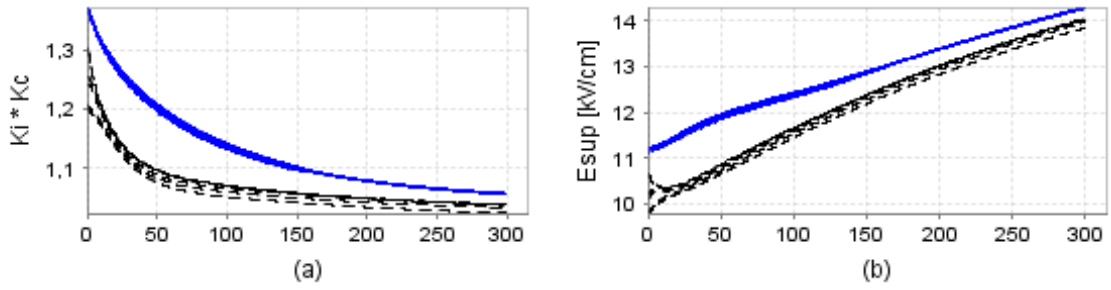

Figura I.38: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

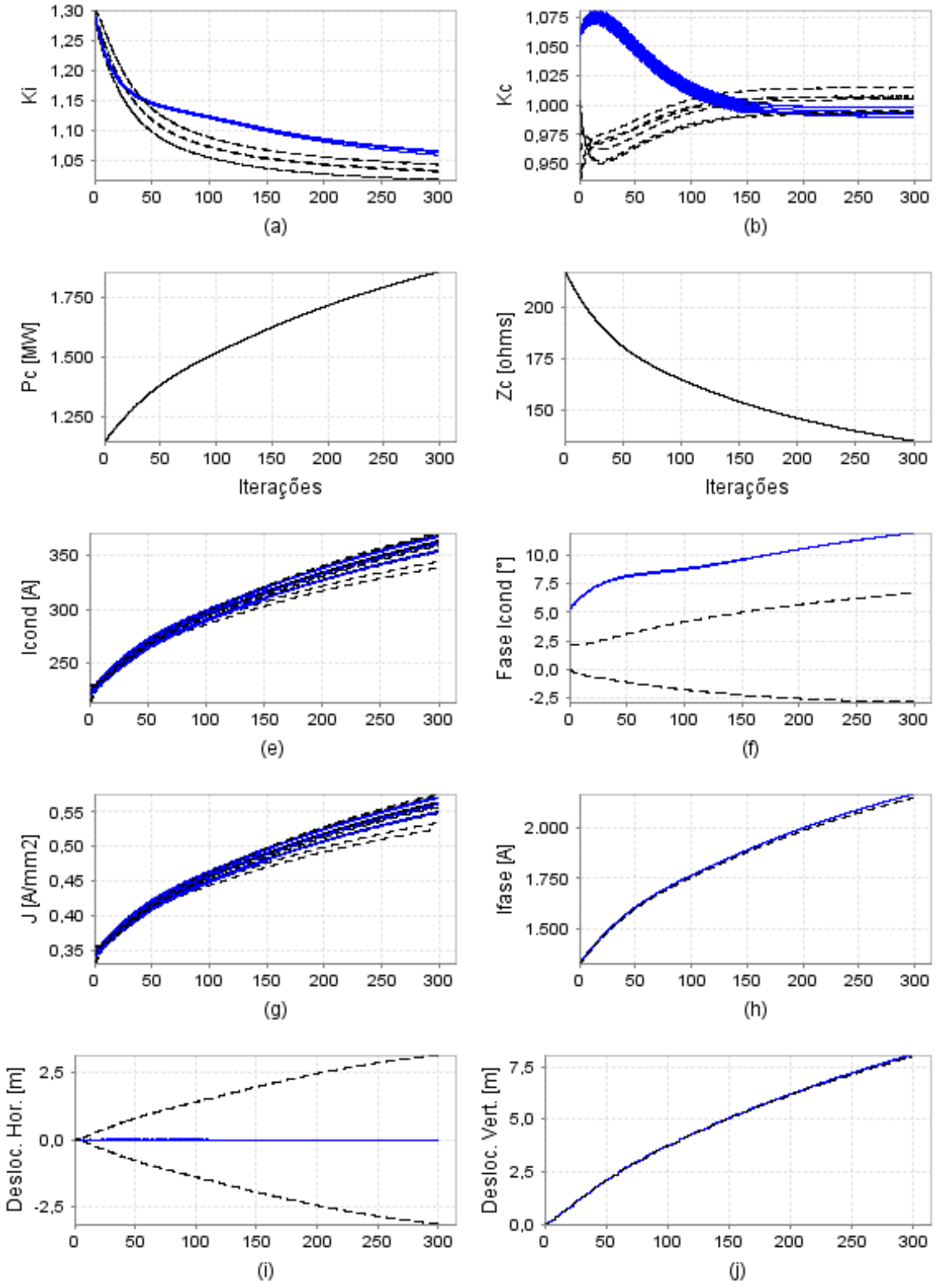

Figura I.39: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

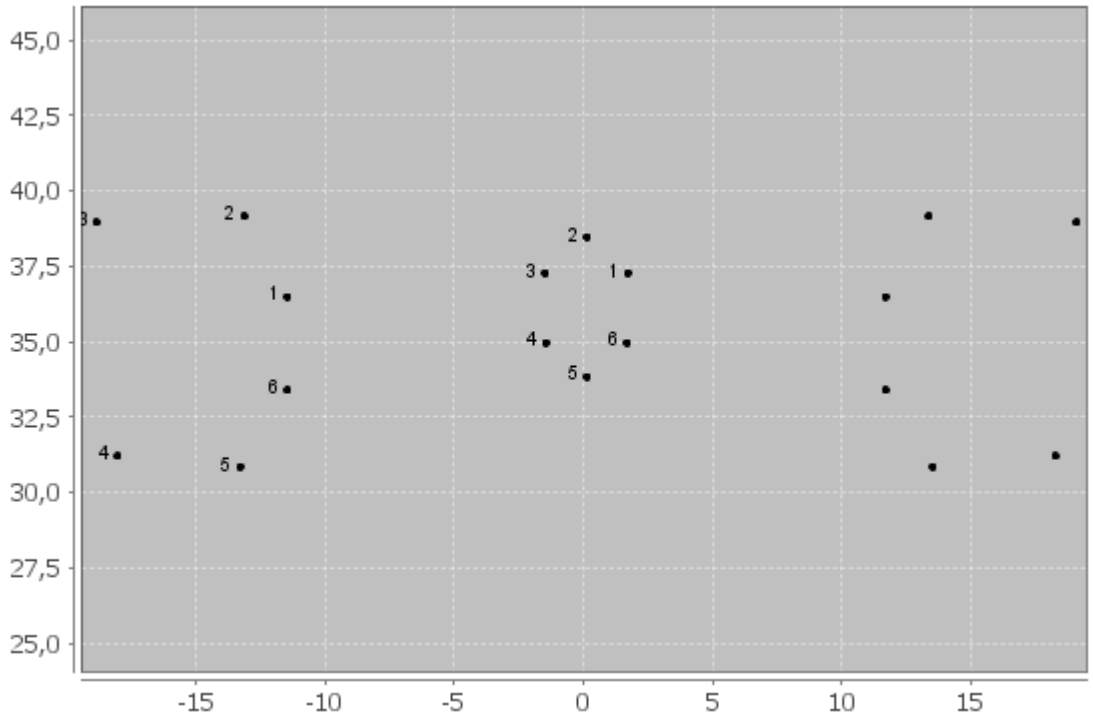

Figura I.40: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.35: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,056	1,058	1,056	1,055	1,058	1,055					1,056	0,003
Ki	1,064	1,059	1,064	1,066	1,064	1,066					1,064	0,006
Kc	0,992	0,999	0,992	0,990	0,994	0,990					0,993	0,007
Icond [A]	354	361	367	368	363	355					361	13
Esup [kV/cm]	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3					14,3	0,0

Tabela I.36: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,037	1,039	1,024	1,034	1,039	1,038					1,035	0,013
Ki	1,044	1,034	1,018	1,019	1,032	1,043					1,032	0,025
Kc	0,994	1,005	1,006	1,015	1,007	0,995					1,004	0,018
Icond [A]	363	370	360	344	354	359					358	19
Esup [kV/cm]	14,0	14,0	13,8	14,0	14,0	14,0					14,0	0,2

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	9

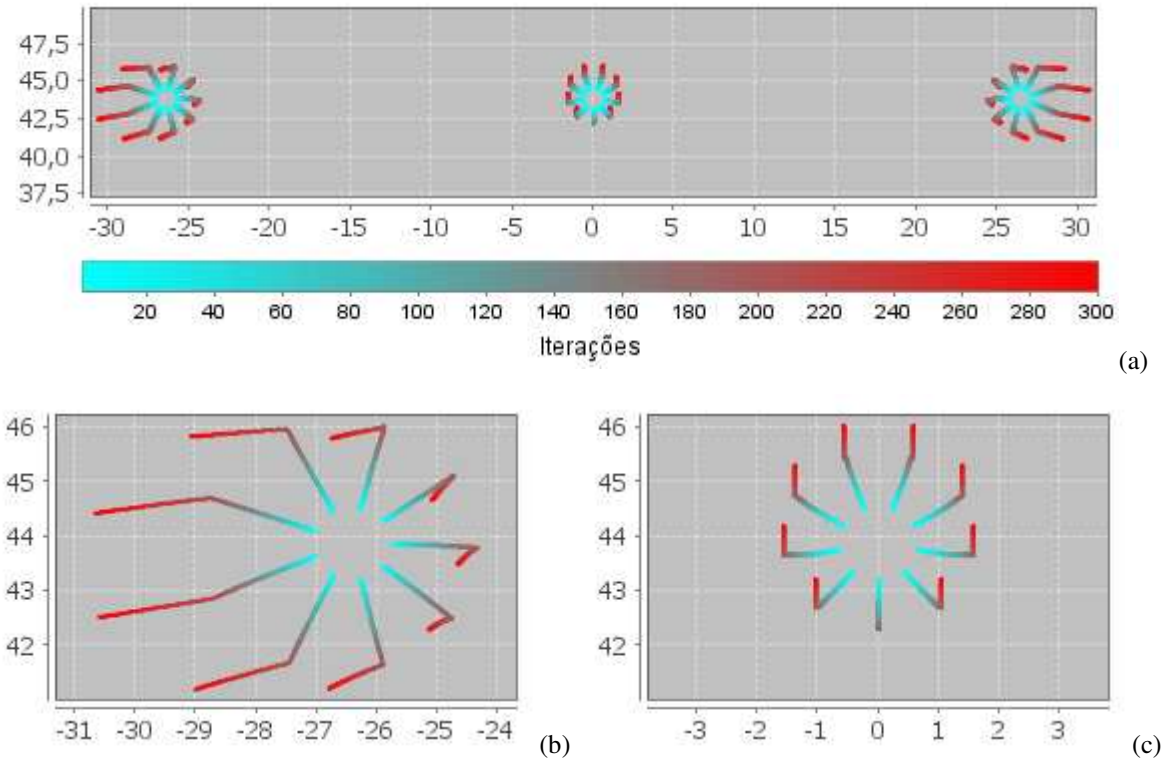

Figura I.41: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (192), 3-I (192), 8-I (192), 4-I (195), 7-I (195), 5-I (200), 6-I (200), 2-I (201), 9-I (201)

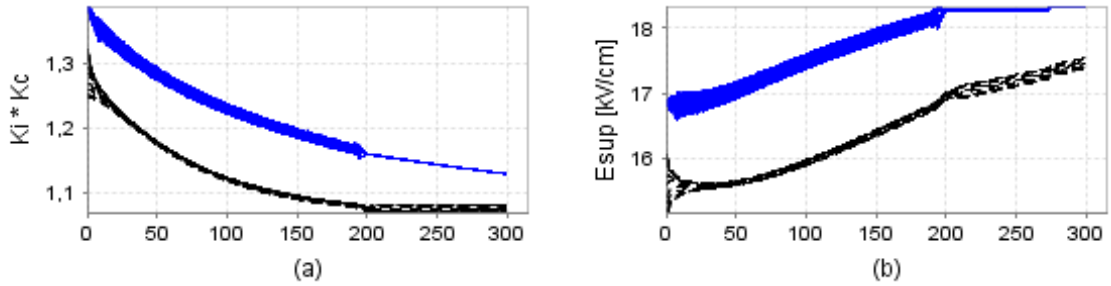

Figura I.42: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional

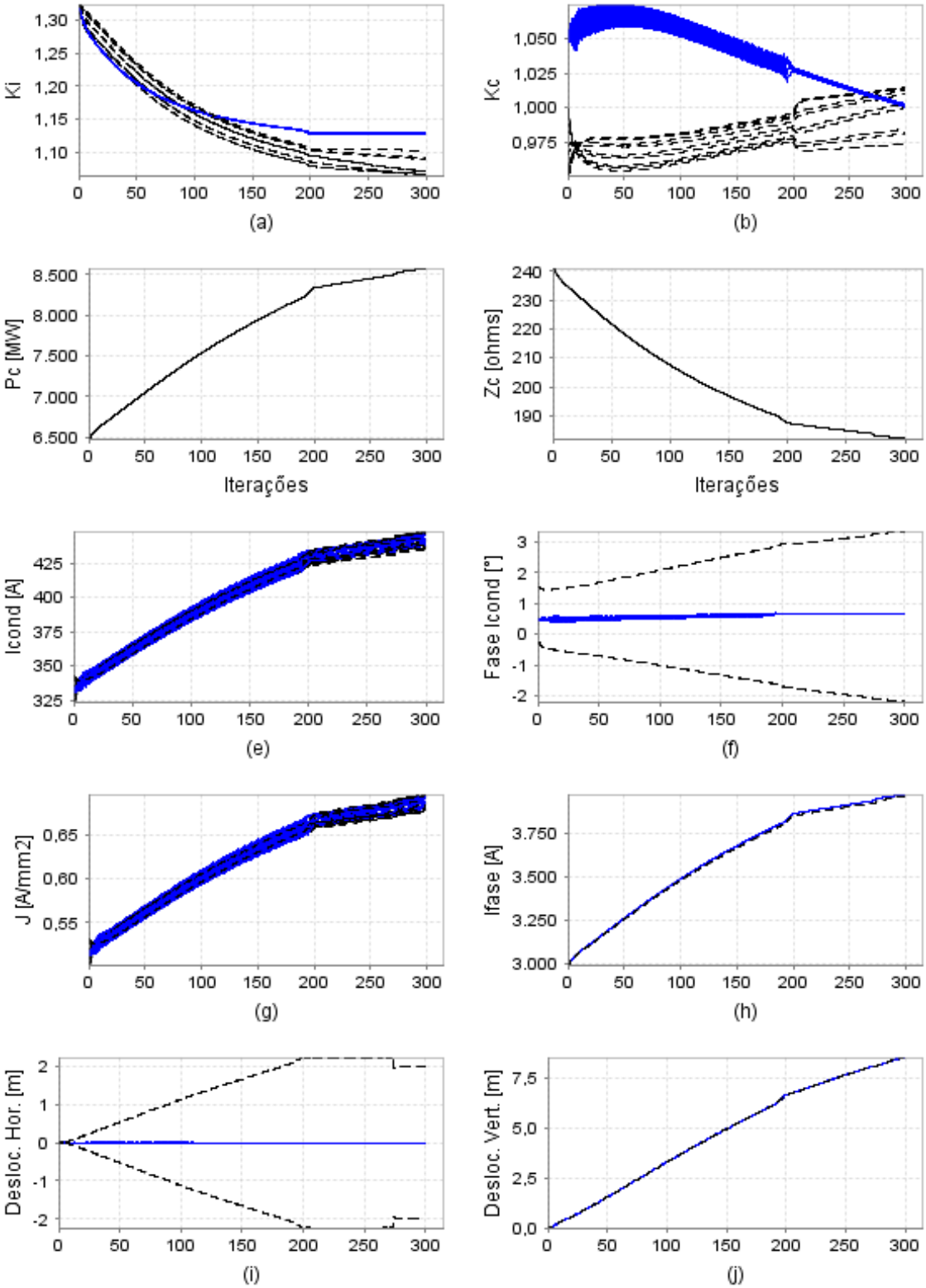

Figura I.43: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional

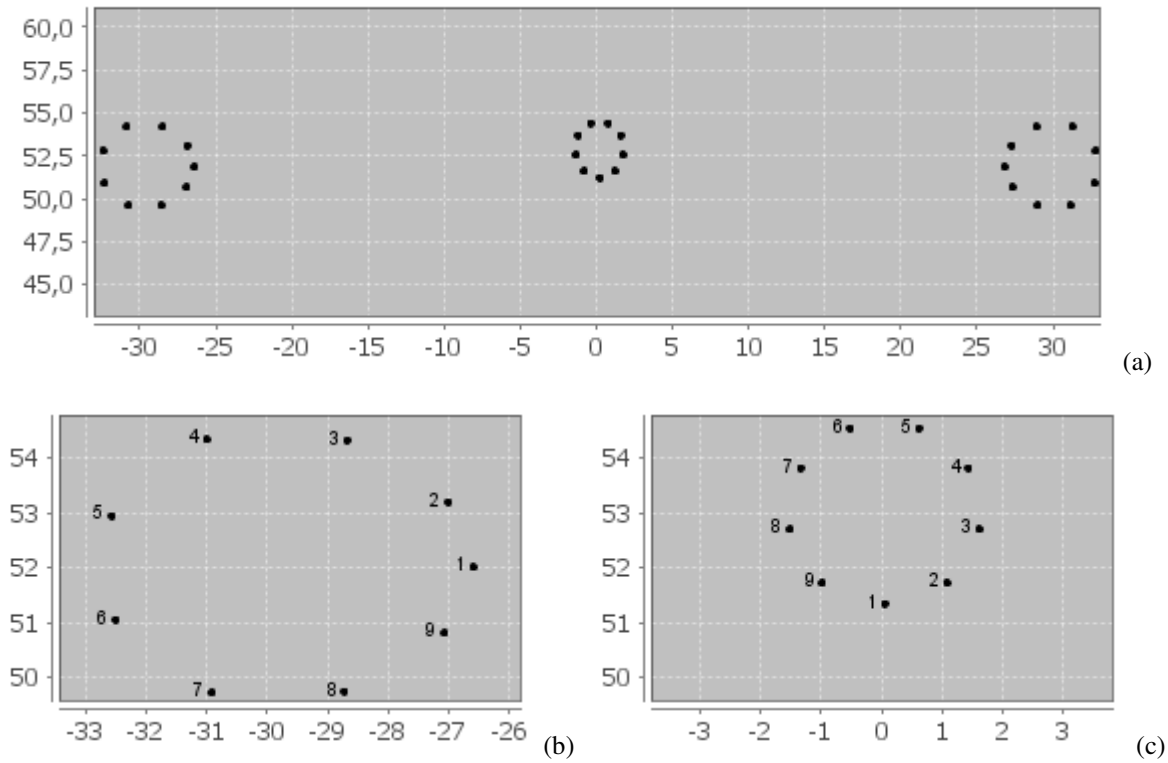

Figura I.44: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.37: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,131	1,130	1,130	1,130	1,130	1,130	1,130	1,130	1,130		1,130	0,001
Ki	1,129	1,129	1,129	1,129	1,127	1,127	1,129	1,129	1,129		1,128	0,002
Kc	1,002	1,001	1,001	1,001	1,003	1,003	1,001	1,001	1,001		1,002	0,002
Icond [A]	442	439	438	438	440	443	446	447	445		442	10
Esup [kV/cm]	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3		18,3	0,0

Tabela I.38: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,074	1,072	1,072	1,077	1,081	1,081	1,078	1,074	1,073		1,076	0,011
Ki	1,102	1,092	1,072	1,066	1,067	1,066	1,065	1,071	1,089		1,077	0,040
Kc	0,974	0,981	1,000	1,010	1,013	1,014	1,012	1,003	0,985		0,999	0,043
Icond [A]	435	440	447	448	443	439	438	439	436		440	13
Esup [kV/cm]	17,4	17,4	17,4	17,5	17,5	17,5	17,5	17,4	17,4		17,4	0,2

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	10

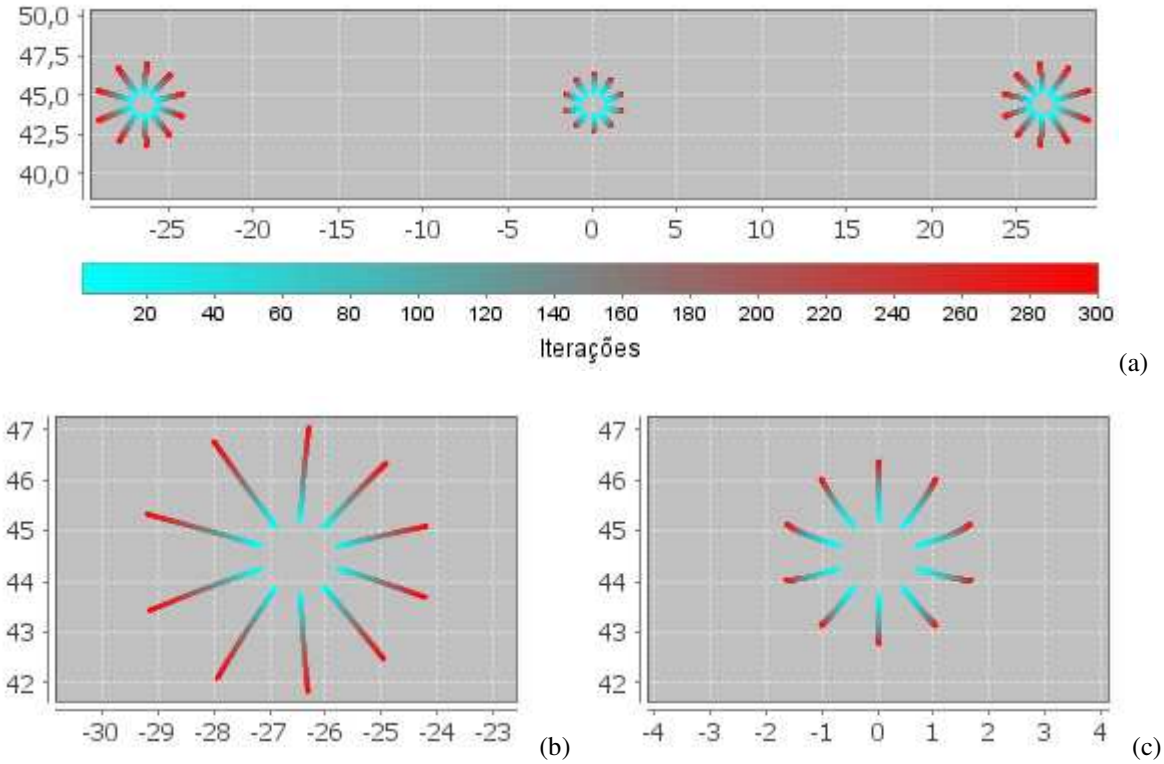

Figura I.45: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

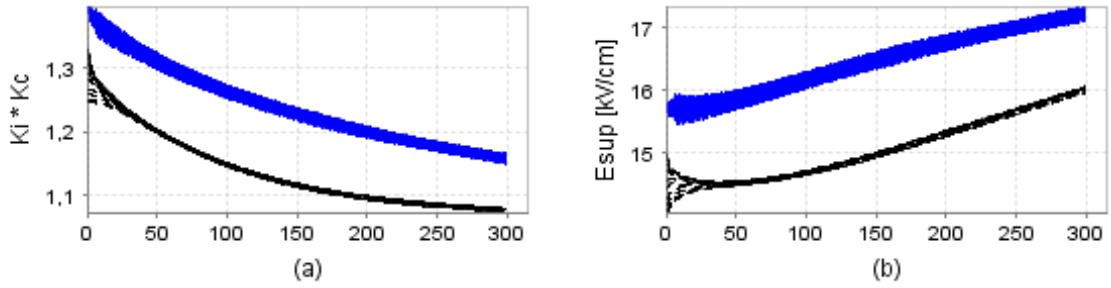

Figura I.46: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional

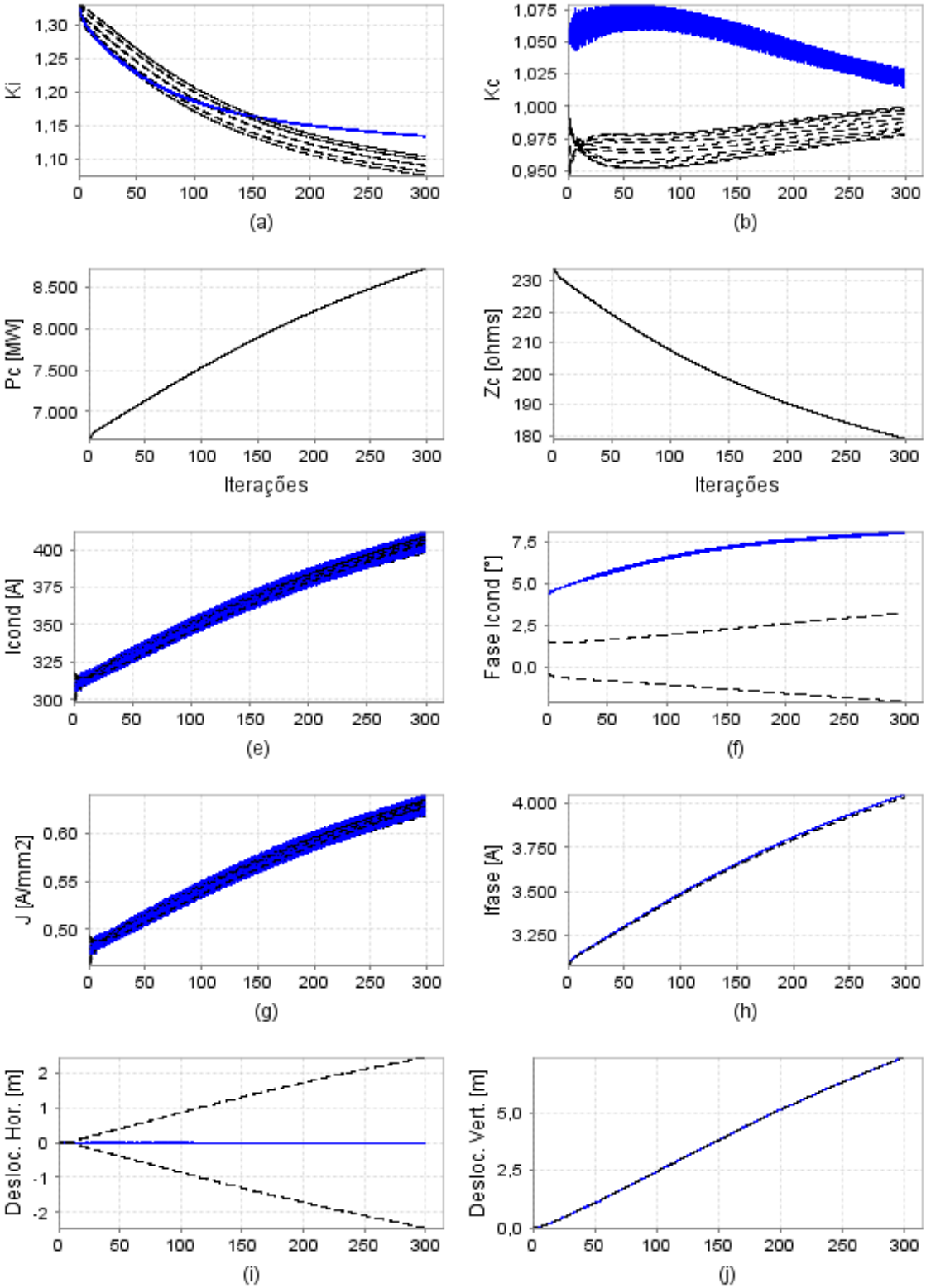

Figura I.47: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional

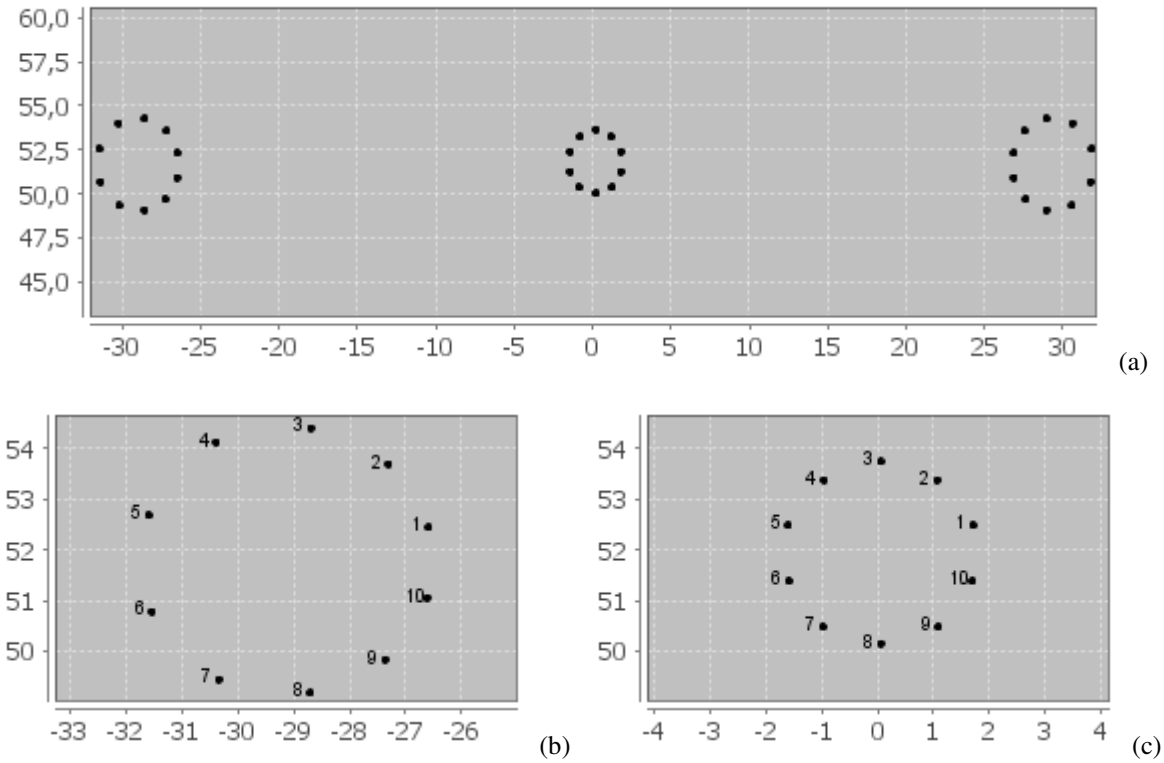

Figura I.48: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.39: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,165	1,154	1,165	1,154	1,165	1,153	1,164	1,155	1,164	1,153	1,159	0,016
Ki	1,134	1,133	1,133	1,133	1,134	1,134	1,134	1,133	1,134	1,134	1,134	0,001
Kc	1,027	1,018	1,027	1,018	1,027	1,017	1,026	1,019	1,026	1,017	1,022	0,014
Icond [A]	403	401	406	406	411	408	409	403	404	399	405	11
Esup [kV/cm]	17,3	17,1	17,3	17,1	17,3	17,1	17,3	17,2	17,3	17,1	17,2	0,2

Tabela I.40: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo BITTERN a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,079	1,078	1,077	1,075	1,074	1,076	1,078	1,080	1,080	1,080	1,078	0,007
Ki	1,104	1,099	1,090	1,081	1,076	1,076	1,081	1,090	1,098	1,104	1,090	0,033
Kc	0,978	0,981	0,988	0,994	0,998	1,000	0,997	0,991	0,983	0,978	0,989	0,025
Icond [A]	404	406	409	408	405	401	399	399	400	402	403	10
Esup [kV/cm]	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,1	16,0	16,0	0,1

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	10

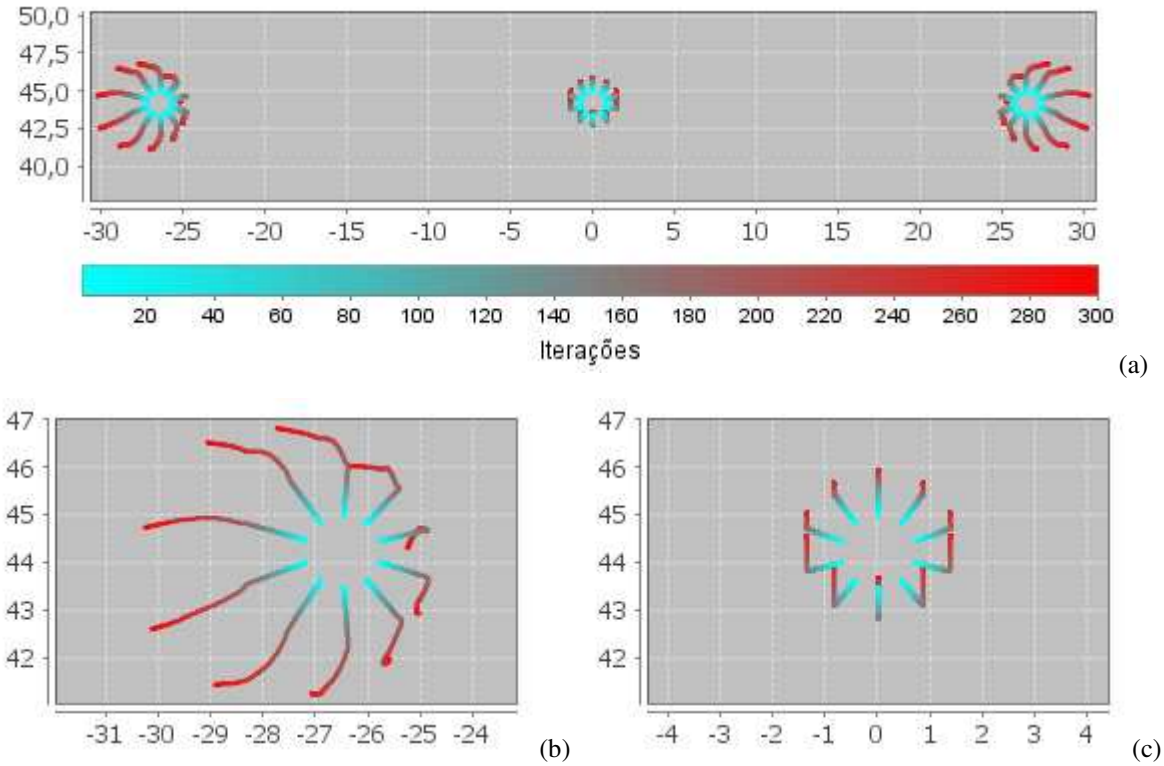

Figura I.49: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (163), 5-I (163), 7-I (163), 9-I (163), 2-I (170), 4-I (170), 8-I (176), 3-I (177), 6-I (179), 10-I (179)

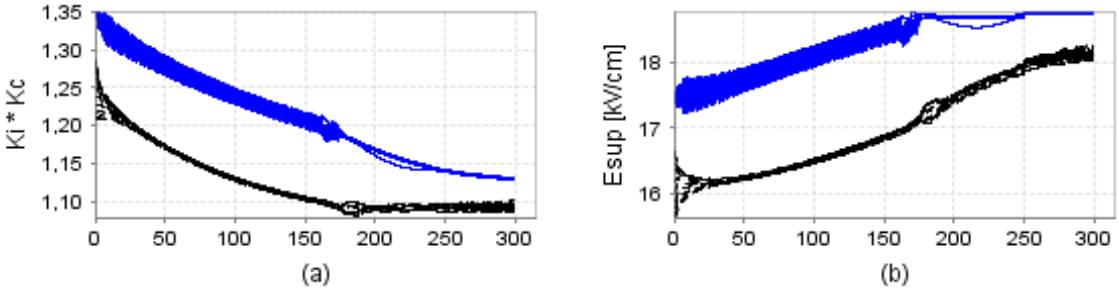

Figura I.50: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional

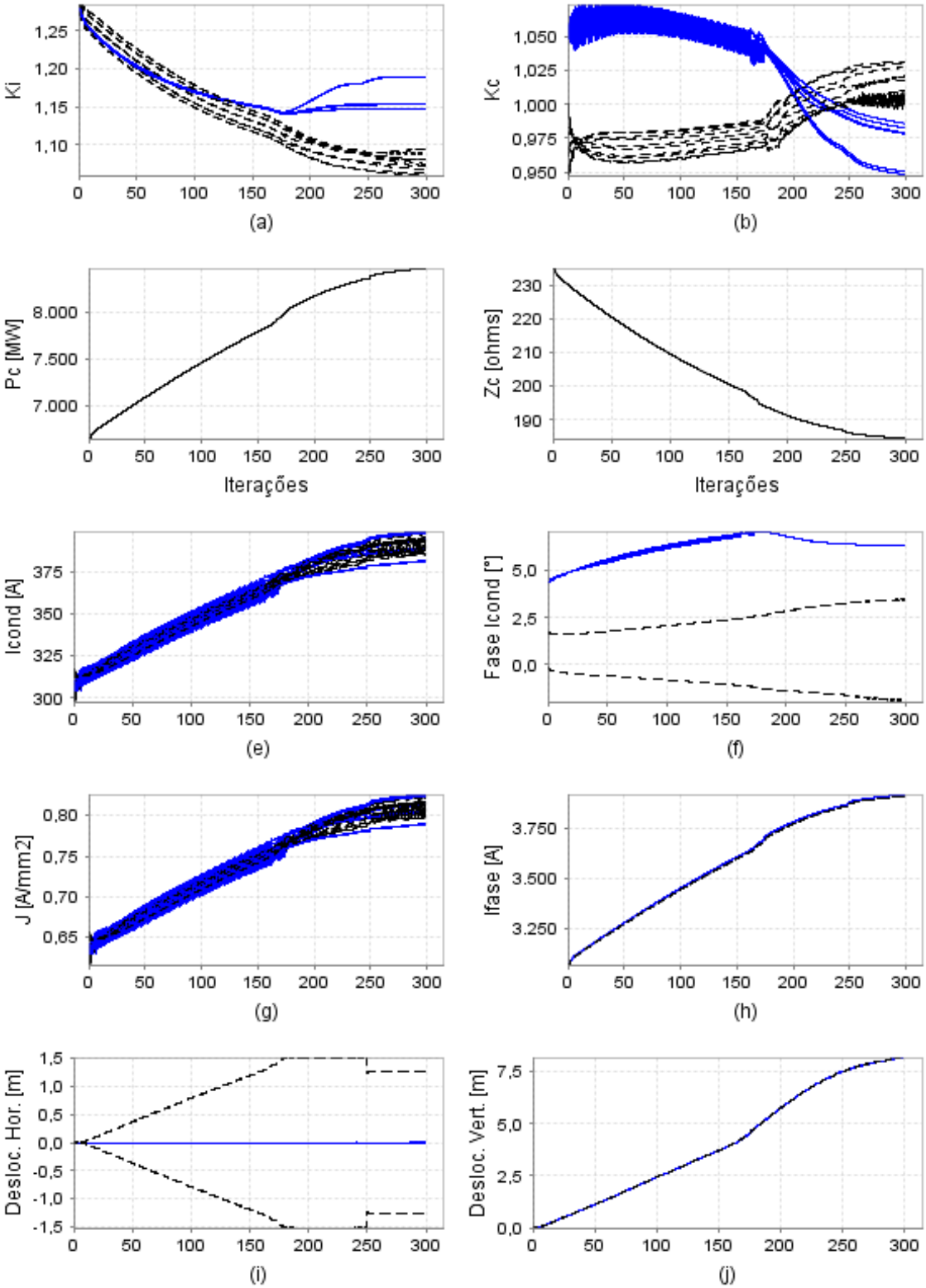

Figura I.51: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional

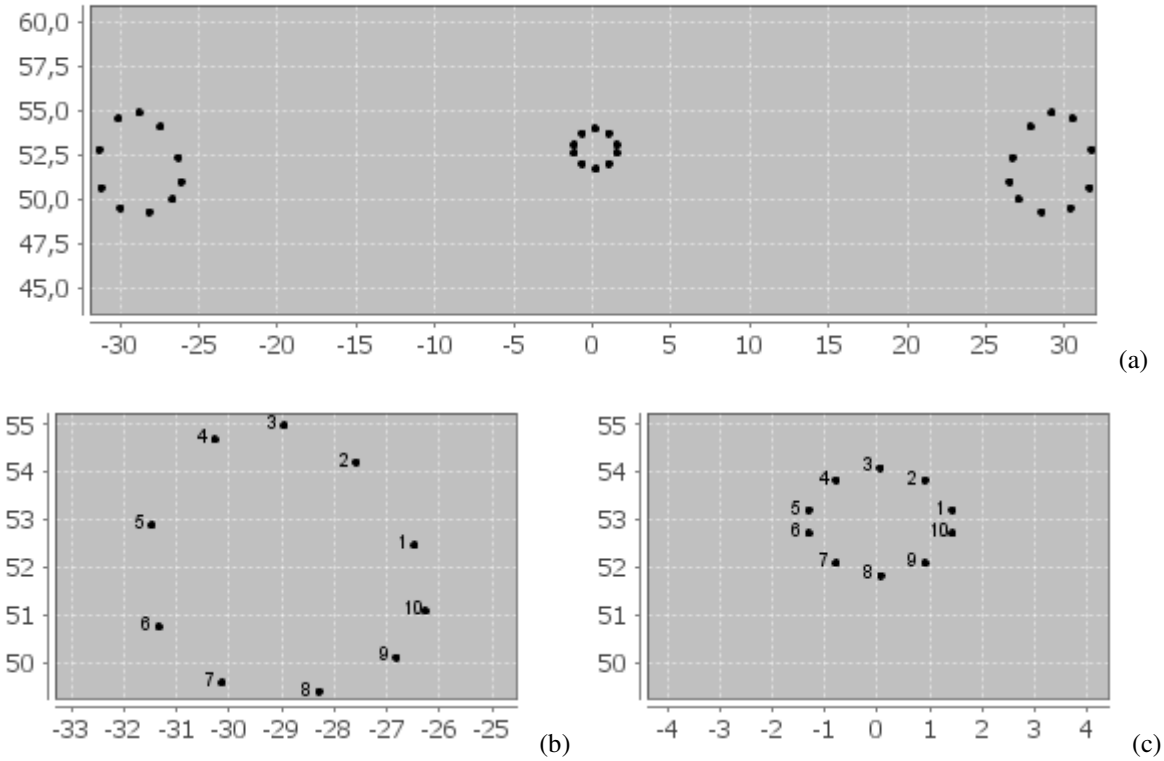

Figura I.52: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.41: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,130	1,128	1,131	1,128	1,130	1,128	1,130	1,128	1,130	1,128	1,129	0,004
Ki	1,188	1,153	1,147	1,153	1,188	1,189	1,154	1,148	1,154	1,189	1,166	0,058
Kc	0,951	0,978	0,986	0,978	0,951	0,948	0,979	0,983	0,979	0,948	0,968	0,049
Icond [A]	382	393	398	398	389	389	399	398	394	381	392	20
Esup [kV/cm]	18,8	18,7	18,8	18,7	18,8	18,7	18,8	18,7	18,8	18,7	18,7	0,1

Tabela I.42: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo RAIL a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,087	1,086	1,091	1,092	1,093	1,097	1,097	1,095	1,088	1,101	1,092	0,015
Ki	1,081	1,075	1,080	1,072	1,060	1,063	1,067	1,072	1,088	1,095	1,075	0,033
Kc	1,005	1,010	1,010	1,018	1,031	1,032	1,028	1,021	1,000	1,005	1,016	0,034
Icond [A]	393	396	395	395	393	389	388	389	386	391	391	10
Esup [kV/cm]	18,0	18,0	18,1	18,1	18,1	18,2	18,2	18,2	18,1	18,3	18,1	0,2

I.2.2 - Linhas otimizadas com a restrição de feixes com simetria vertical

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	3

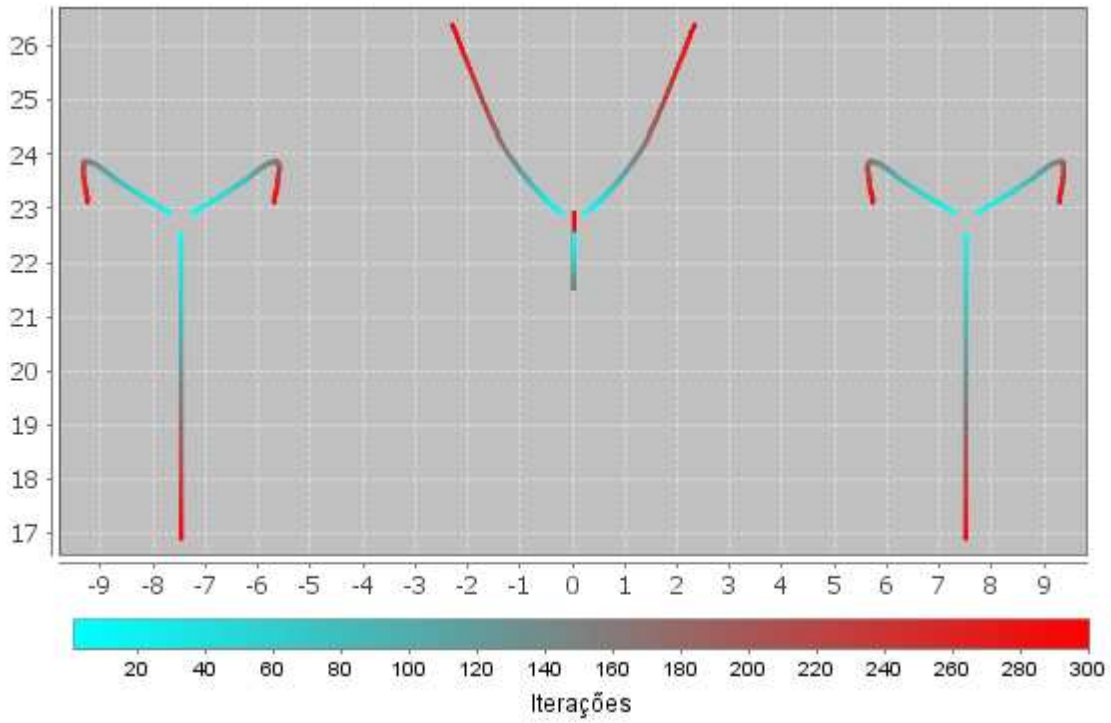

Figura I.53: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

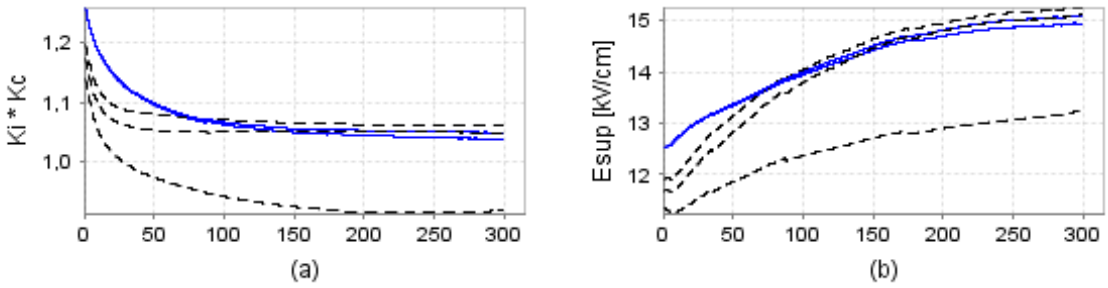

Figura I.54: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

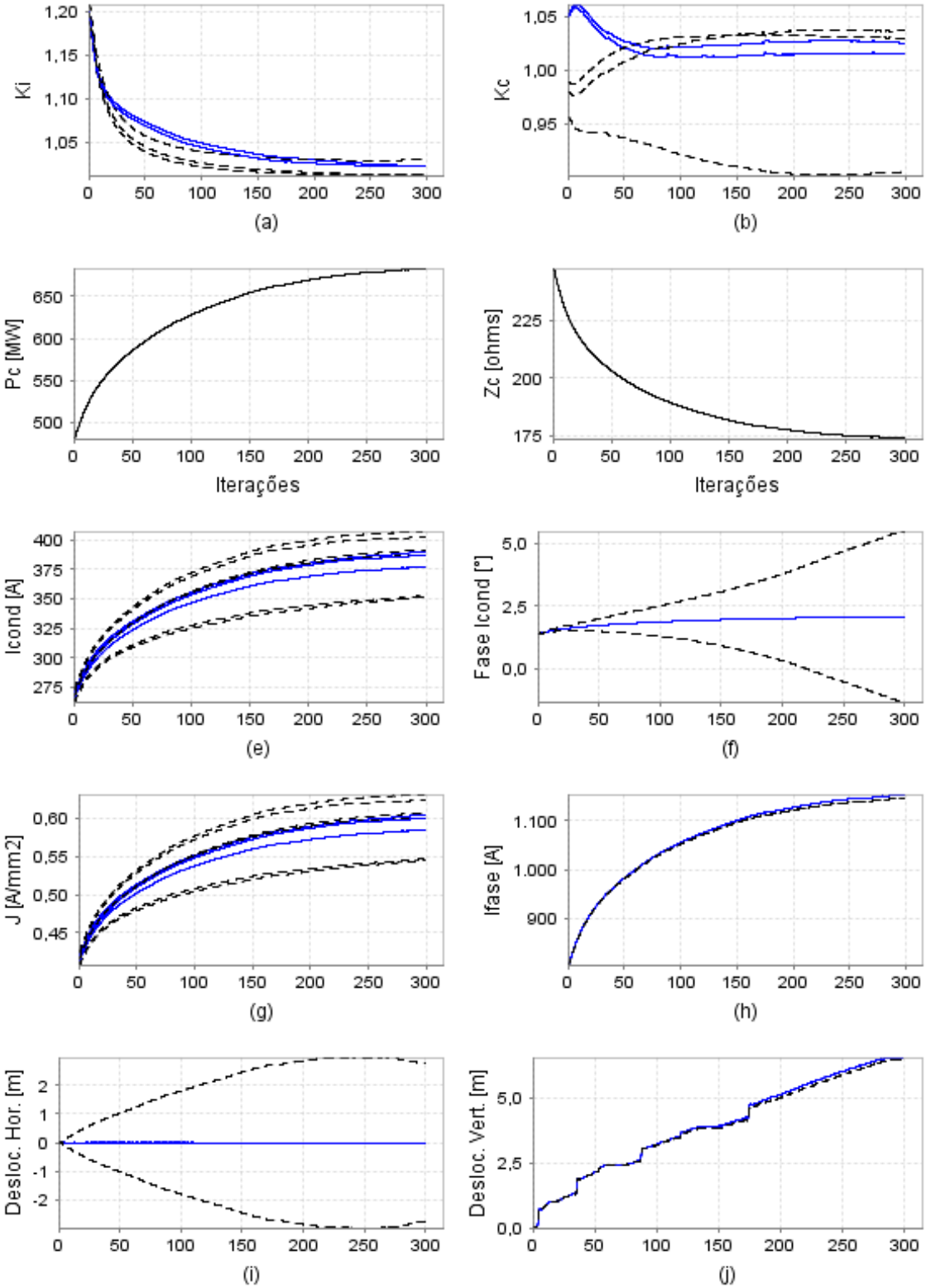

Figura I.55: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

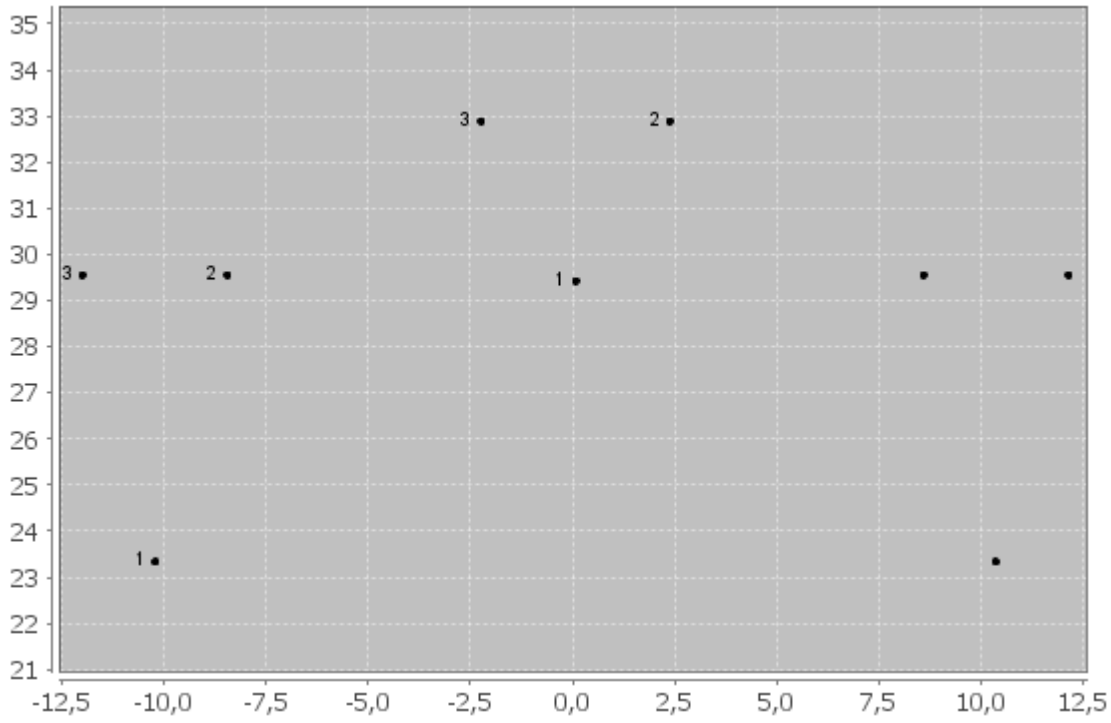

Figura I.56: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.43: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,048	1,038	1,038								1,041	0,009
Ki	1,023	1,022	1,022								1,022	0,000
Kc	1,025	1,015	1,015								1,018	0,008
Icond [A]	387	377	390								385	9
Esup [kV/cm]	15,1	14,9	14,9								15,0	0,1

Tabela I.44: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,049	1,060	0,918								1,009	0,111
Ki	1,012	1,029	1,013								1,018	0,014
Kc	1,037	1,029	0,906								0,991	0,104
Icond [A]	391	402	352								382	37
Esup [kV/cm]	15,1	15,3	13,2								14,5	1,6

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BLUEJAY
Nsub	3

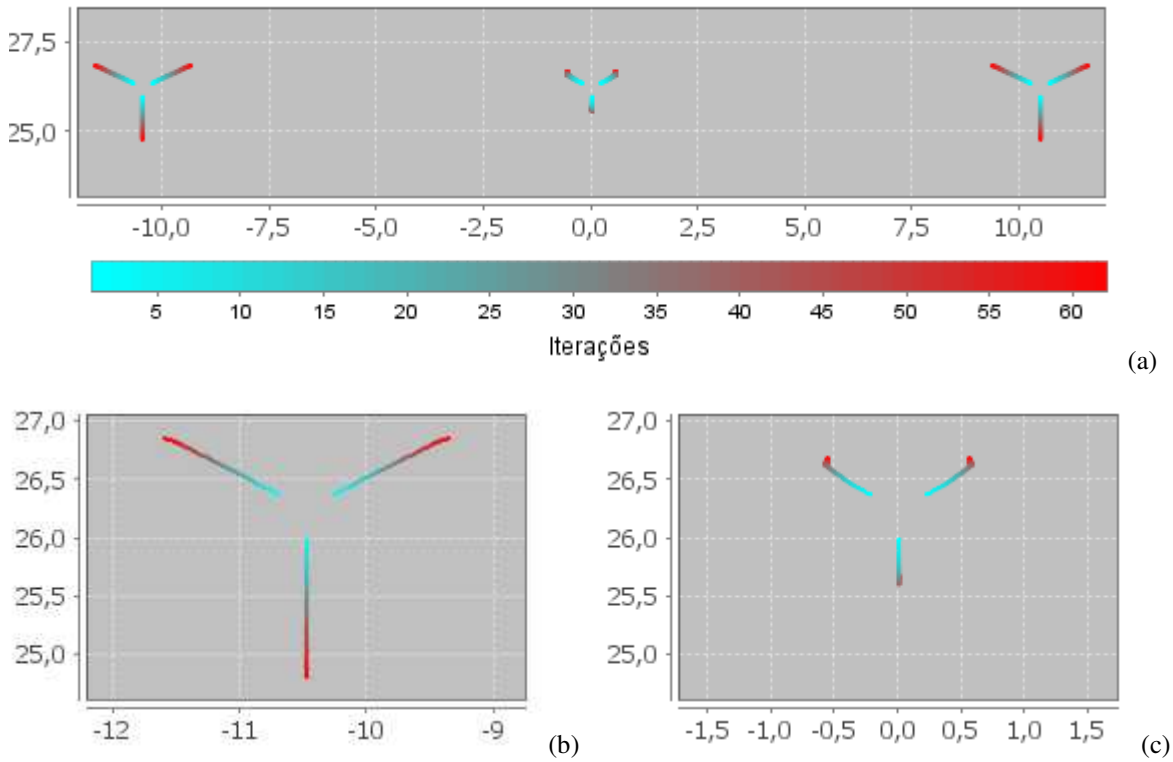

Figura I.57: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (39), 2-I (39), 3-I (39), 2-E (56)

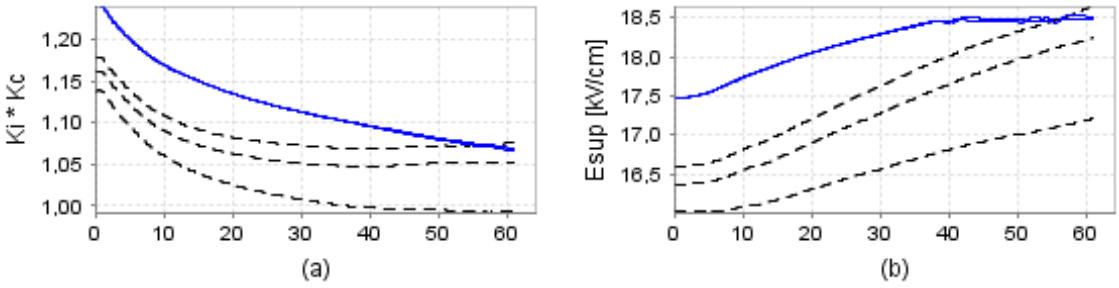

Figura I.58: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

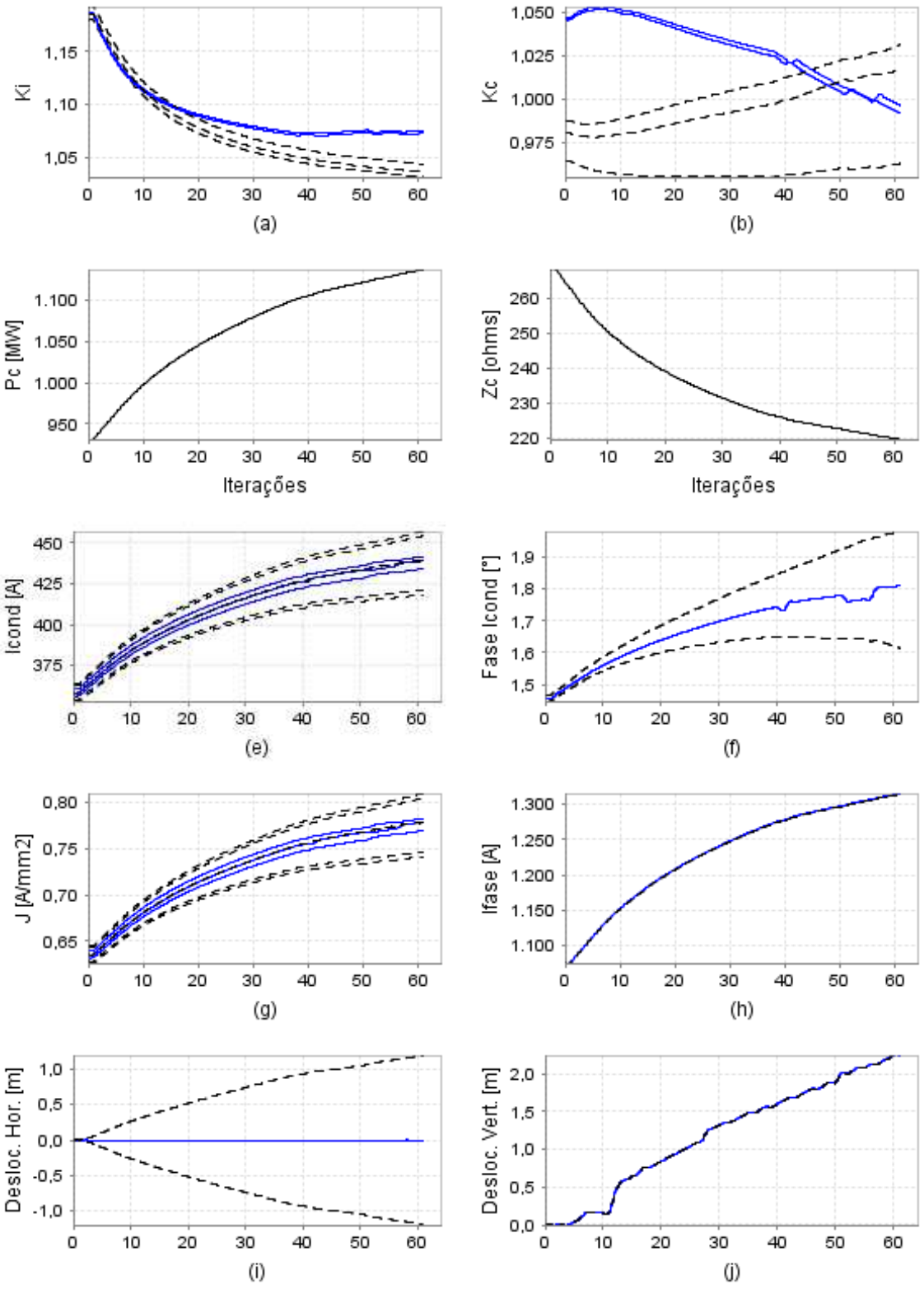

Figura I.59: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

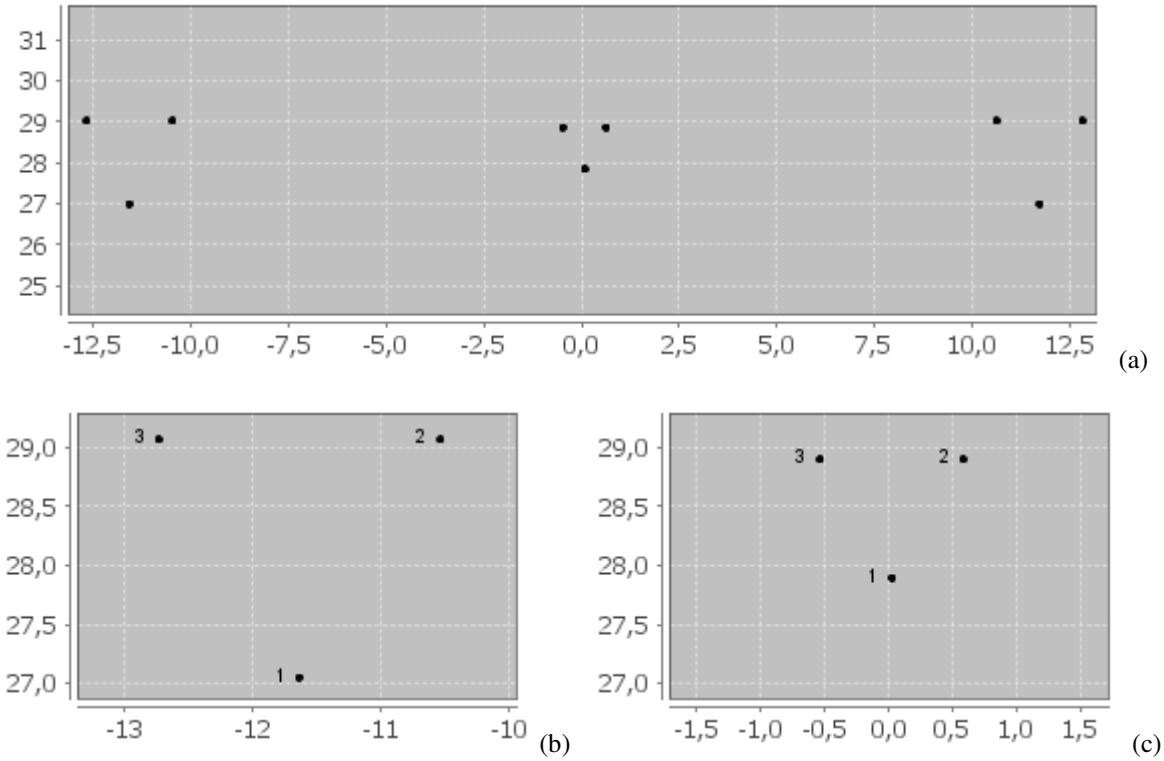

Figura I.60: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.45: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3							Média	Desvio
Ki * Kc	1,070	1,067	1,067							1,068	0,002
Ki	1,072	1,074	1,074							1,074	0,002
Kc	0,998	0,993	0,993							0,995	0,004
Icond [A]	439	434	441							438	5
Esup [kV/cm]	18,5	18,5	18,5							18,5	0,0

Tabela I.46: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BLUEJAY a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3							Média	Desvio
Ki * Kc	1,052	1,075	0,993							1,040	0,060
Ki	1,036	1,044	1,032							1,037	0,009
Kc	1,016	1,030	0,962							1,003	0,051
Icond [A]	439	453	421							438	23
Esup [kV/cm]	18,2	18,6	17,2							18,0	1,0

Tensão de operação [kV]	345
Distância de isolação	Convencional (7,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	3

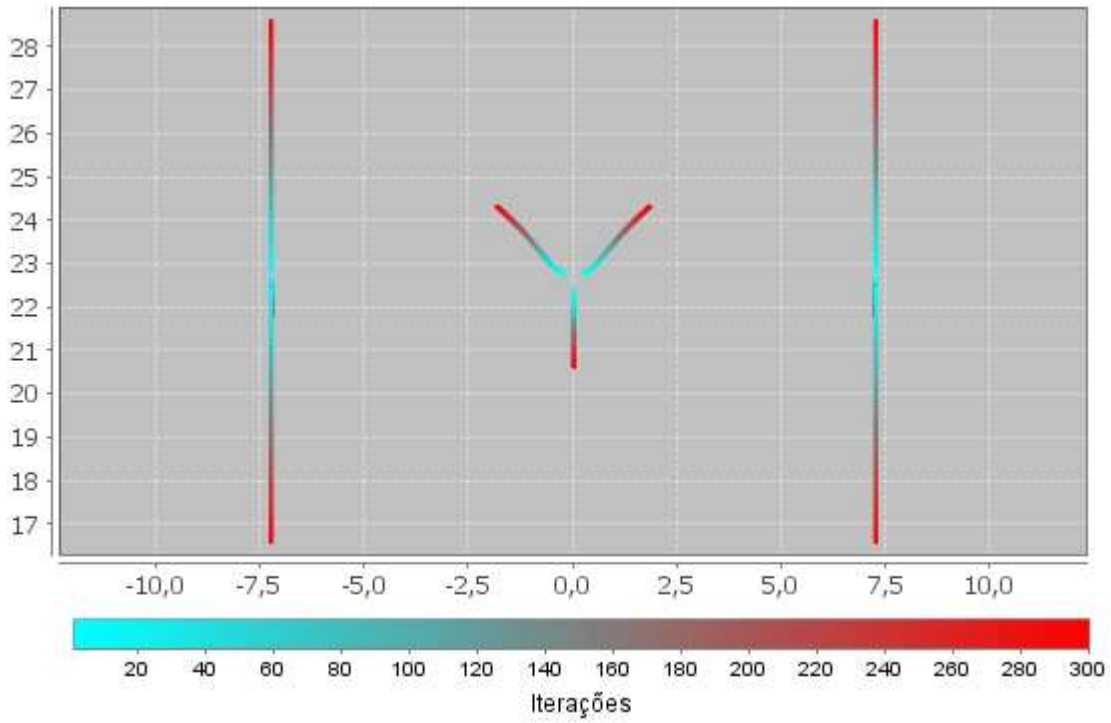

Figura I.61: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

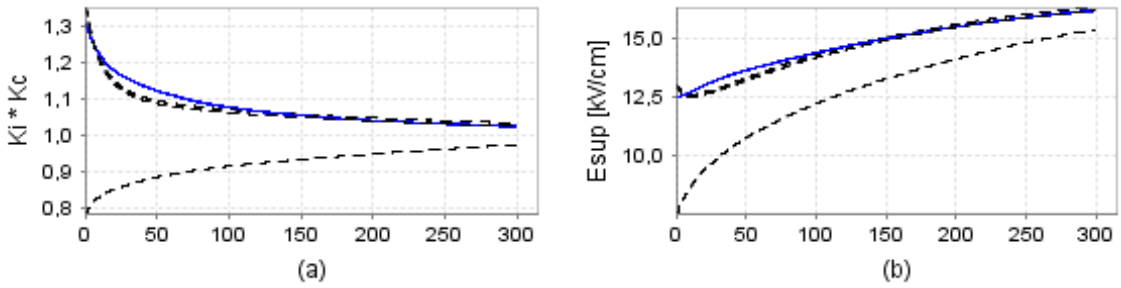

Figura I.62: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

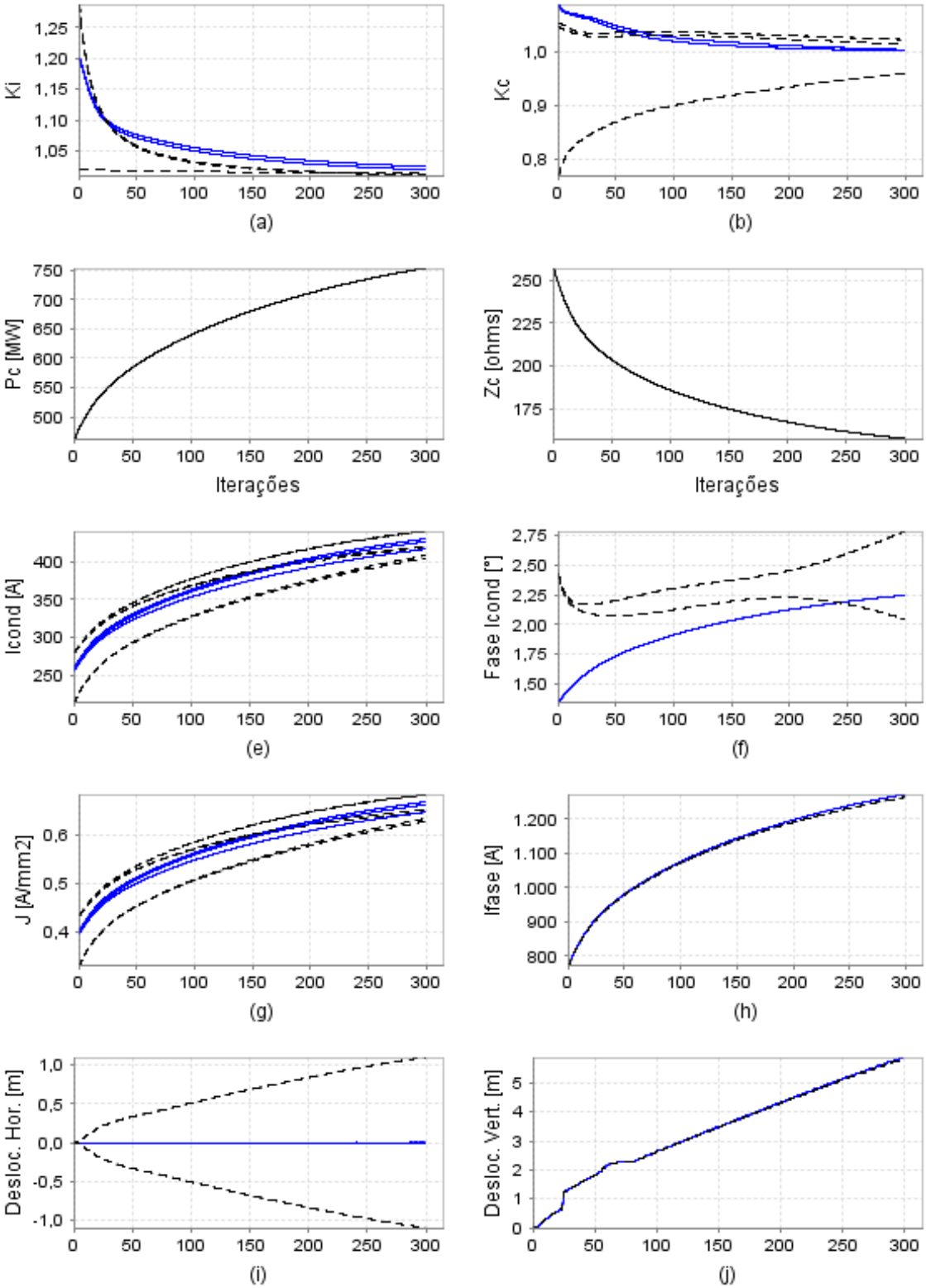

Figura I.63: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

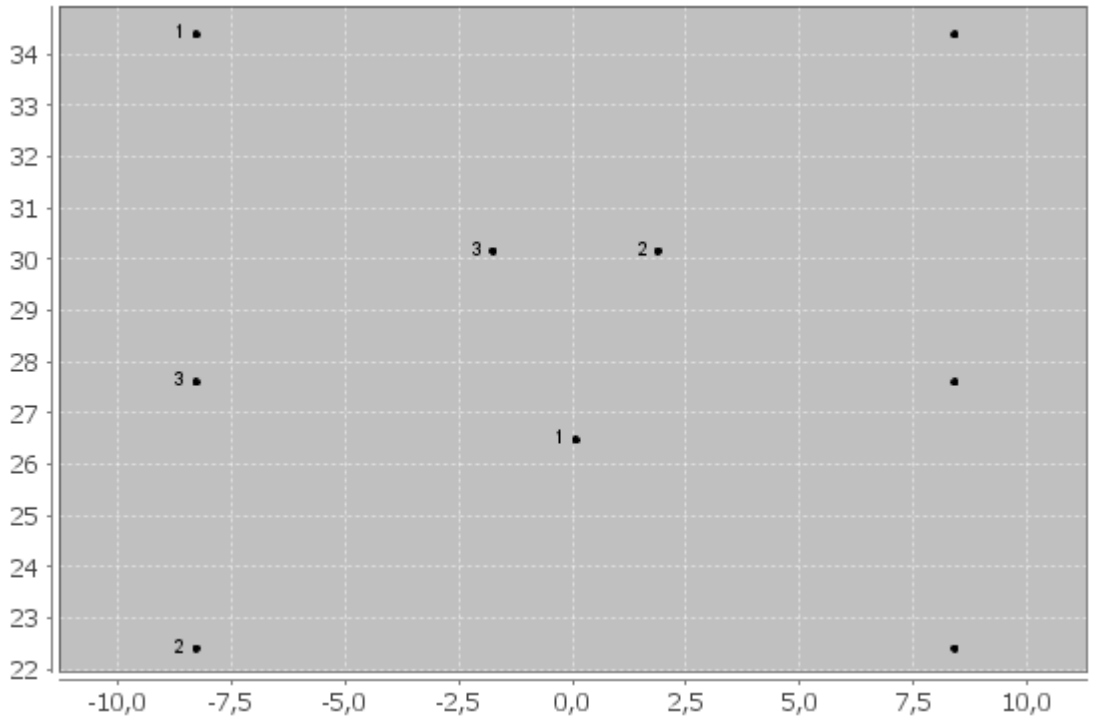

Figura I.64: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.47: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,024	1,028	1,028								1,026	0,003
Ki	1,020	1,025	1,025								1,024	0,004
Kc	1,004	1,002	1,002								1,003	0,001
Icond [A]	426	416	430								424	10
Esup [kV/cm]	16,2	16,2	16,2								16,2	0,0

Tabela I.48: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 345 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,025	1,034	0,974								1,011	0,046
Ki	1,011	1,012	1,015								1,013	0,003
Kc	1,014	1,022	0,960								0,999	0,048
Icond [A]	440	419	404								421	26
Esup [kV/cm]	16,2	16,3	15,4								15,9	0,7

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	3

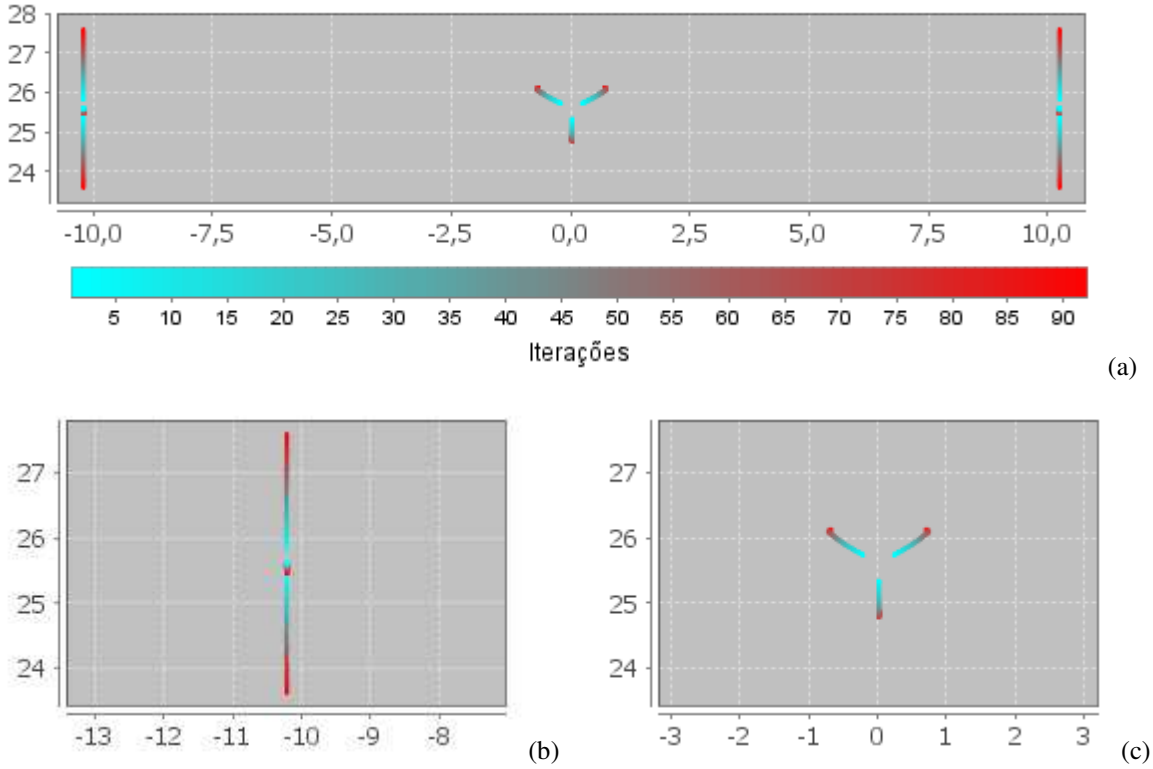

Figura I.65: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (69), 2-I (69), 3-I (69), 2-E (80), 1-E (84)

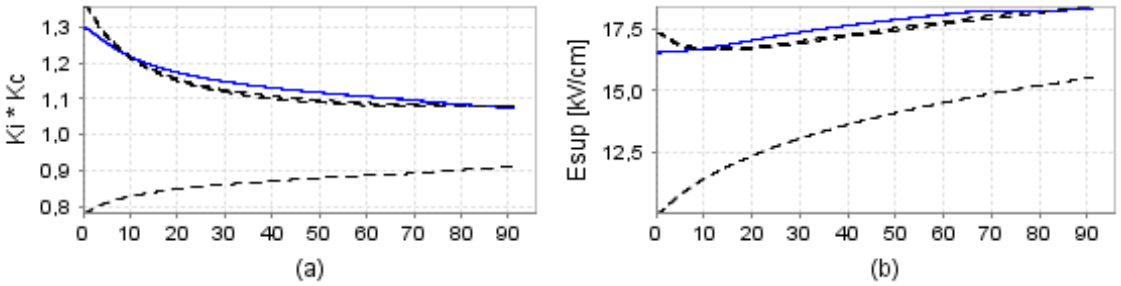

Figura I.66: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

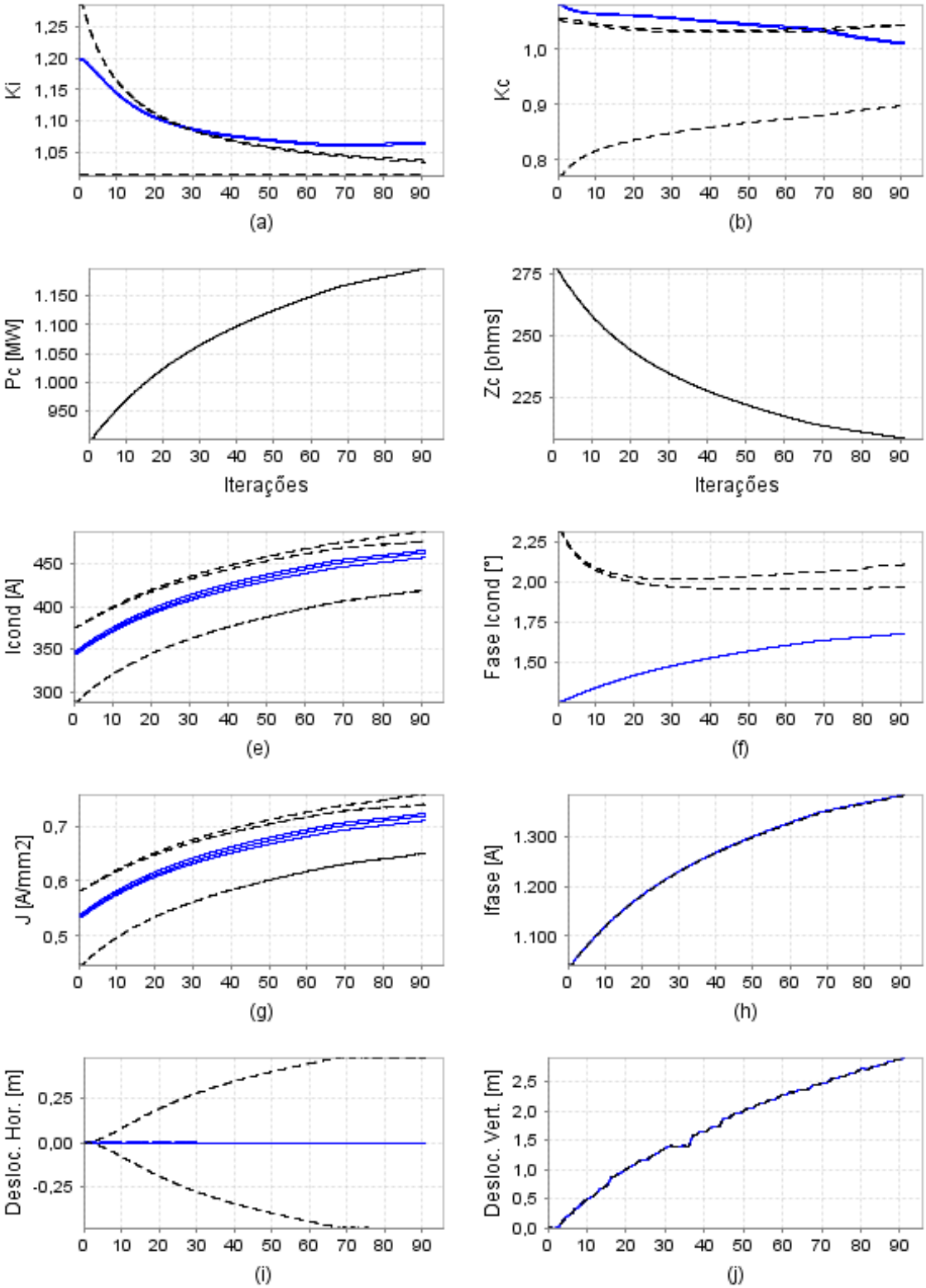

Figura I.67: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

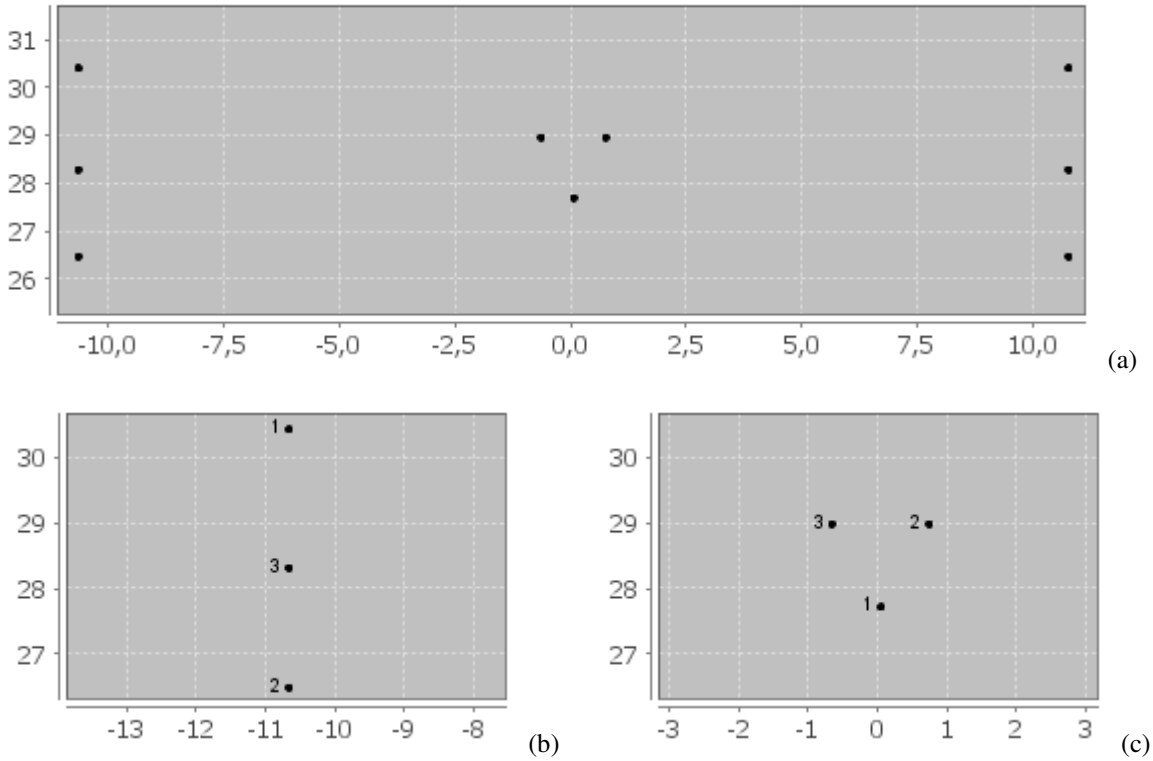

Figura I.68: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.49: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,074	1,074	1,074								1,074	0,000
Ki	1,061	1,064	1,064								1,063	0,002
Kc	1,012	1,009	1,009								1,010	0,002
Icond [A]	463	457	466								462	6
Esup [kV/cm]	18,3	18,3	18,3								18,3	0,0

Tabela I.50: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 3 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3								Média	Desvio
Ki * Kc	1,080	1,081	0,909								1,023	0,140
Ki	1,034	1,037	1,013								1,028	0,019
Kc	1,044	1,043	0,898								0,995	0,119
Icond [A]	488	477	418								461	53
Esup [kV/cm]	18,4	18,4	15,5								17,5	2,4

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	4

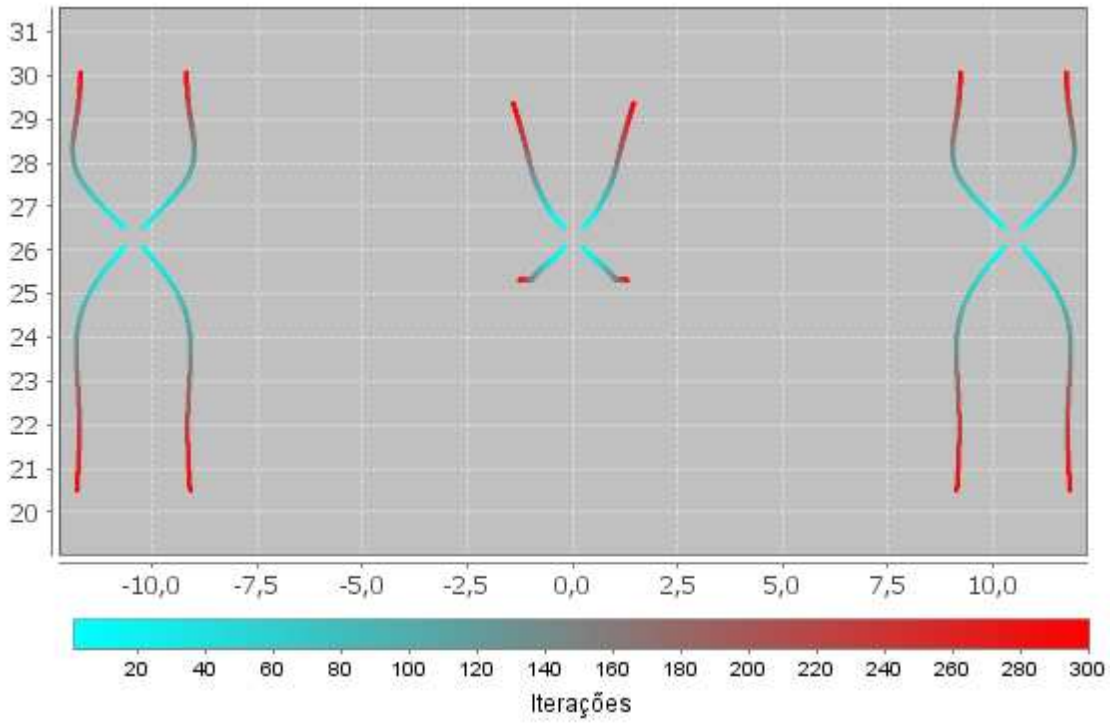

Figura I.69: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

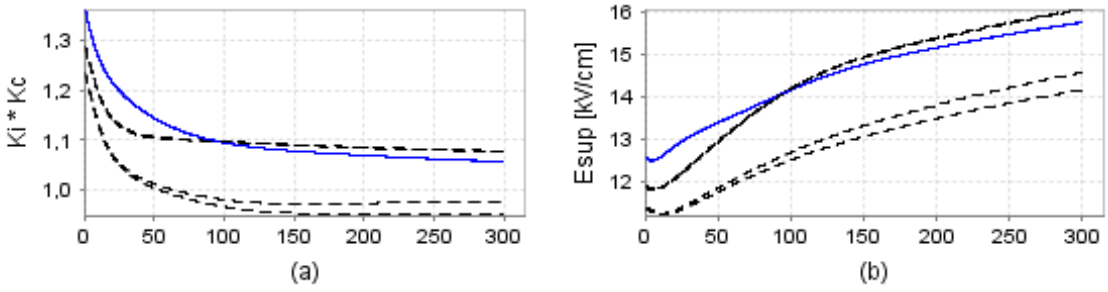

Figura I.70: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

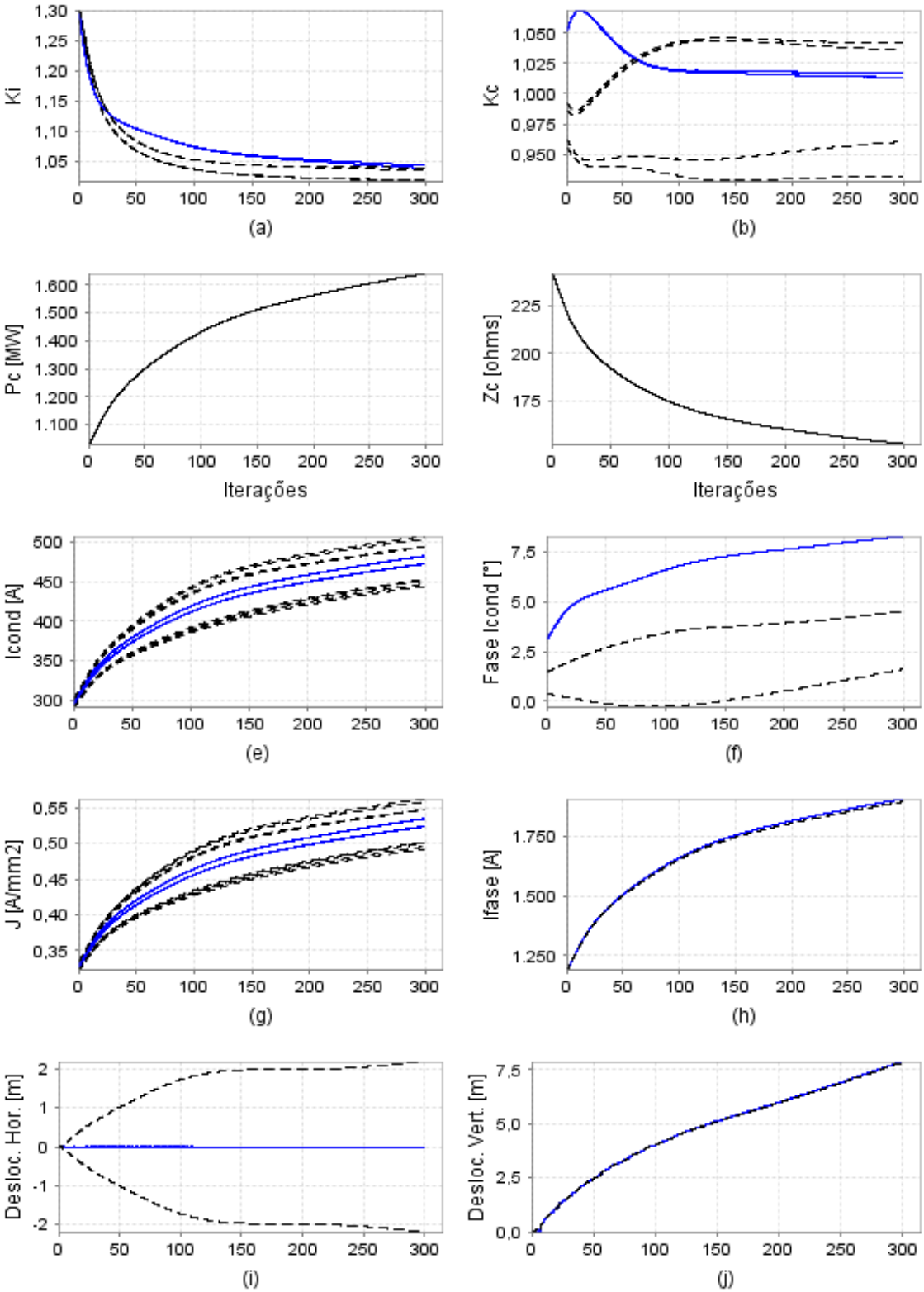

Figura I.71: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

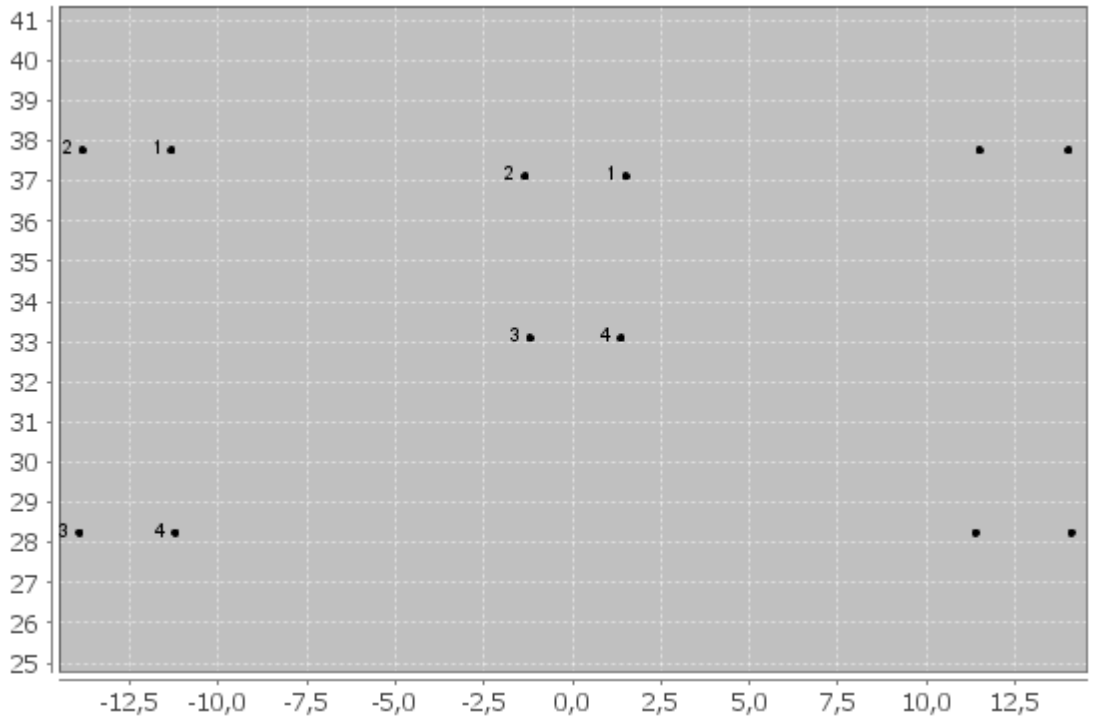

Figura I.72: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.51: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,056	1,056	1,056	1,056							1,056	0,000
Ki	1,039	1,039	1,043	1,043							1,041	0,004
Kc	1,017	1,017	1,013	1,013							1,015	0,003
Icond [A]	472	482	482	473							477	10
Esup [kV/cm]	15,7	15,7	15,8	15,8							15,8	0,0

Tabela I.52: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,077	0,949	0,977	1,078							1,020	0,116
Ki	1,039	1,019	1,017	1,035							1,027	0,019
Kc	1,036	0,932	0,960	1,042							0,992	0,095
Icond [A]	504	453	447	494							474	49
Esup [kV/cm]	16,1	14,2	14,6	16,1							15,2	1,7

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	4

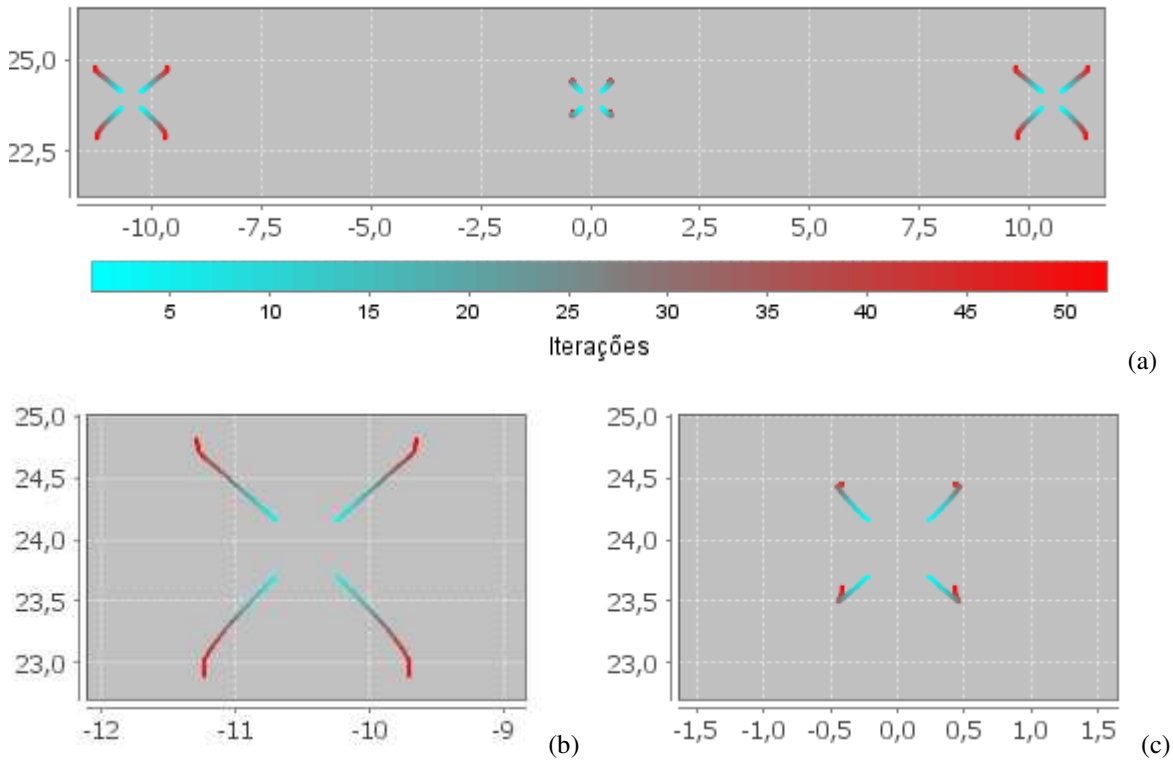

Figura I.73: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-I (33), 2-I (33), 3-I (33), 4-I (33), 1-E (46), 4-E (46)

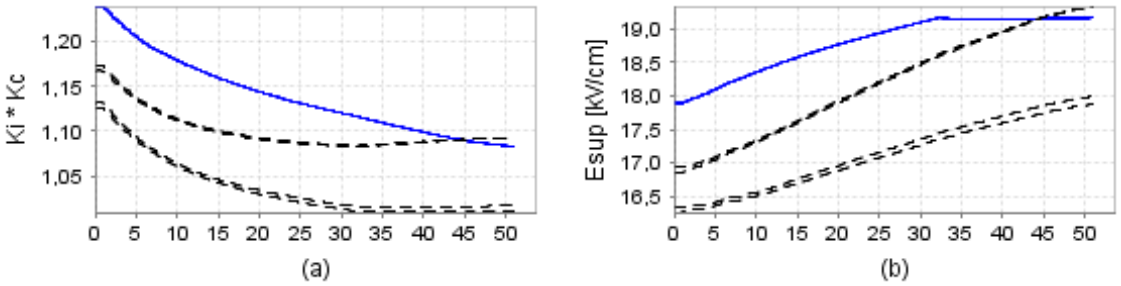

Figura I.74: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

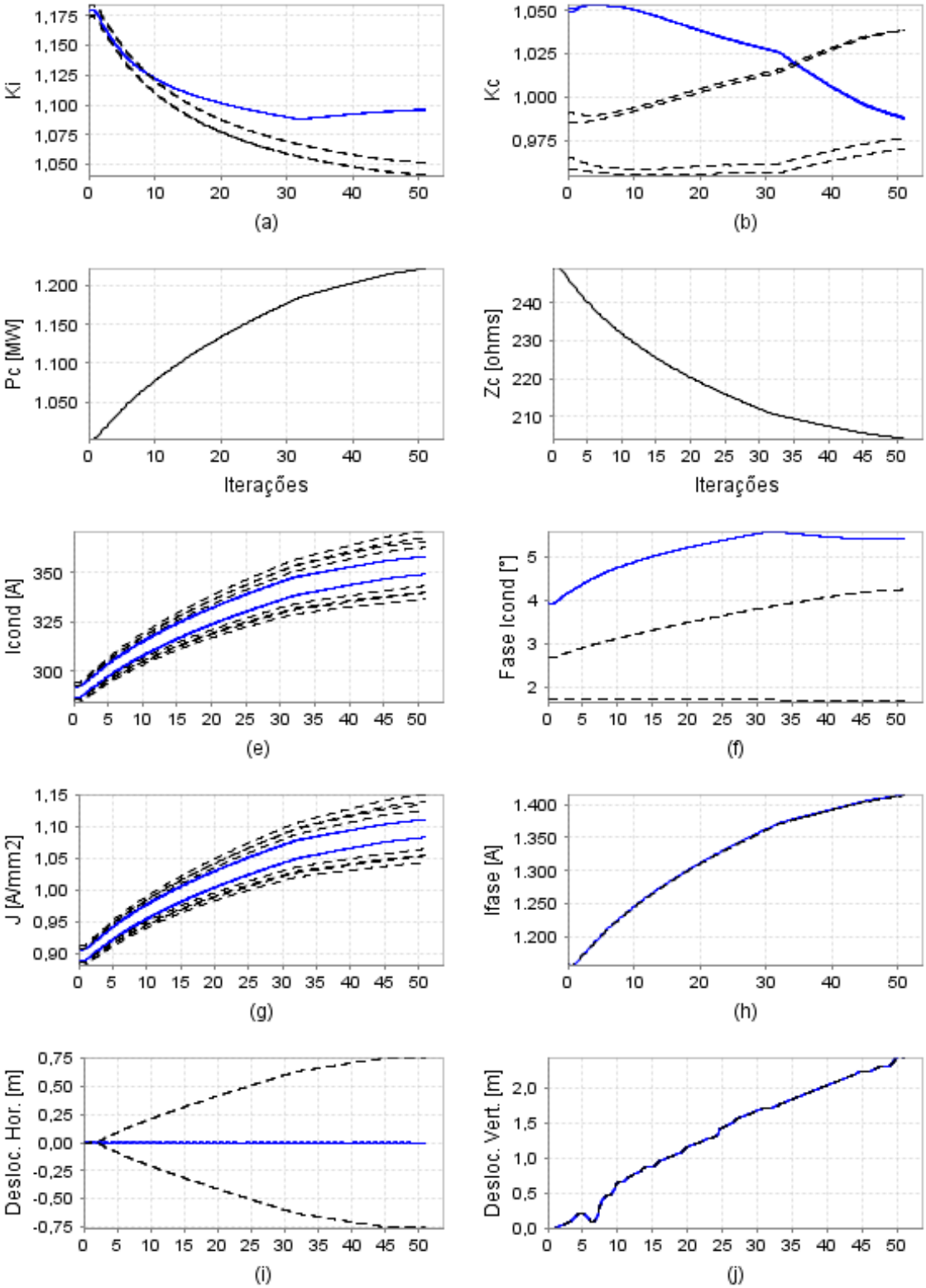

Figura I.75: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

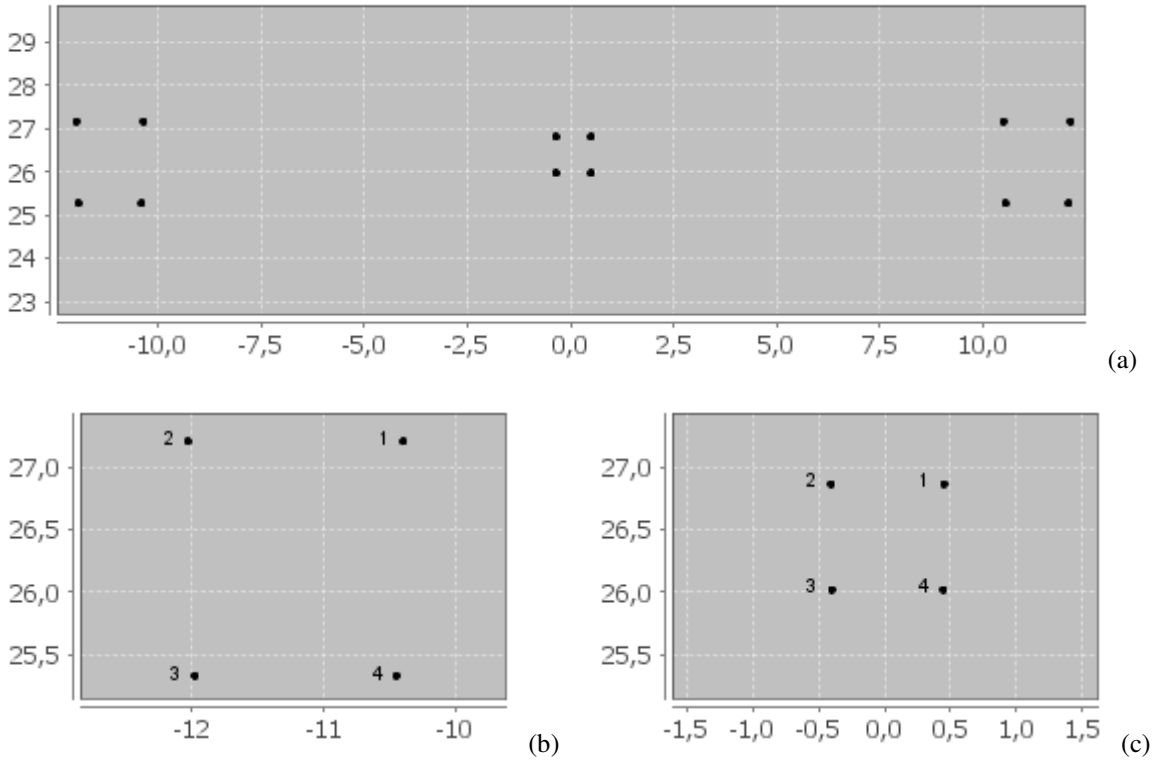

Figura I.76: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.53: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,084	1,084	1,084	1,084							1,084	0,001
Ki	1,096	1,096	1,096	1,096							1,096	0,000
Kc	0,989	0,989	0,989	0,989							0,989	0,001
Icond [A]	349	358	358	349							353	9
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	19,2	19,2							19,2	0,0

Tabela I.54: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,092	1,010	1,016	1,092							1,053	0,079
Ki	1,052	1,042	1,042	1,052							1,047	0,010
Kc	1,038	0,970	0,976	1,038							1,005	0,066
Icond [A]	367	343	340	362							353	24
Esup [kV/cm]	19,3	17,9	18,0	19,3							18,6	1,4

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	4

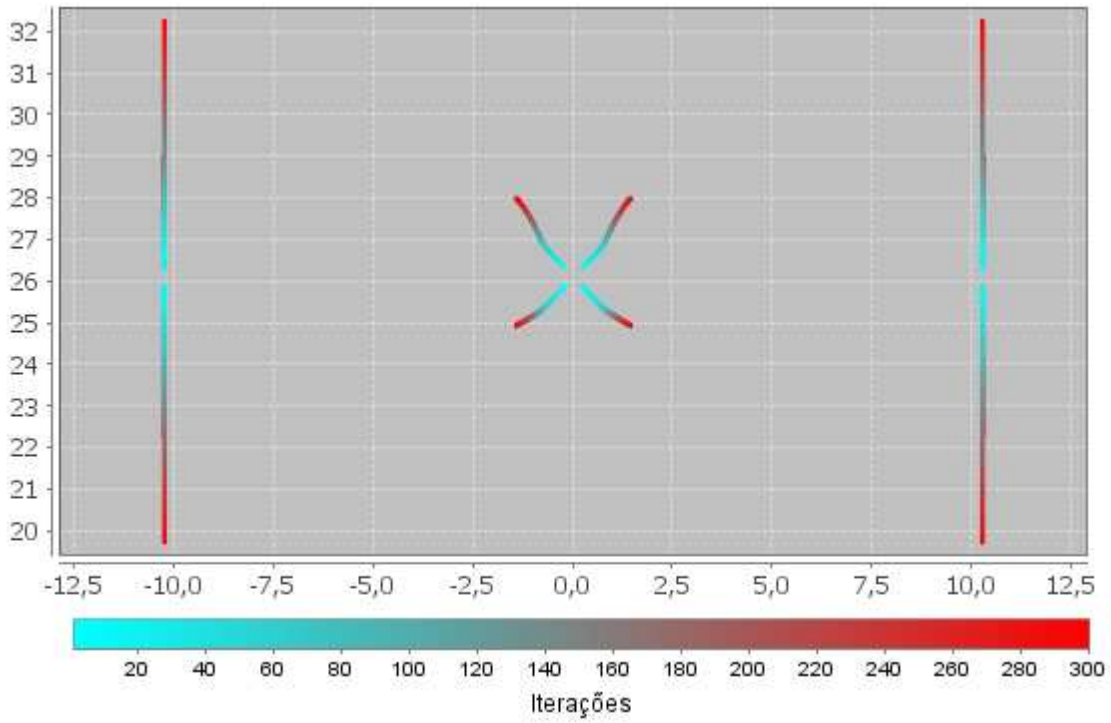

Figura I.77: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

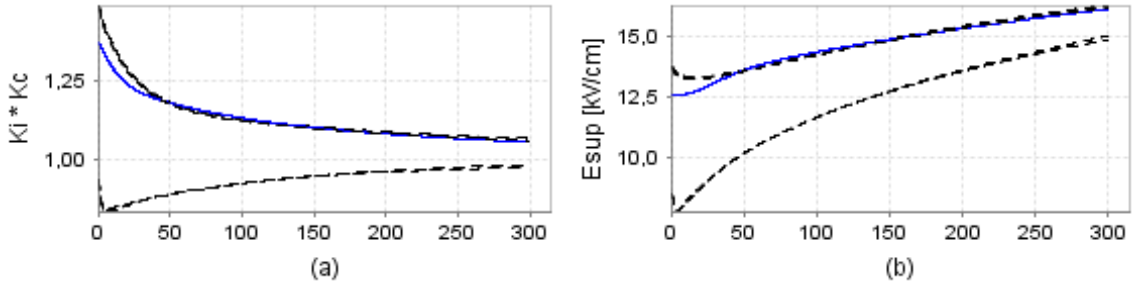

Figura I.78: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

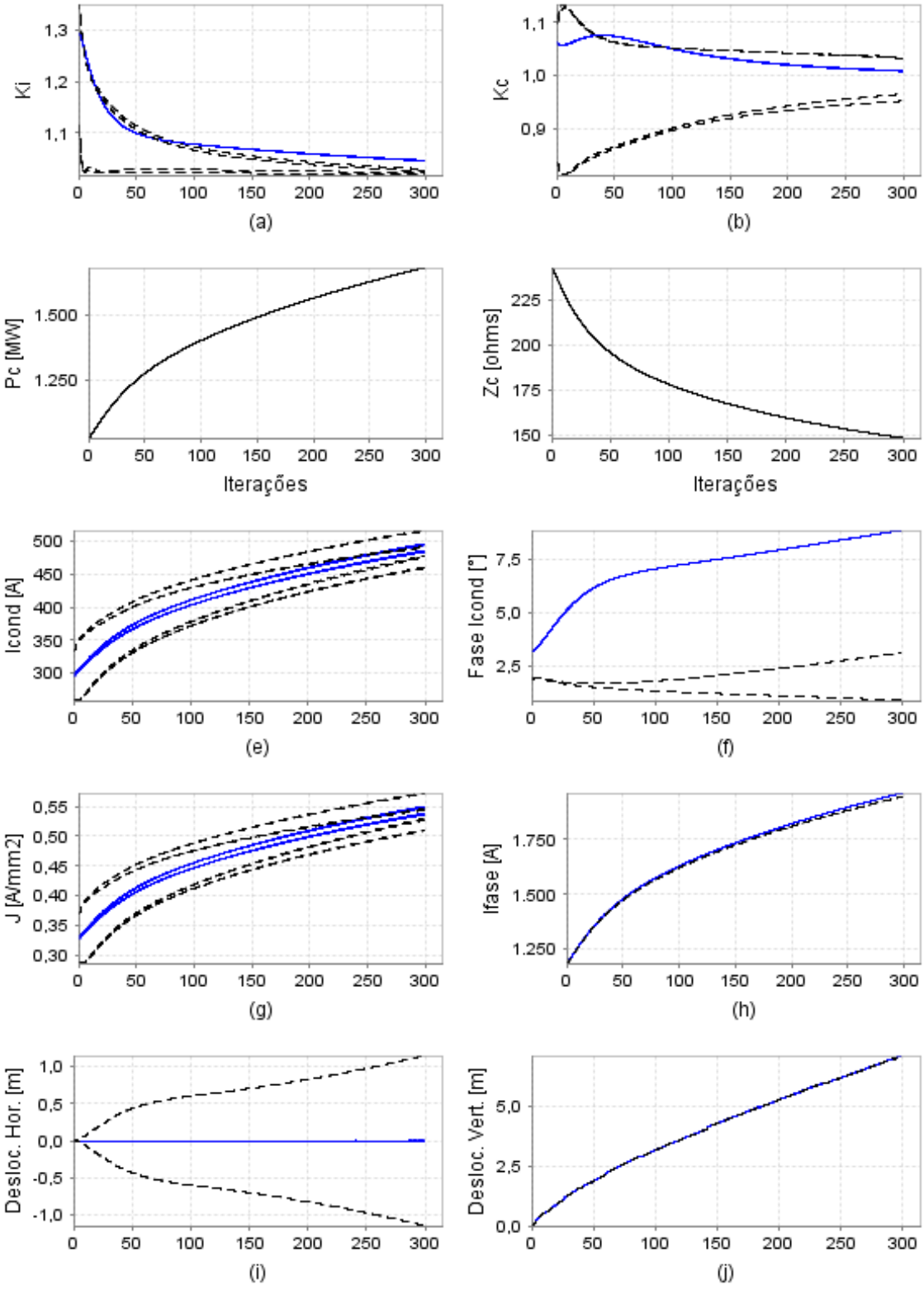

Figura I.79: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

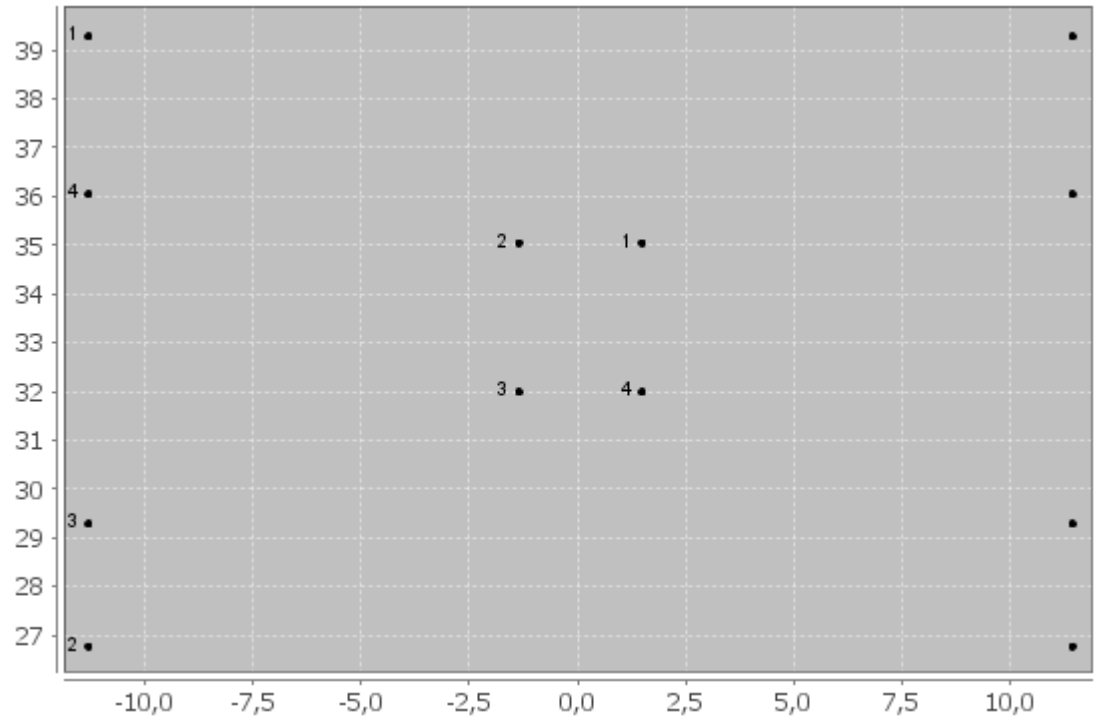

Figura I.80: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.55: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,054	1,054	1,054	1,054							1,054	0,000
Ki	1,045	1,045	1,046	1,046							1,046	0,001
Kc	1,009	1,009	1,008	1,008							1,008	0,001
Icond [A]	484	494	496	486							490	11
Esup [kV/cm]	16,1	16,1	16,1	16,1							16,1	0,0

Tabela I.56: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo CHUKAR a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,059	1,066	0,972	0,981							1,020	0,086
Ki	1,026	1,030	1,022	1,018							1,024	0,009
Kc	1,033	1,035	0,951	0,964							0,996	0,077
Icond [A]	517	492	459	475							486	43
Esup [kV/cm]	16,1	16,2	14,8	15,0							15,5	1,3

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	4

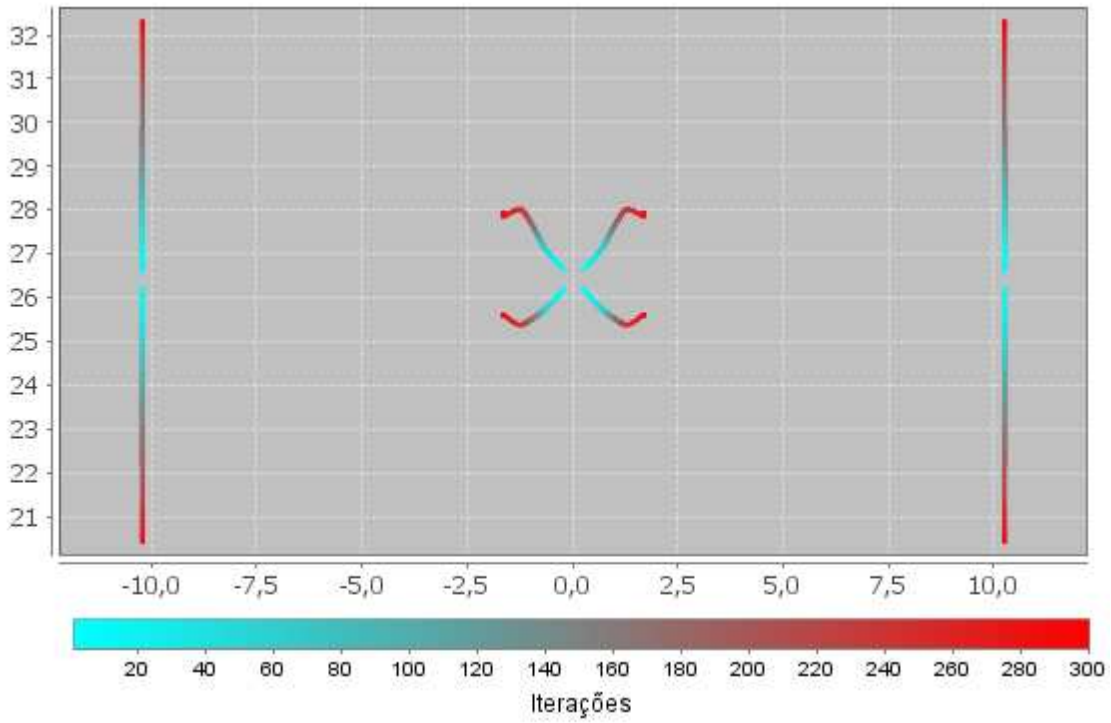

Figura I.81: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-E (240), 1-E (248), 1-I (278), 2-I (278), 3-I (279), 4-I (279)

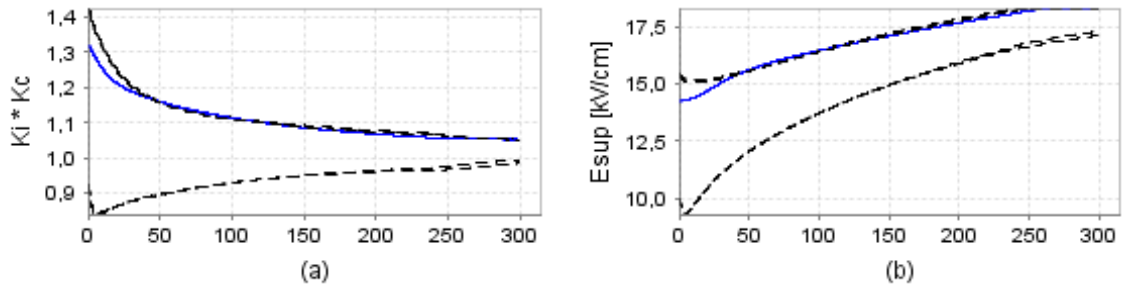

Figura I.82: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

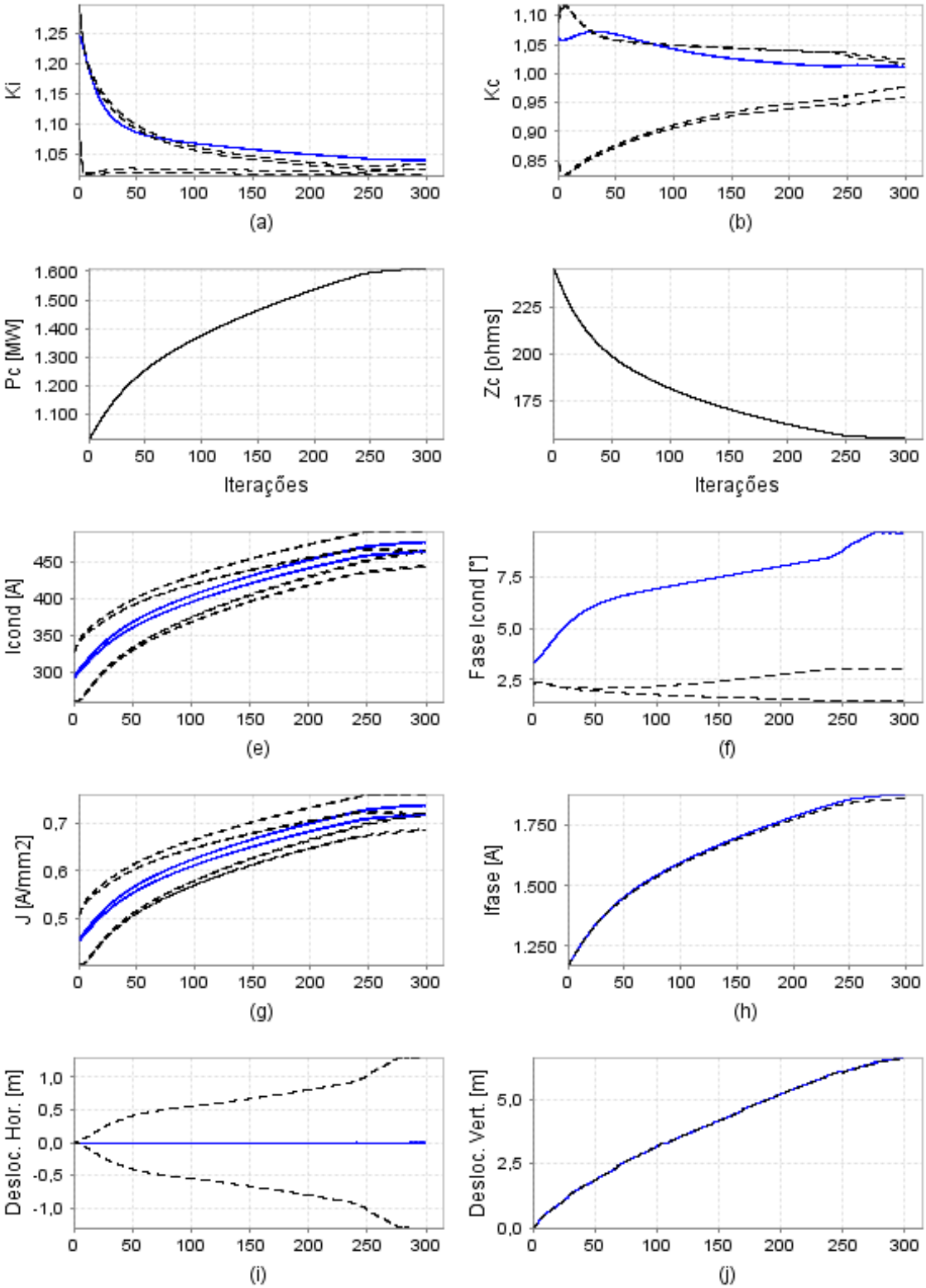

Figura I.83: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

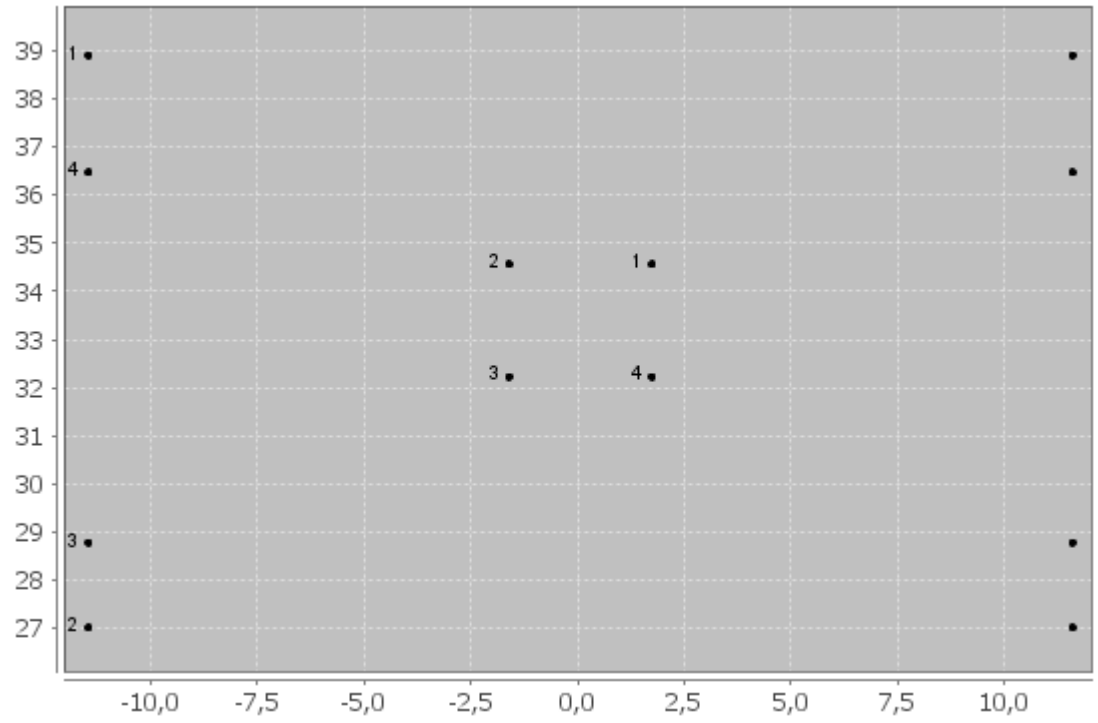

Figura I.84: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.57: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,053	1,053	1,052	1,052							1,052	0,001
Ki	1,040	1,040	1,041	1,041							1,041	0,001
Kc	1,012	1,012	1,010	1,010							1,011	0,002
Icond [A]	463	475	477	464							470	13
Esup [kV/cm]	18,3	18,3	18,3	18,3							18,3	0,0

Tabela I.58: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 4 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4							Média	Desvio
Ki * Kc	1,051	1,052	0,984	0,995							1,021	0,063
Ki	1,027	1,034	1,026	1,019							1,026	0,011
Kc	1,024	1,018	0,959	0,976							0,994	0,055
Icond [A]	491	465	443	462							465	34
Esup [kV/cm]	18,3	18,3	17,1	17,3							17,7	1,1

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	5

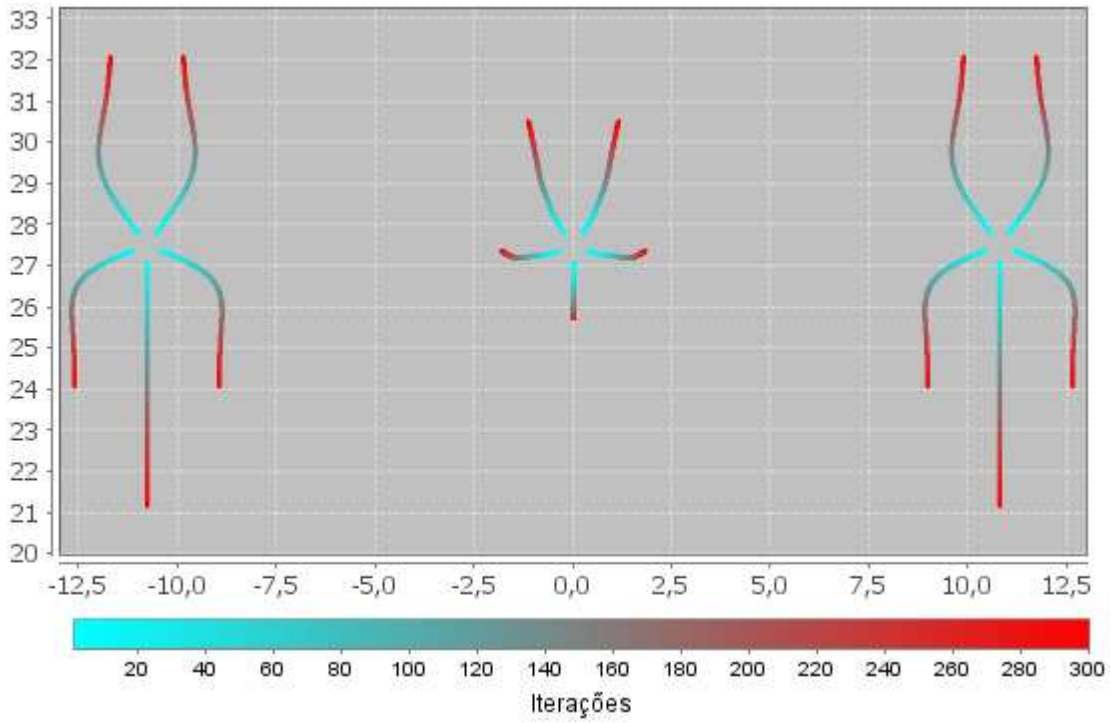

Figura I.85: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

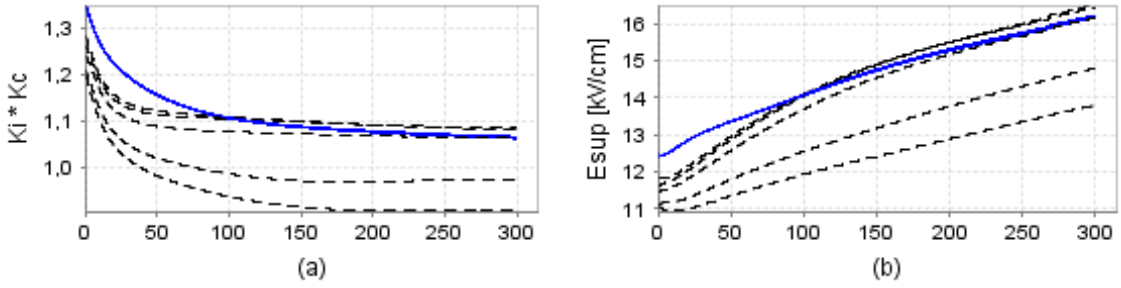

Figura I.86: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

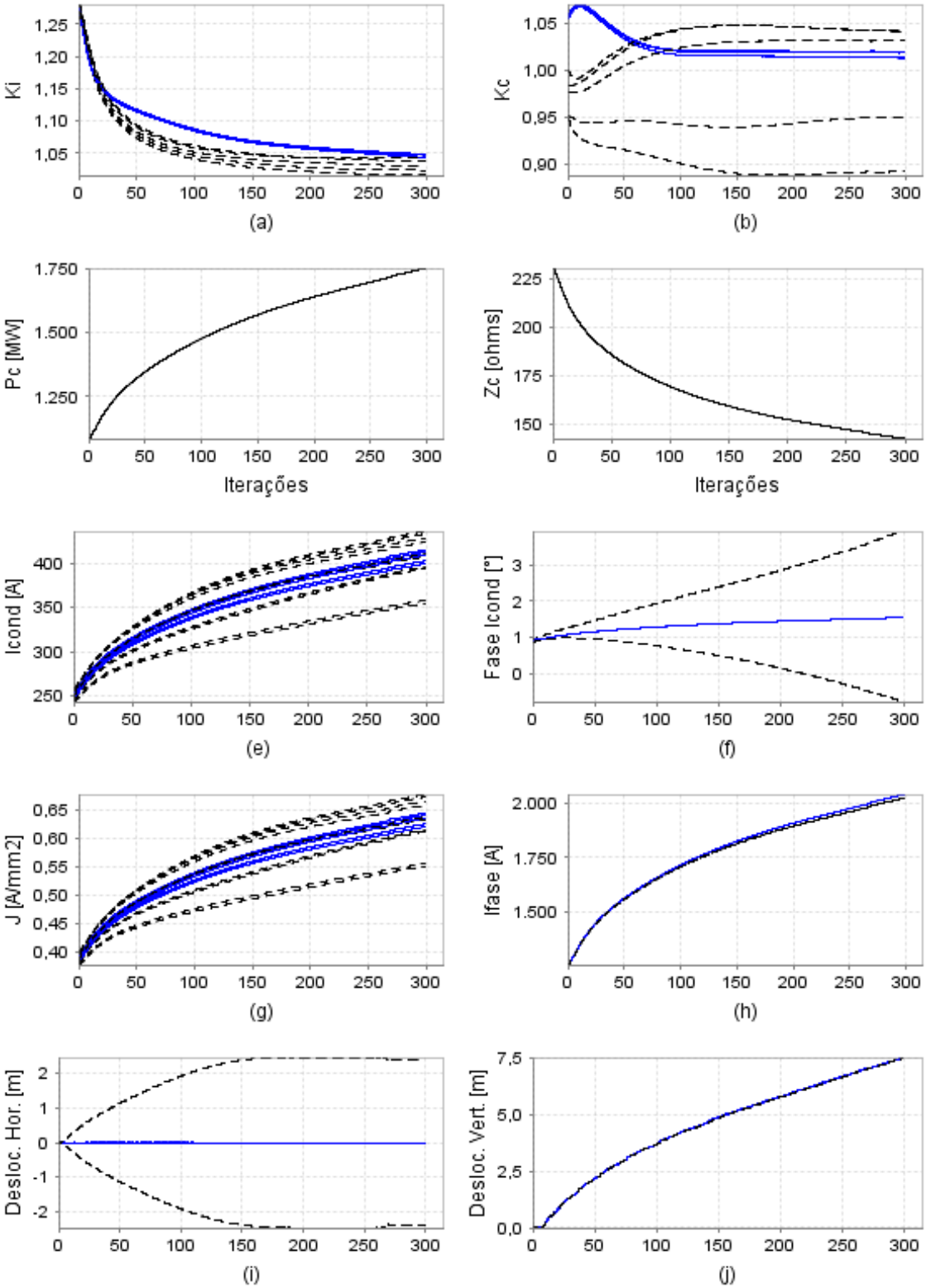

Figura I.87: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

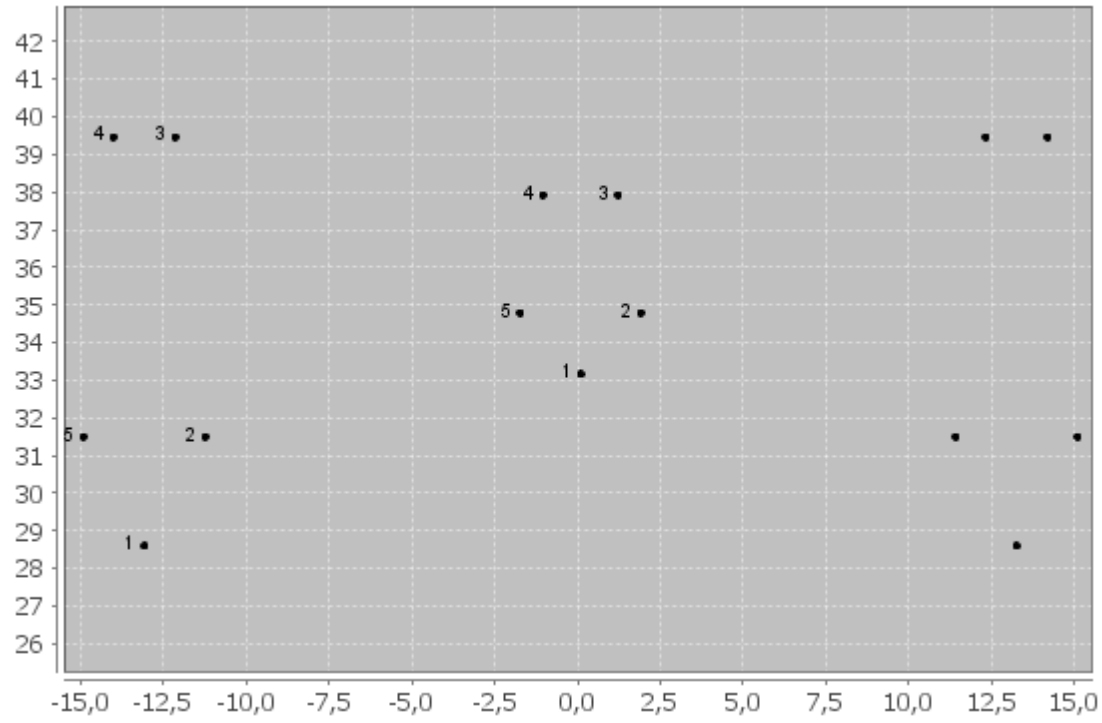

Figura I.88: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.59: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,066	1,062	1,065	1,065	1,062						1,064	0,004
Ki	1,047	1,049	1,044	1,044	1,049						1,046	0,005
Kc	1,018	1,013	1,020	1,020	1,013						1,017	0,007
Icond [A]	409	400	403	413	415						408	13
Esup [kV/cm]	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2						16,2	0,1

Tabela I.60: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,063	1,081	1,085	0,973	0,906						1,021	0,158
Ki	1,029	1,037	1,042	1,024	1,016						1,030	0,021
Kc	1,032	1,042	1,041	0,950	0,892						0,992	0,135
Icond [A]	411	424	434	396	358						405	59
Esup [kV/cm]	16,2	16,4	16,5	14,8	13,8						15,5	2,4

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	5

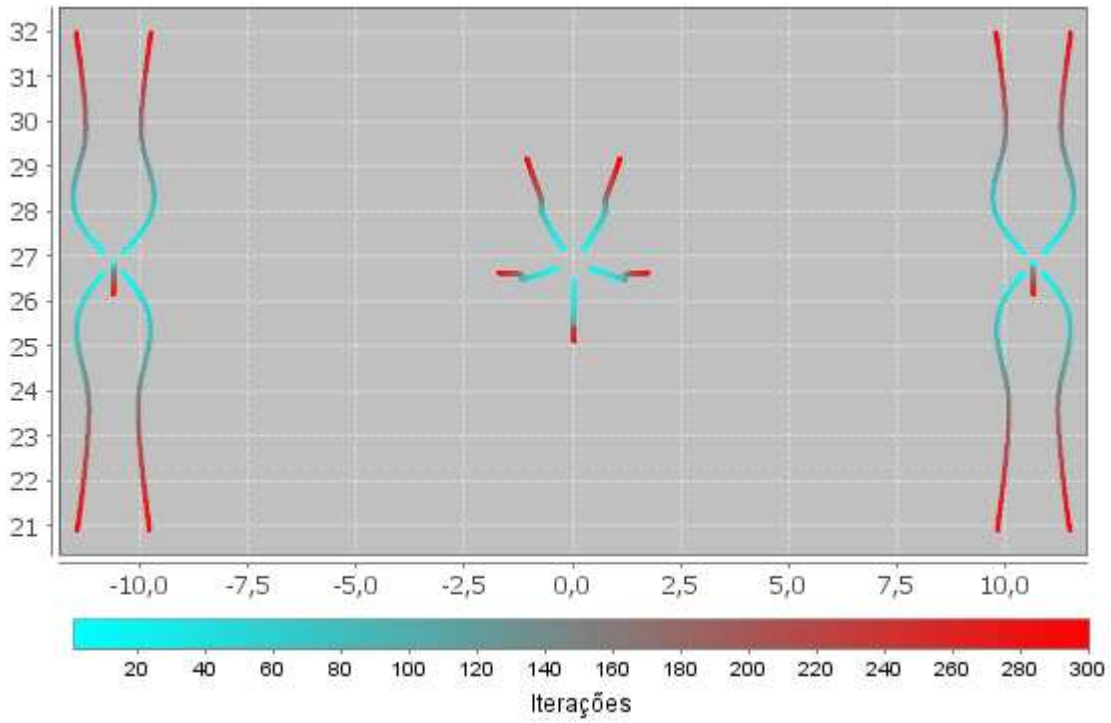

Figura I.89: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

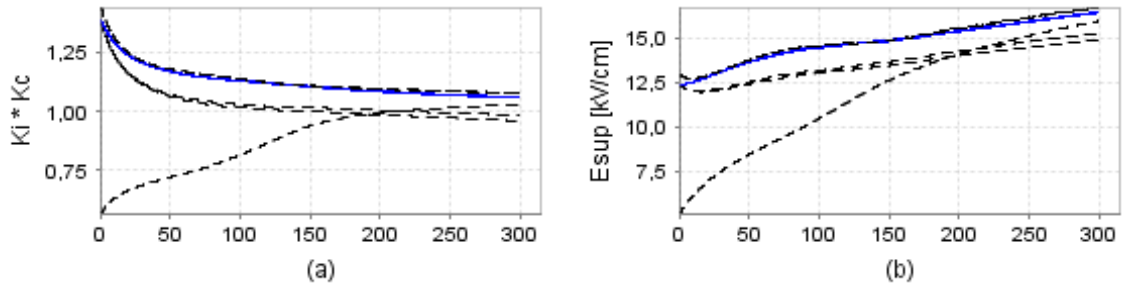

Figura I.90: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

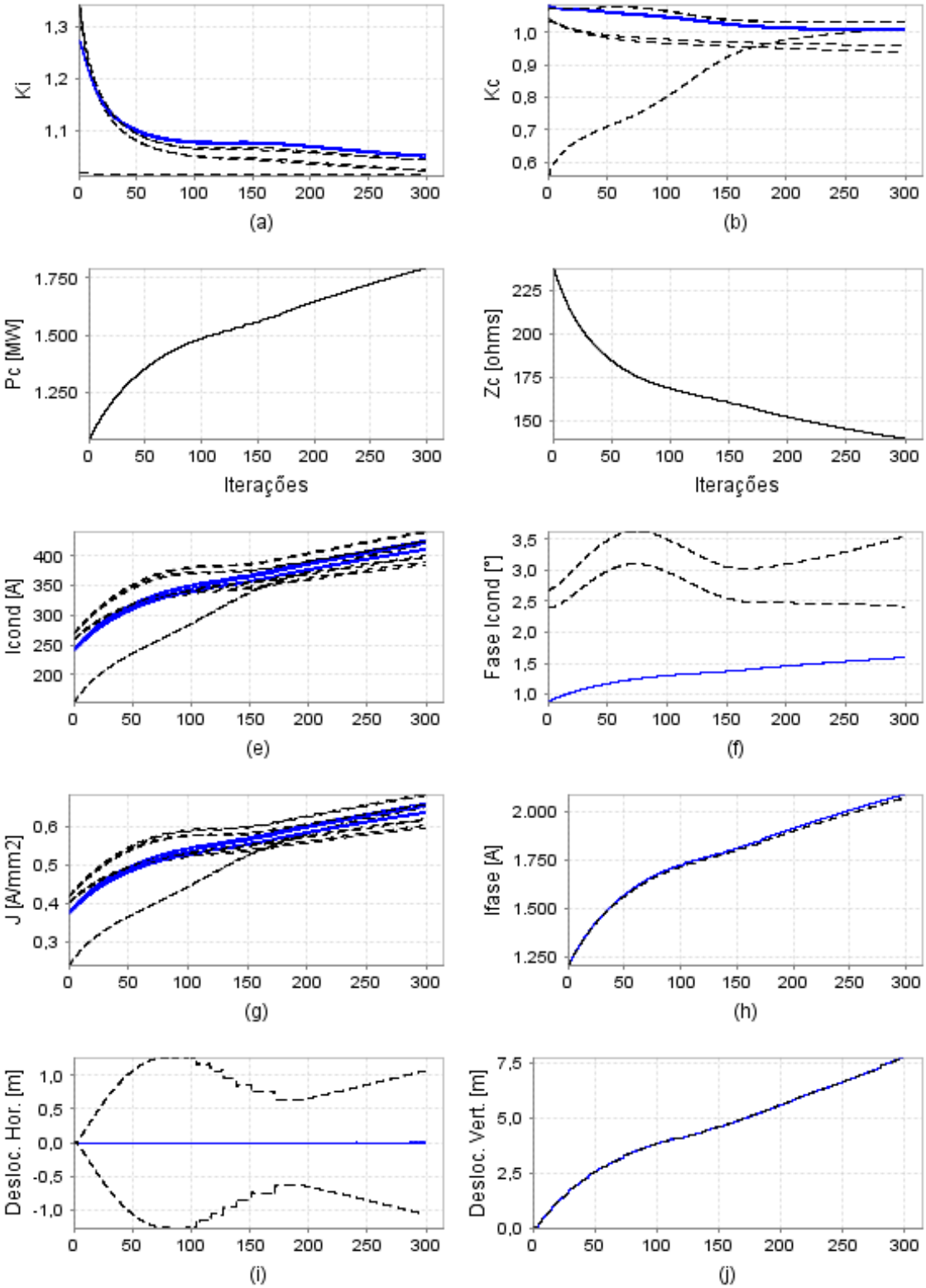

Figura I.91: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

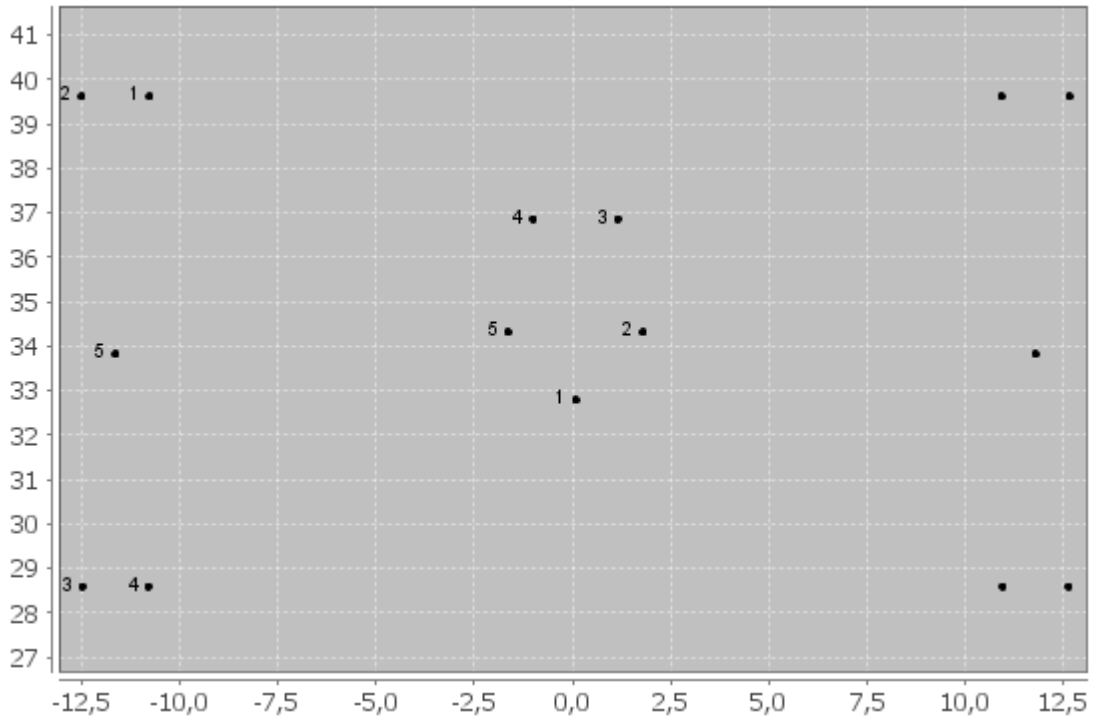

Figura I.92: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.61: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,063	1,060	1,061	1,061	1,060						1,061	0,002
Ki	1,051	1,054	1,051	1,051	1,054						1,052	0,004
Kc	1,011	1,005	1,010	1,010	1,005						1,008	0,006
Icond [A]	420	409	412	422	426						418	14
Esup [kV/cm]	16,5	16,4	16,5	16,5	16,4						16,5	0,0

Tabela I.62: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,079	0,962	0,986	1,081	1,029						1,028	0,107
Ki	1,045	1,025	1,027	1,045	1,016						1,032	0,026
Kc	1,032	0,939	0,961	1,034	1,013						0,996	0,087
Icond [A]	439	400	389	424	419						414	40
Esup [kV/cm]	16,7	14,9	15,3	16,8	16,0						15,9	1,7

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	5

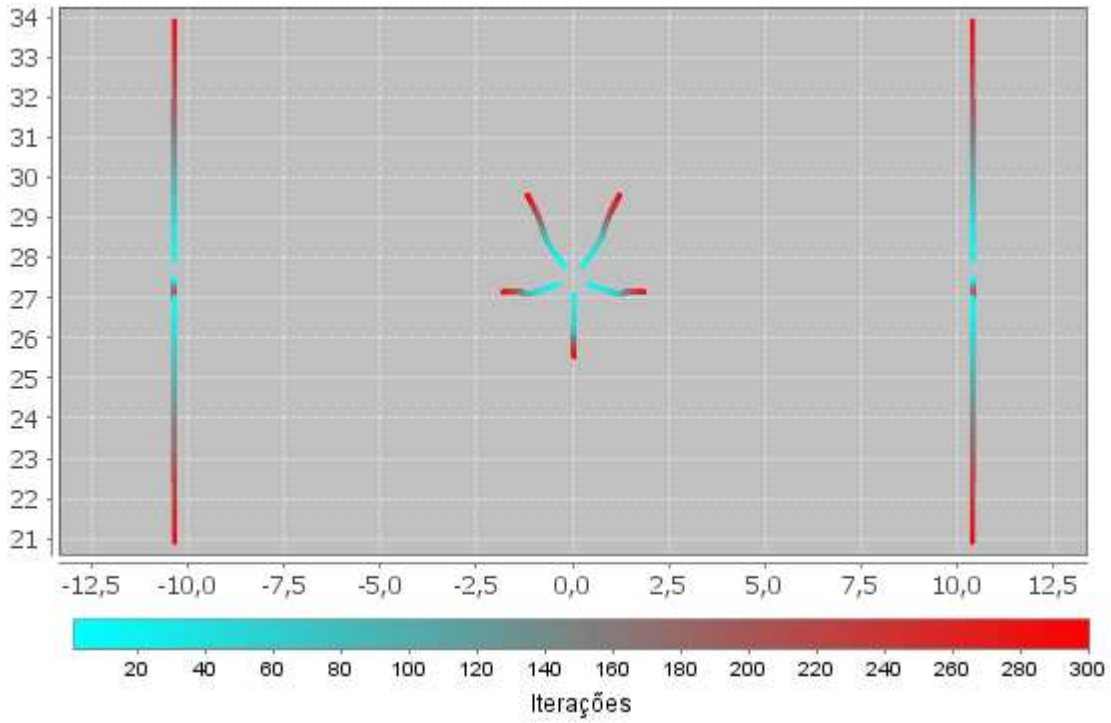

Figura I.93: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

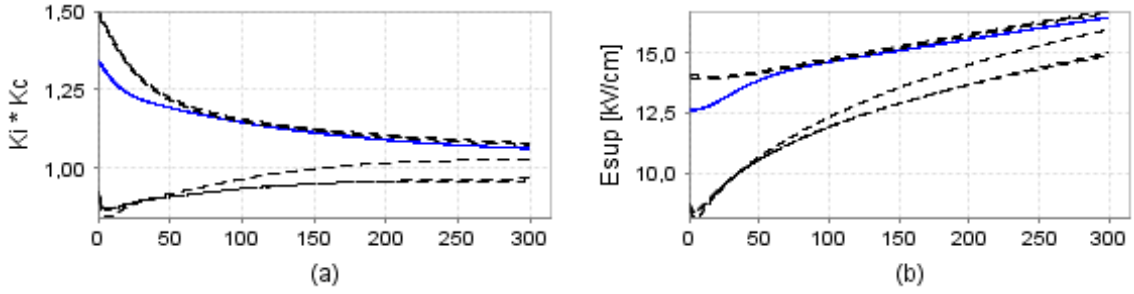

Figura I.94: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

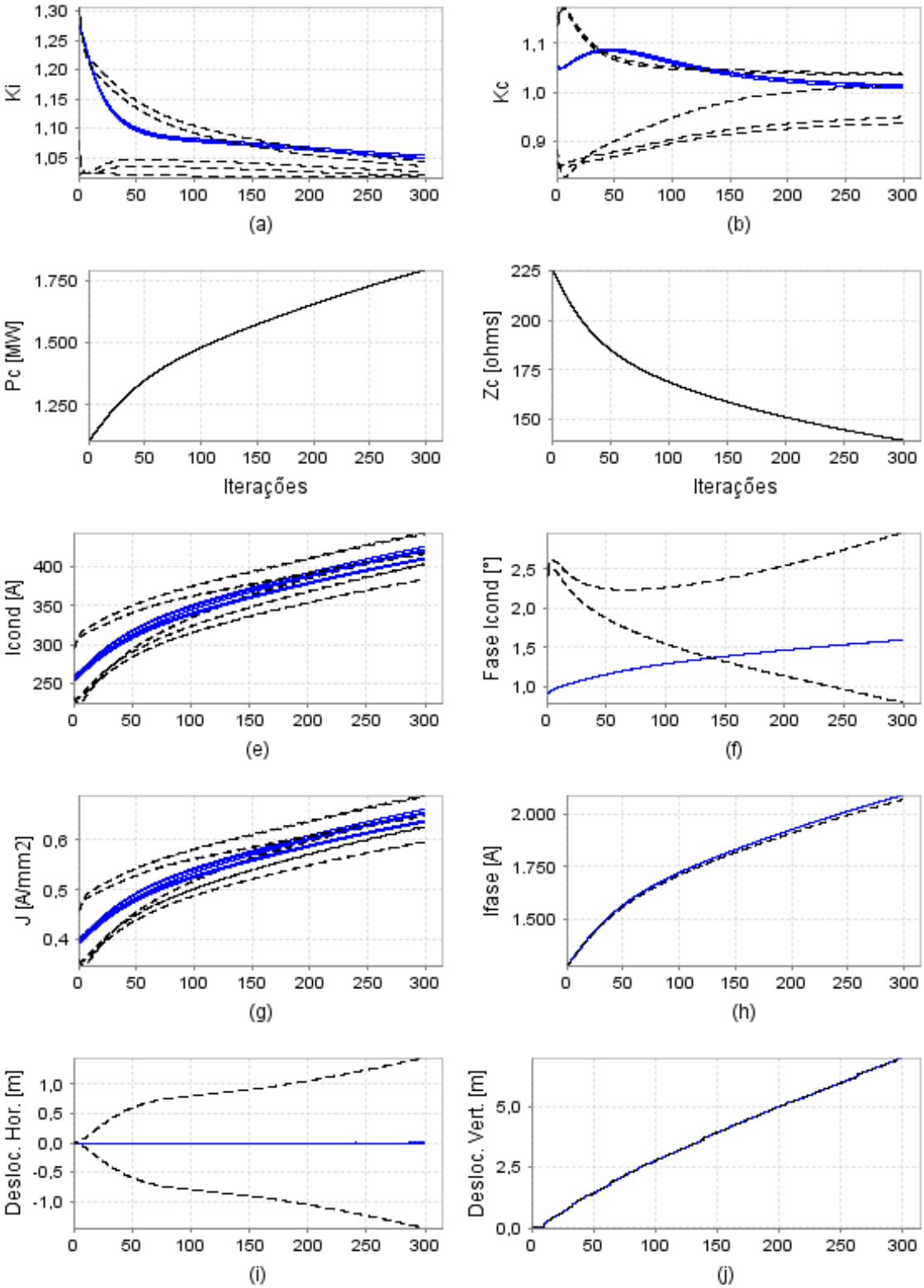

Figura I.95: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

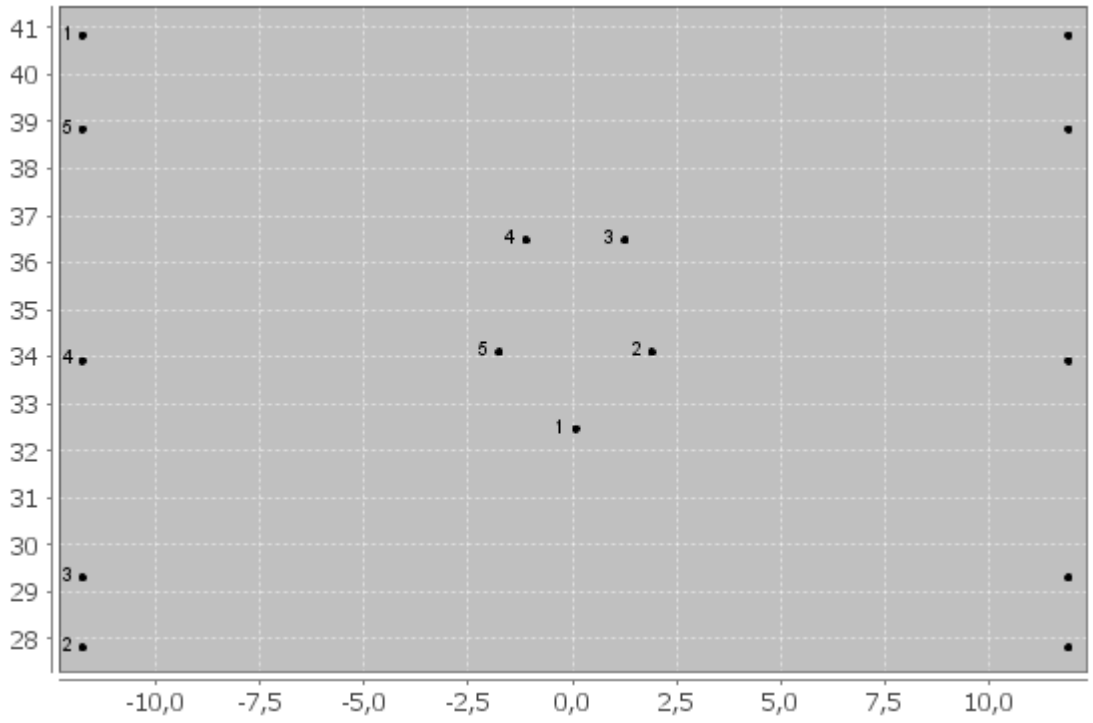

Figura I.96: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.63: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,063	1,062	1,063	1,063	1,062						1,063	0,001
Ki	1,048	1,054	1,050	1,050	1,054						1,051	0,005
Kc	1,014	1,008	1,013	1,013	1,008						1,011	0,006
Icond [A]	420	409	411	422	426						418	14
Esup [kV/cm]	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5						16,5	0,0

Tabela I.64: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 5 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5						Média	Desvio
Ki * Kc	1,074	1,080	0,961	1,029	0,967						1,022	0,114
Ki	1,035	1,043	1,026	1,016	1,019						1,028	0,022
Kc	1,038	1,036	0,936	1,013	0,949						0,994	0,097
Icond [A]	444	419	383	419	402						414	45
Esup [kV/cm]	16,6	16,7	14,9	15,9	15,0						15,8	1,8

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	6

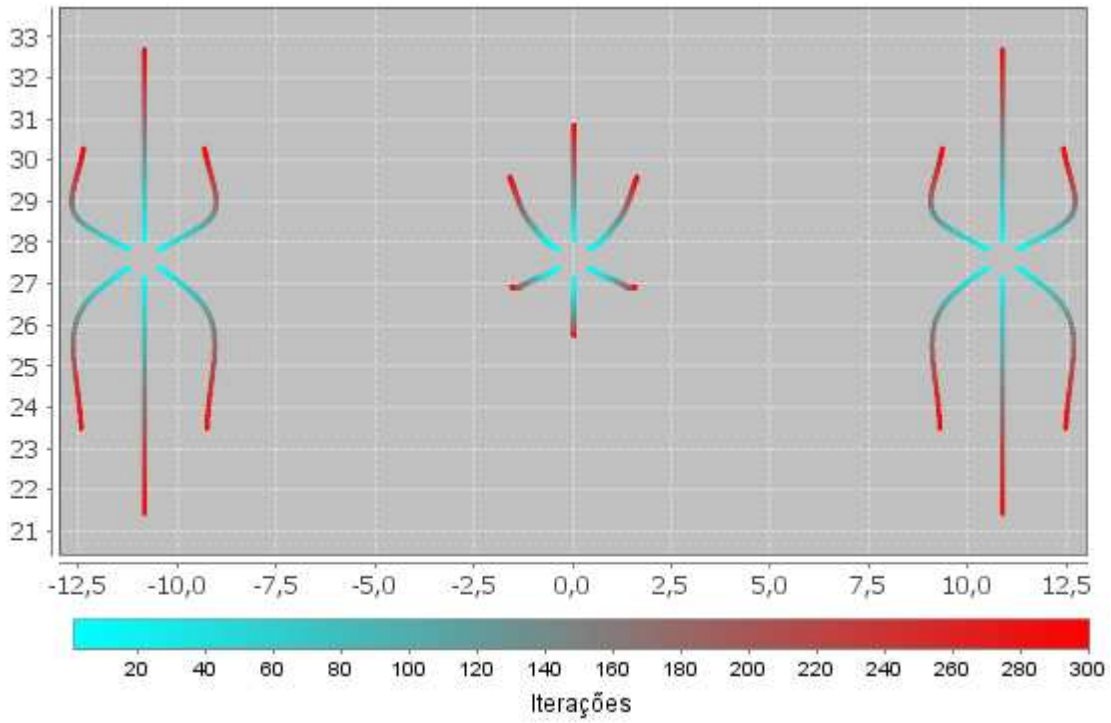

Figura I.97: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

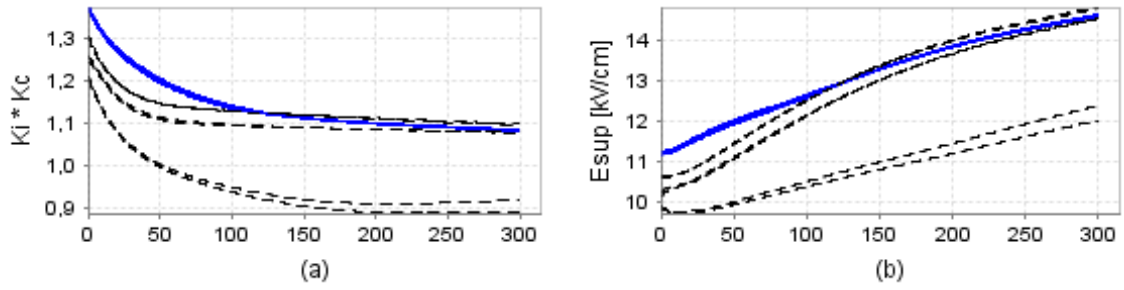

Figura I.98: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

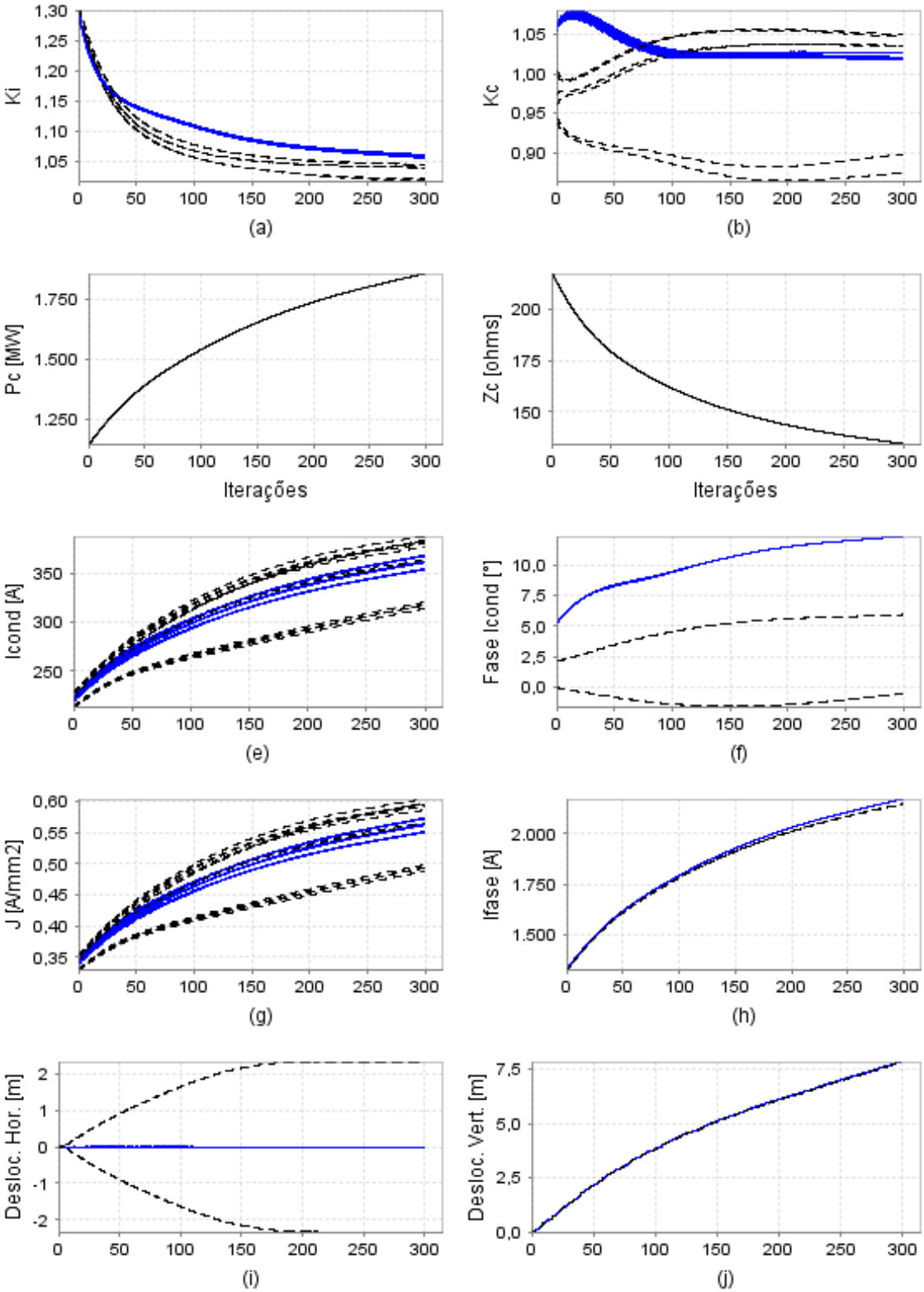

Figura I.99: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

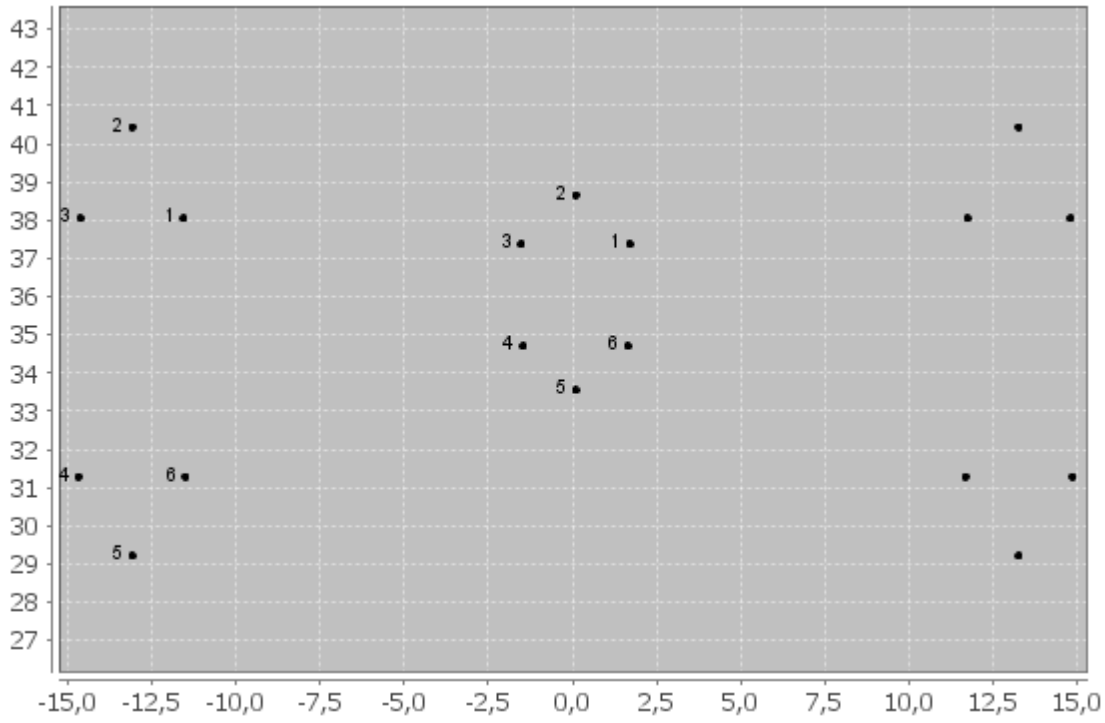

Figura I.100: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.65: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,081	1,085	1,081	1,081	1,084	1,081					1,082	0,004
Ki	1,059	1,057	1,059	1,062	1,062	1,062					1,060	0,005
Kc	1,020	1,026	1,020	1,018	1,021	1,018					1,021	0,007
Icond [A]	354	362	368	369	363	355					362	14
Esup [kV/cm]	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6					14,6	0,1

Tabela I.66: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,095	1,078	0,890	0,917	1,076	1,098					1,026	0,213
Ki	1,046	1,041	1,019	1,022	1,040	1,046					1,035	0,027
Kc	1,047	1,036	0,873	0,898	1,035	1,050					0,990	0,182
Icond [A]	383	384	320	317	364	377					358	69
Esup [kV/cm]	14,8	14,5	12,0	12,4	14,5	14,8					13,8	2,9

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	BITTERN
Nsub	6

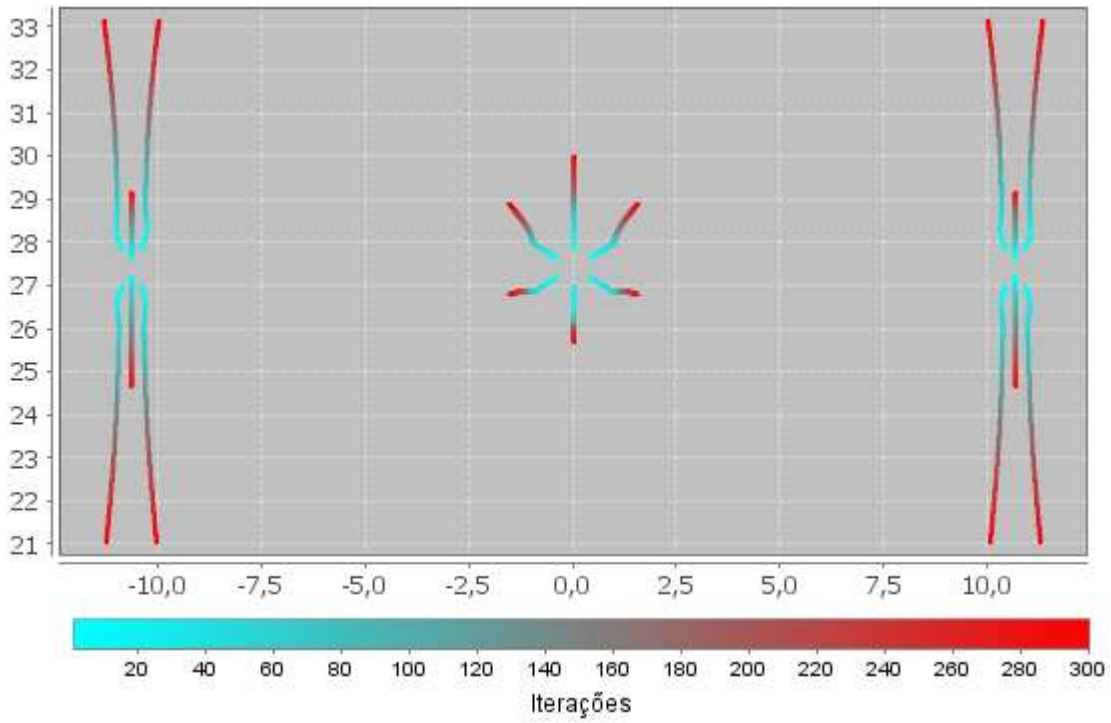

Figura I.101: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

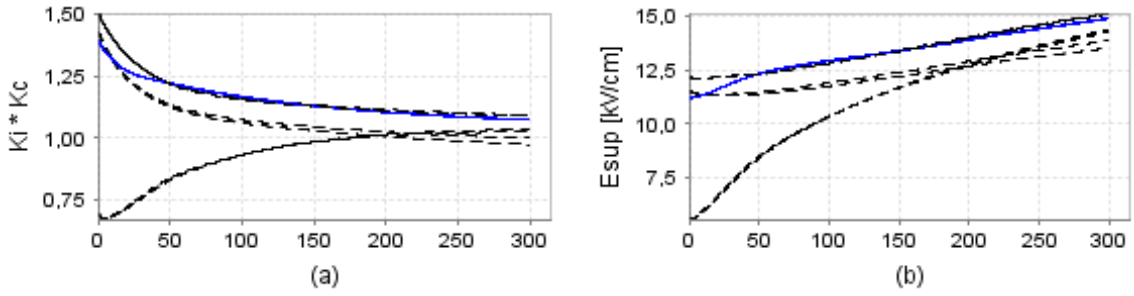

Figura I.102: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

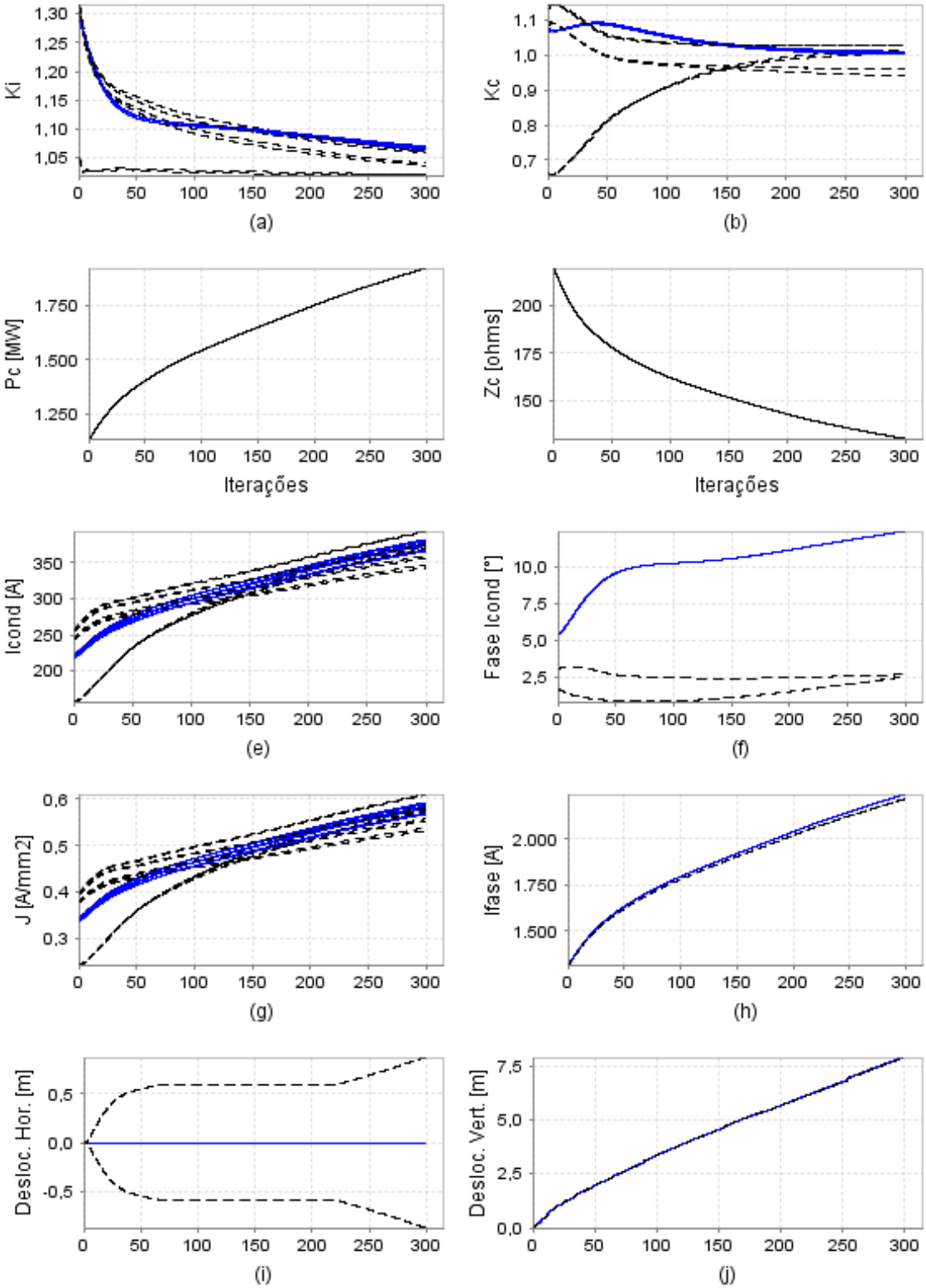

Figura I.103: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

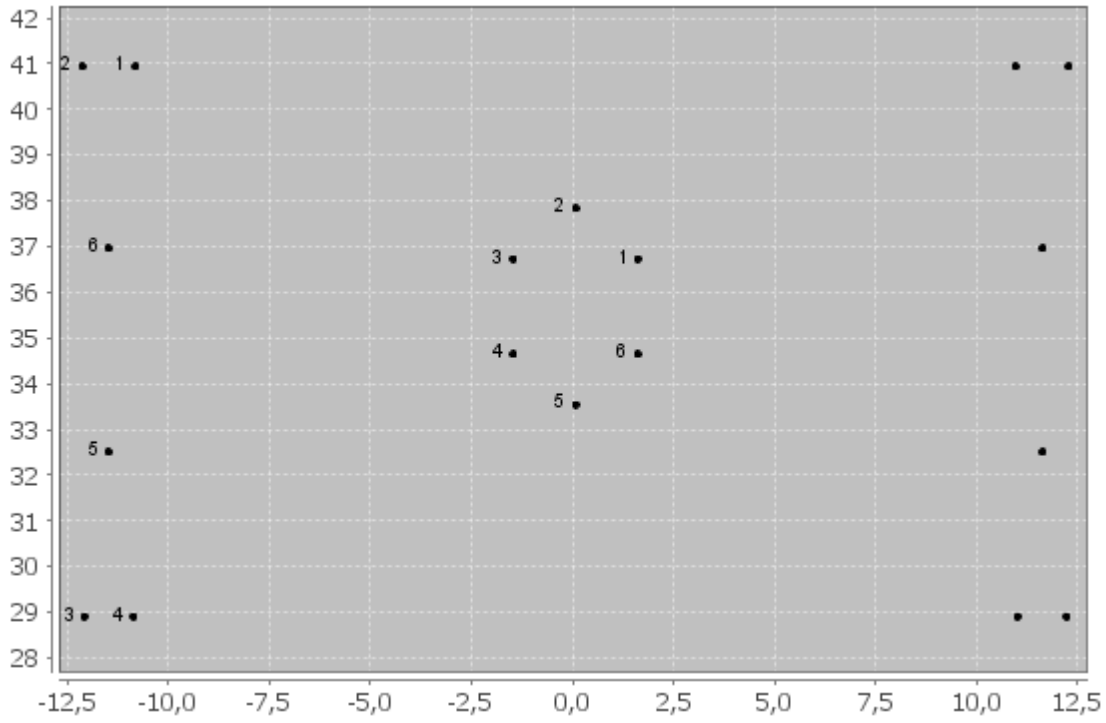

Figura I.104: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.67: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,073	1,076	1,073	1,073	1,075	1,073					1,074	0,003
Ki	1,069	1,064	1,069	1,070	1,067	1,070					1,068	0,005
Kc	1,004	1,011	1,004	1,003	1,008	1,003					1,006	0,007
Icond [A]	365	373	380	381	376	367					374	15
Esup [kV/cm]	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9					14,9	0,0

Tabela I.68: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo BITTERN a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,089	0,975	1,000	1,093	1,027	1,036					1,037	0,105
Ki	1,059	1,037	1,040	1,061	1,020	1,019					1,039	0,040
Kc	1,029	0,940	0,961	1,029	1,007	1,016					0,997	0,084
Icond [A]	392	359	346	375	369	377					370	35
Esup [kV/cm]	15,1	13,5	13,9	15,1	14,2	14,4					14,4	1,5

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	RAIL
Nsub	6

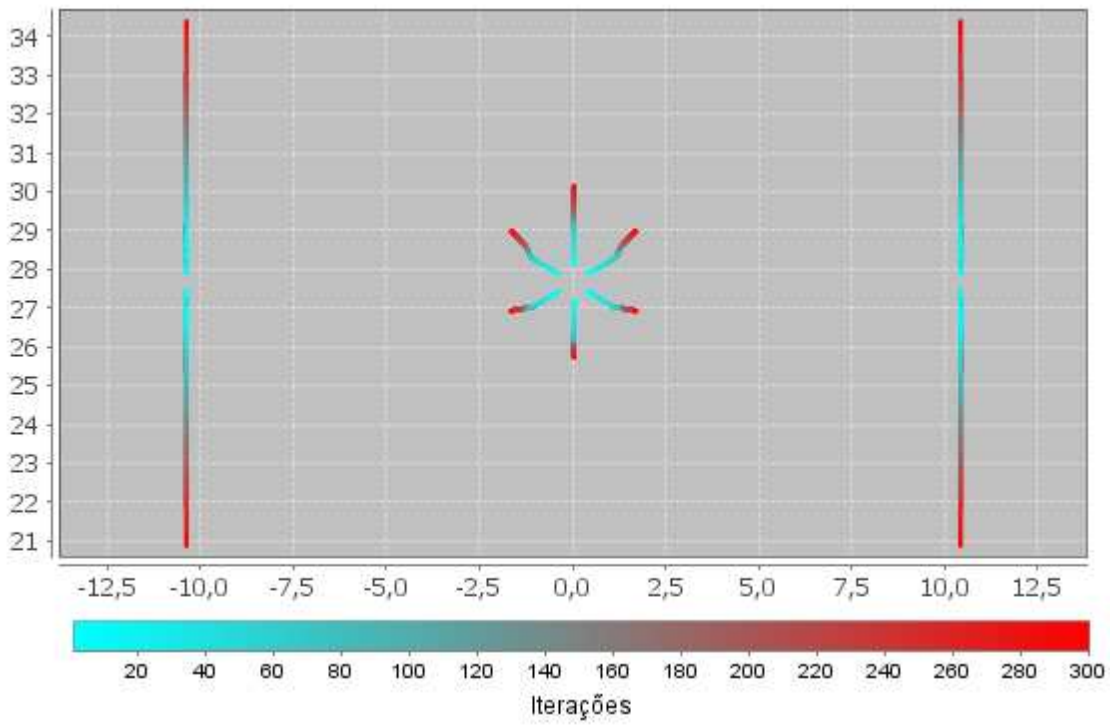

Figura I.105: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

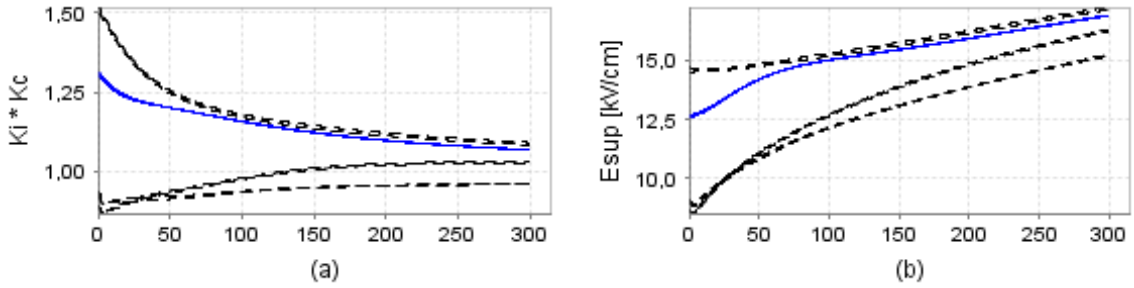

Figura I.106: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

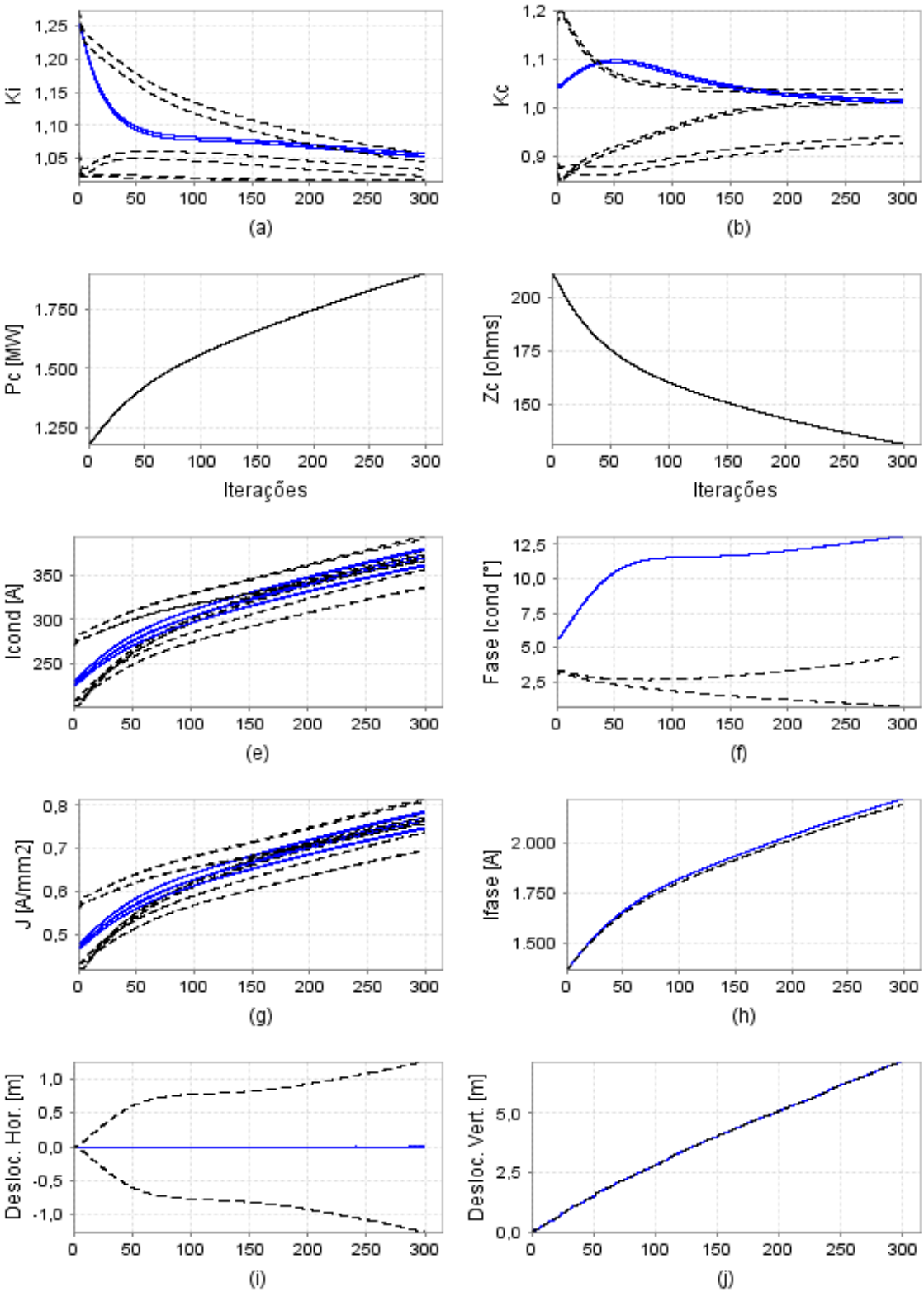

Figura I.107: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

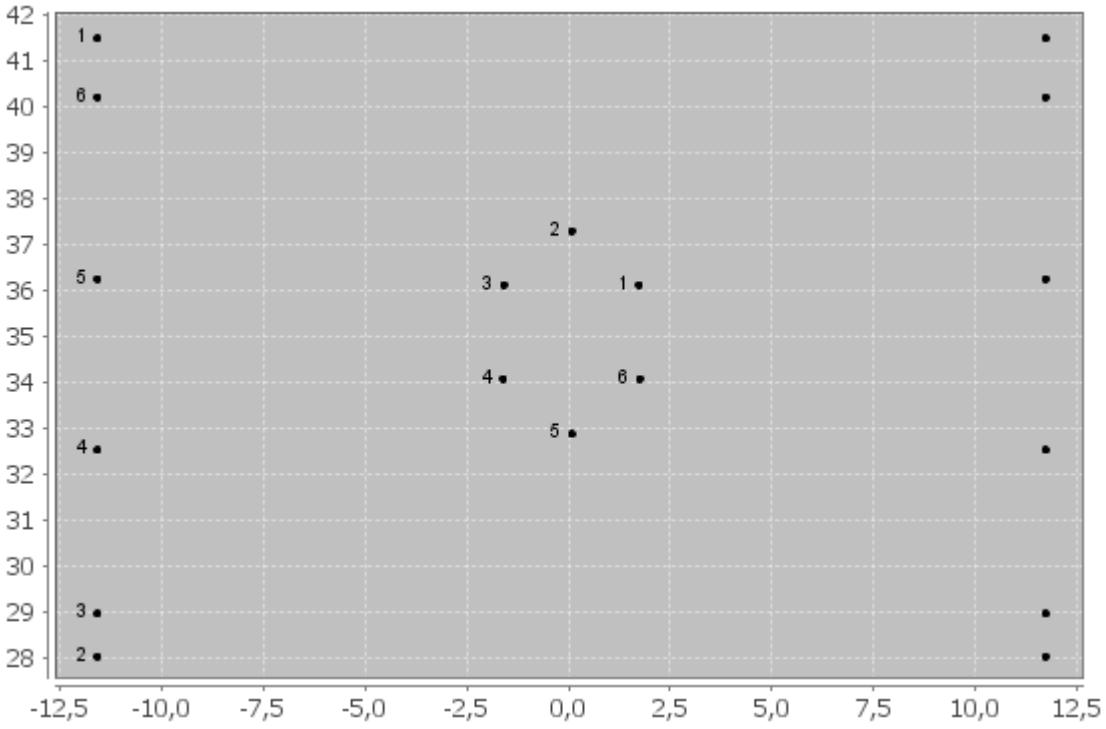

Figura I.108: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.69: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,069	1,070	1,069	1,069	1,070	1,069					1,069	0,001
Ki	1,057	1,052	1,057	1,058	1,054	1,058					1,056	0,006
Kc	1,011	1,017	1,011	1,010	1,015	1,010					1,012	0,007
Icond [A]	360	369	378	379	372	361					370	18
Esup [kV/cm]	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9					16,9	0,0

Tabela I.70: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo RAIL a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,085	1,092	0,960	1,026	1,031	0,964					1,026	0,127
Ki	1,046	1,058	1,034	1,016	1,017	1,023					1,033	0,038
Kc	1,037	1,032	0,929	1,010	1,014	0,942					0,994	0,104
Icond [A]	393	369	336	366	373	356					365	43
Esup [kV/cm]	17,2	17,3	15,2	16,2	16,3	15,3					16,2	2,0

Tensão de operação [kV]	500
Distância de isolação	Convencional (10,0 m)
Condutor	GROSBEAK
Nsub	6

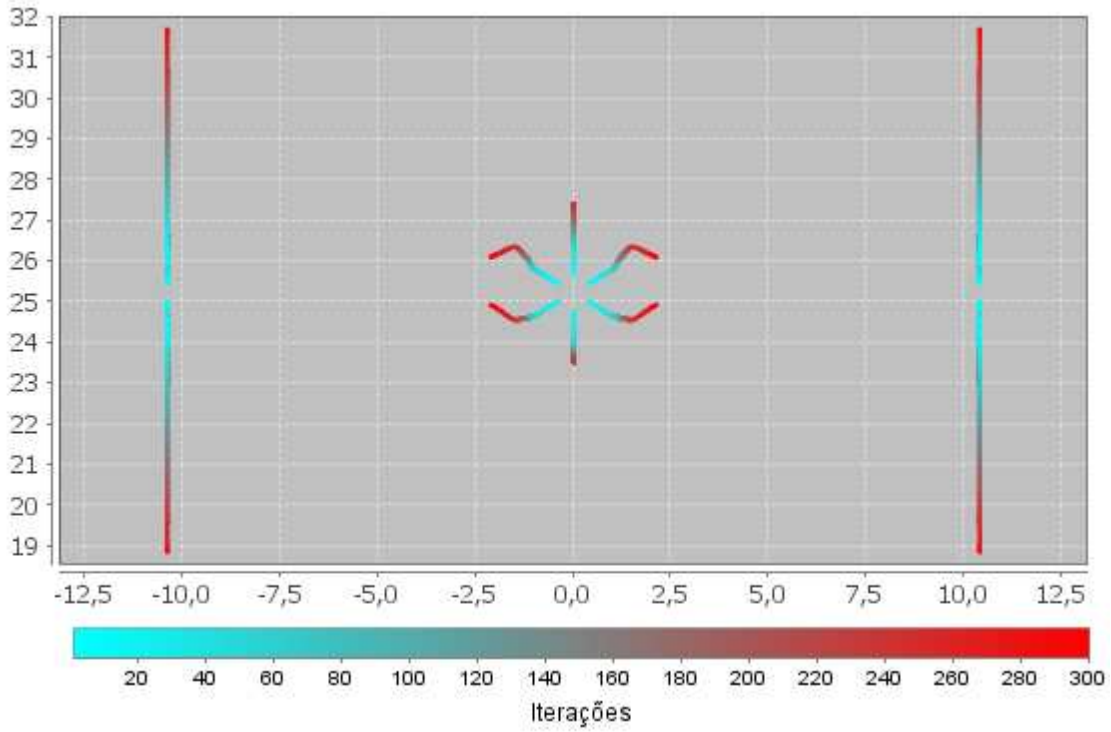

Figura I.109: Variação das posições dos condutores no processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Sequência de ativação das restrições: 2-E (239), 1-E (248)

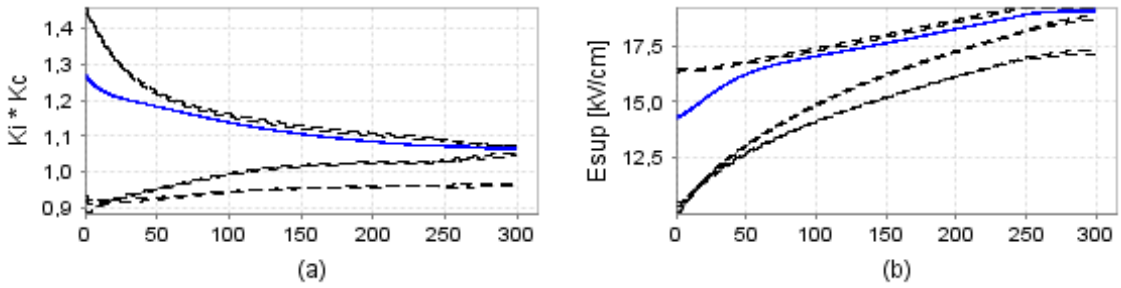

Figura I.110: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

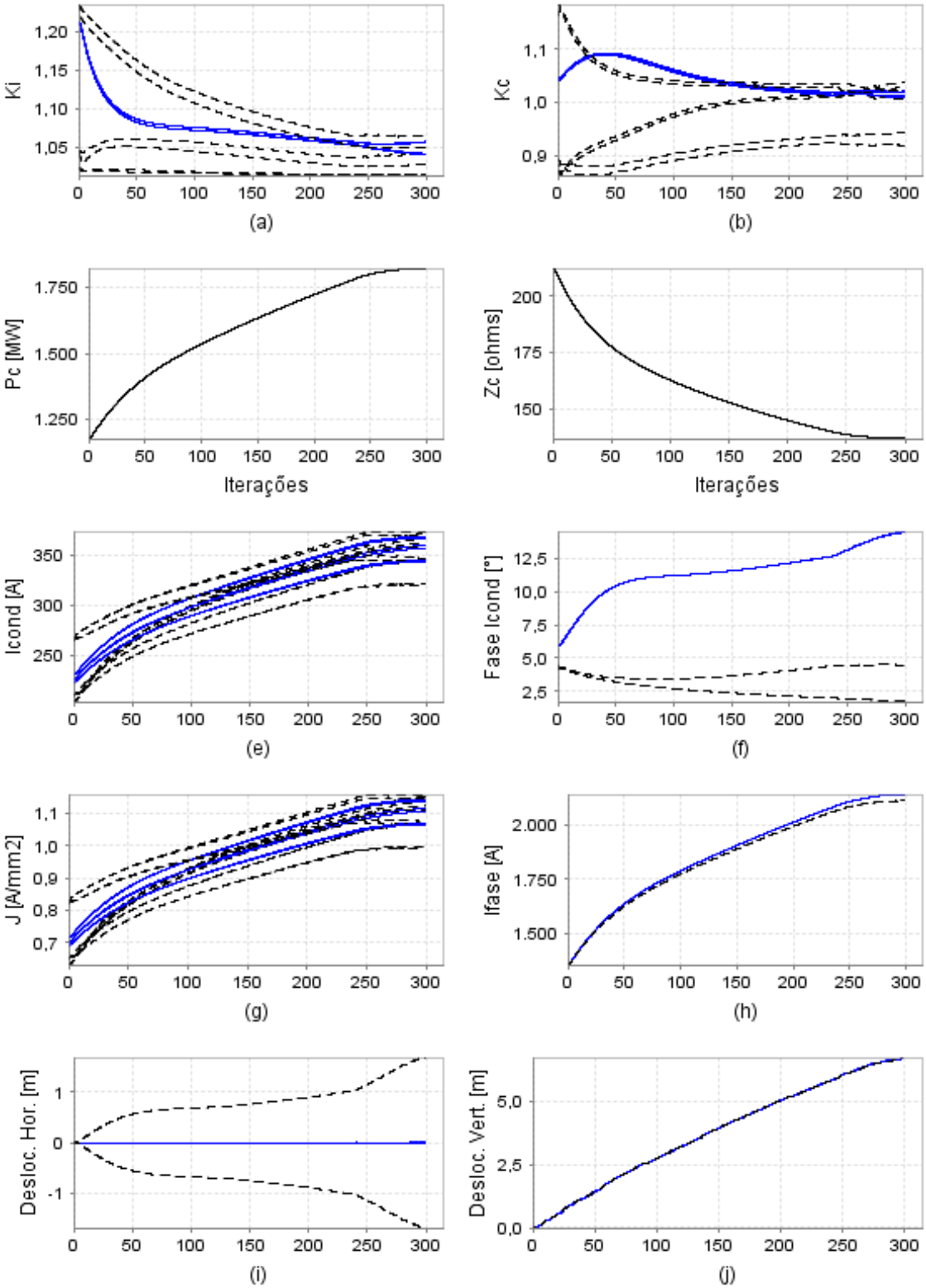

Figura I.111: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

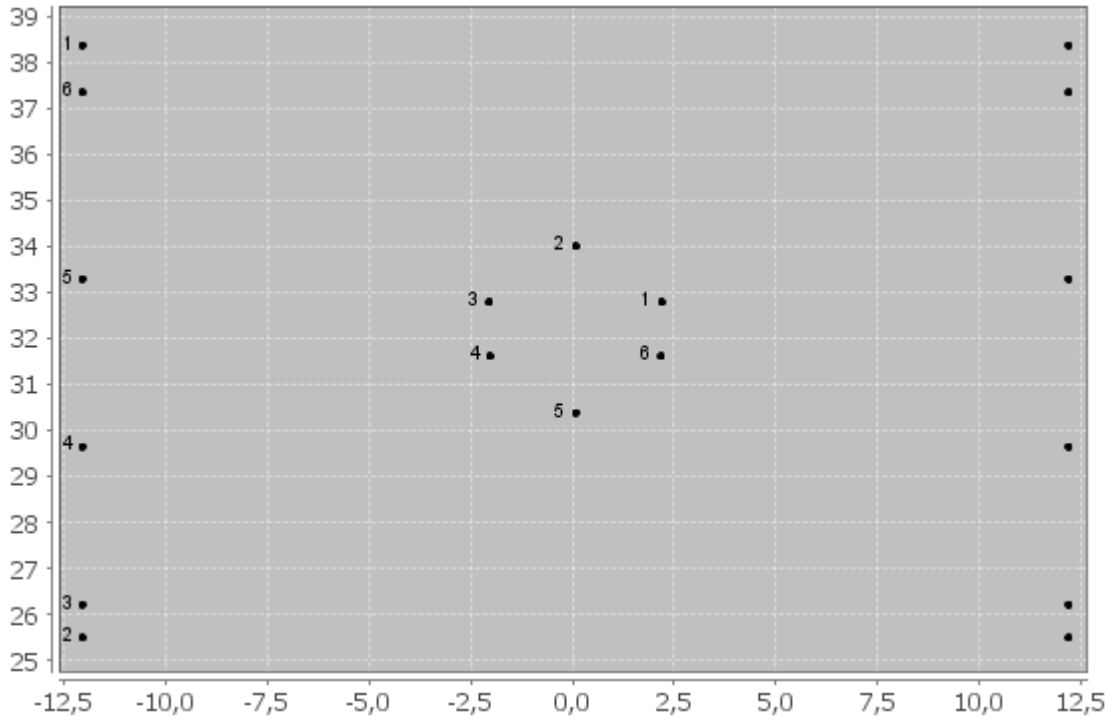

Figura I.112: Posições dos condutores na configuração otimizada para linha com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Tabela I.71: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,070	1,062	1,070	1,066	1,062	1,066					1,066	0,007
Ki	1,056	1,040	1,056	1,057	1,042	1,057					1,051	0,018
Kc	1,013	1,021	1,013	1,009	1,020	1,009					1,014	0,012
Icond [A]	344	356	367	367	359	344					356	23
Esup [kV/cm]	19,1	19,0	19,1	19,1	19,0	19,1					19,1	0,1

Tabela I.72: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 6 condutores do tipo GROSBEAK a 500 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6					Média	Desvio
Ki * Kc	1,072	1,071	0,958	1,042	1,053	0,969					1,028	0,114
Ki	1,049	1,066	1,042	1,014	1,014	1,027					1,035	0,046
Kc	1,022	1,005	0,920	1,028	1,038	0,943					0,993	0,110
Icond [A]	373	347	321	358	366	343					351	42
Esup [kV/cm]	19,2	19,2	17,1	18,6	18,8	17,3					18,4	2,0

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	BLUEJAY
Nsub	9

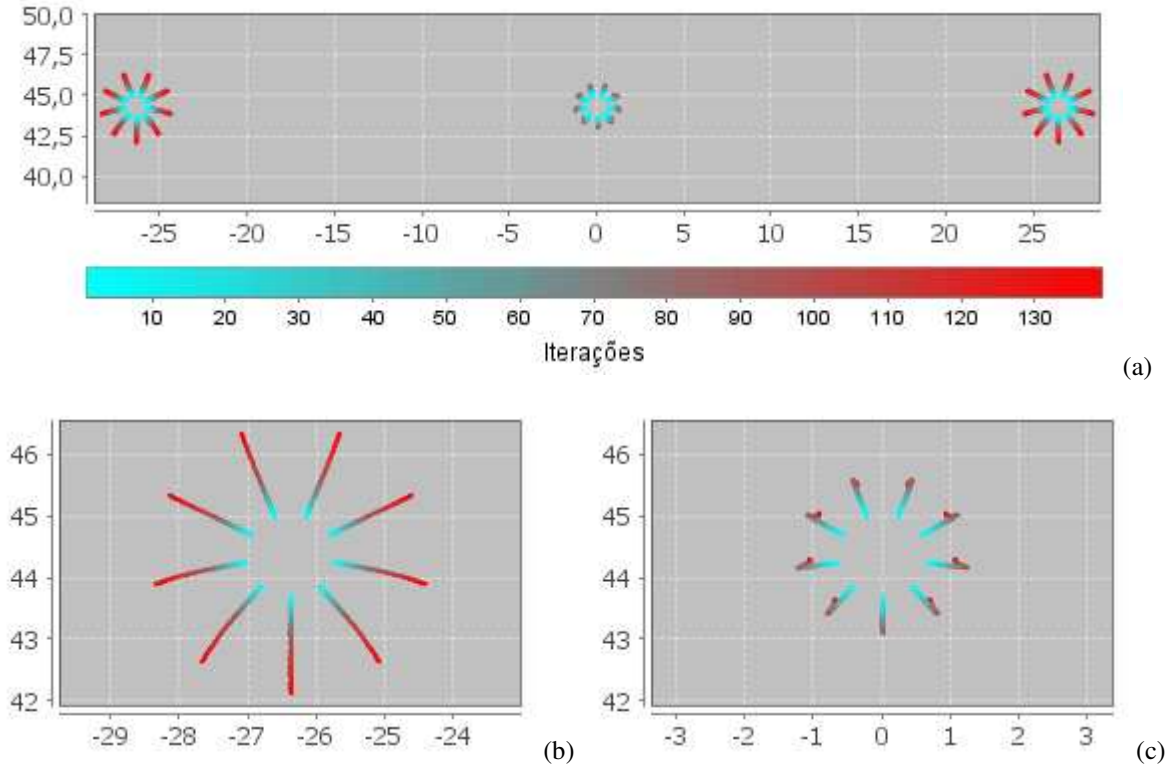

Figura I.113: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 2-I (87), 9-I (87), 3-I (90), 8-I (90), 1-I (92), 4-I (93), 7-I (93), 5-I (96), 6-I (96)

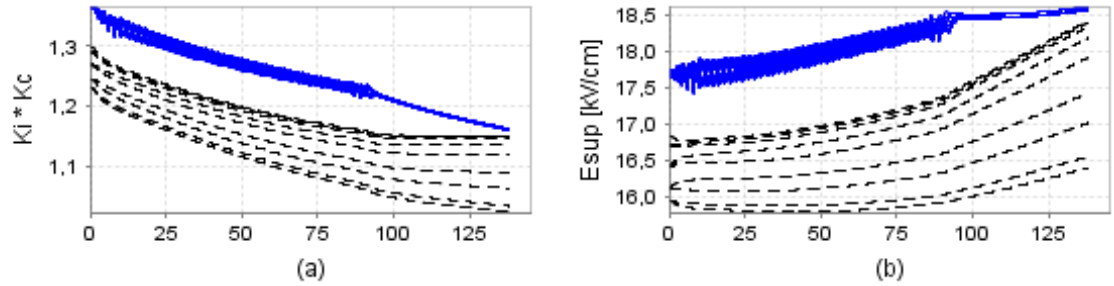

Figura I.114: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional

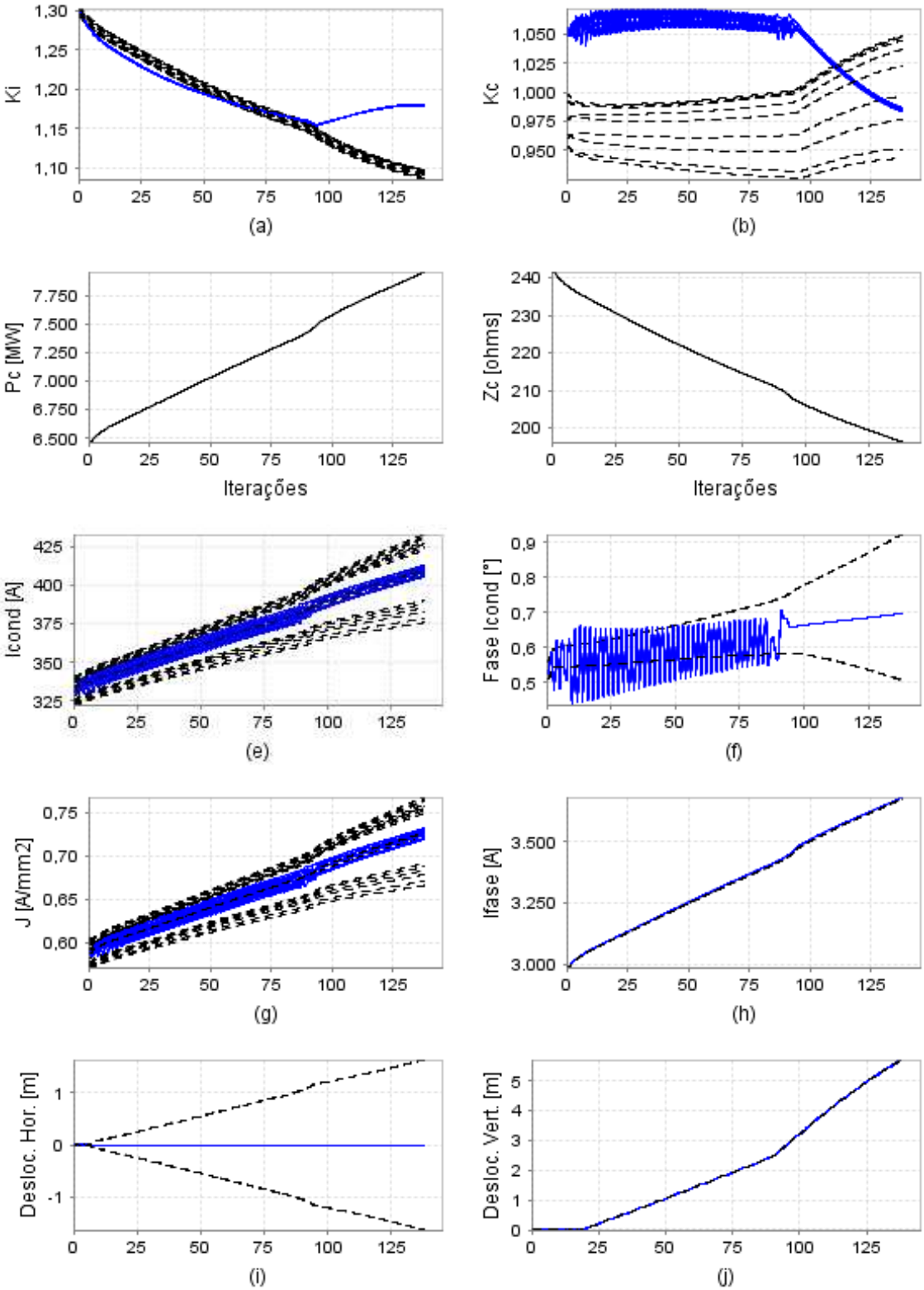

Figura I.115: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional

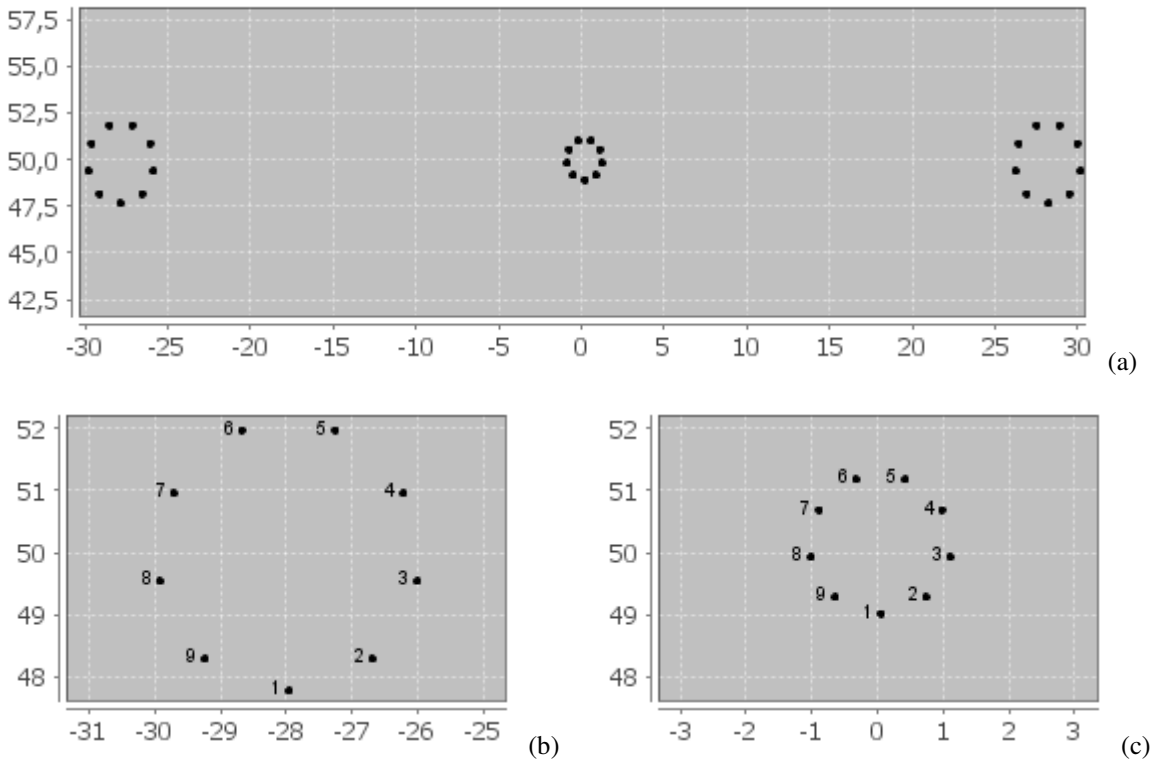

Figura I.116: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.73: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,164	1,161	1,161	1,162	1,165	1,165	1,162	1,161	1,161		1,162	0,004
Ki	1,181	1,180	1,179	1,179	1,180	1,180	1,179	1,179	1,180		1,180	0,001
Kc	0,986	0,984	0,985	0,986	0,987	0,987	0,986	0,985	0,984		0,985	0,004
Icond [A]	409	406	405	405	408	410	412	412	411		409	8
Esup [kV/cm]	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6		18,6	0,1

Tabela I.74: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo BLUEJAY a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,119	1,146	1,151	1,149	1,136	1,089	1,034	1,025	1,063		1,101	0,142
Ki	1,094	1,097	1,098	1,098	1,096	1,092	1,088	1,087	1,089		1,093	0,013
Kc	1,023	1,044	1,048	1,047	1,037	0,997	0,951	0,943	0,976		1,007	0,119
Icond [A]	409	422	427	429	425	407	385	378	390		408	56
Esup [kV/cm]	17,9	18,3	18,4	18,4	18,2	17,4	16,5	16,4	17,0		17,6	2,3

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	9

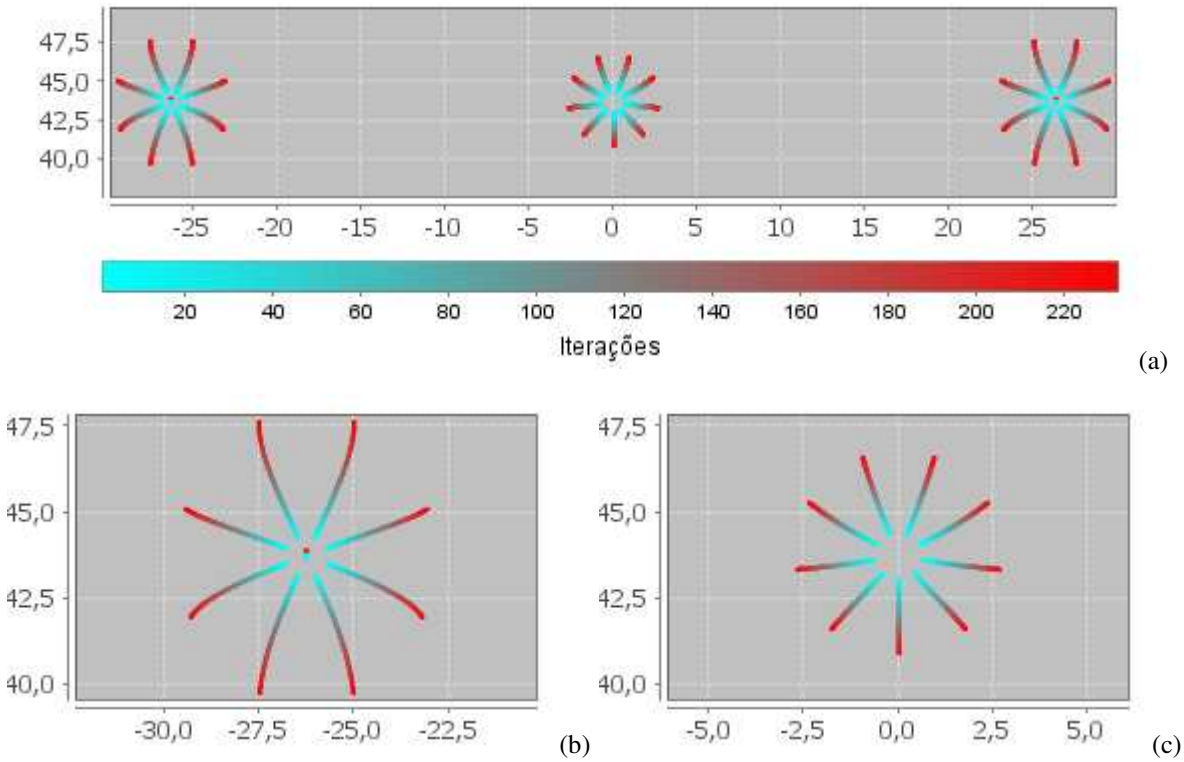

Figura I.117: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 1-E (229)

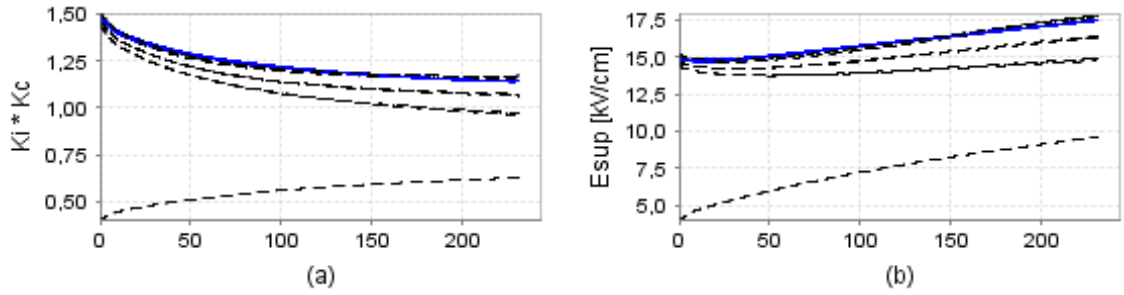

Figura I.118: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

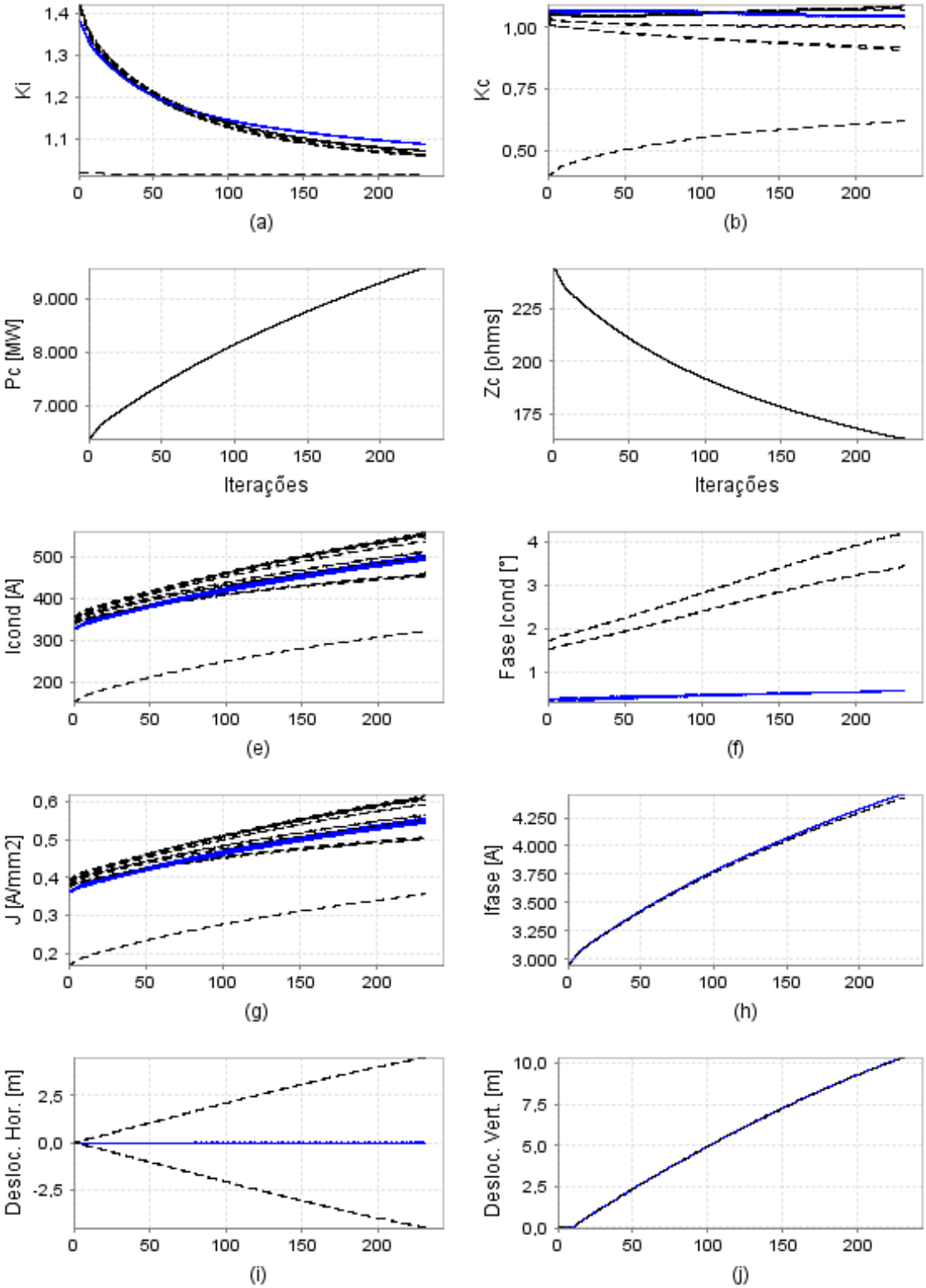

Figura I.119: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

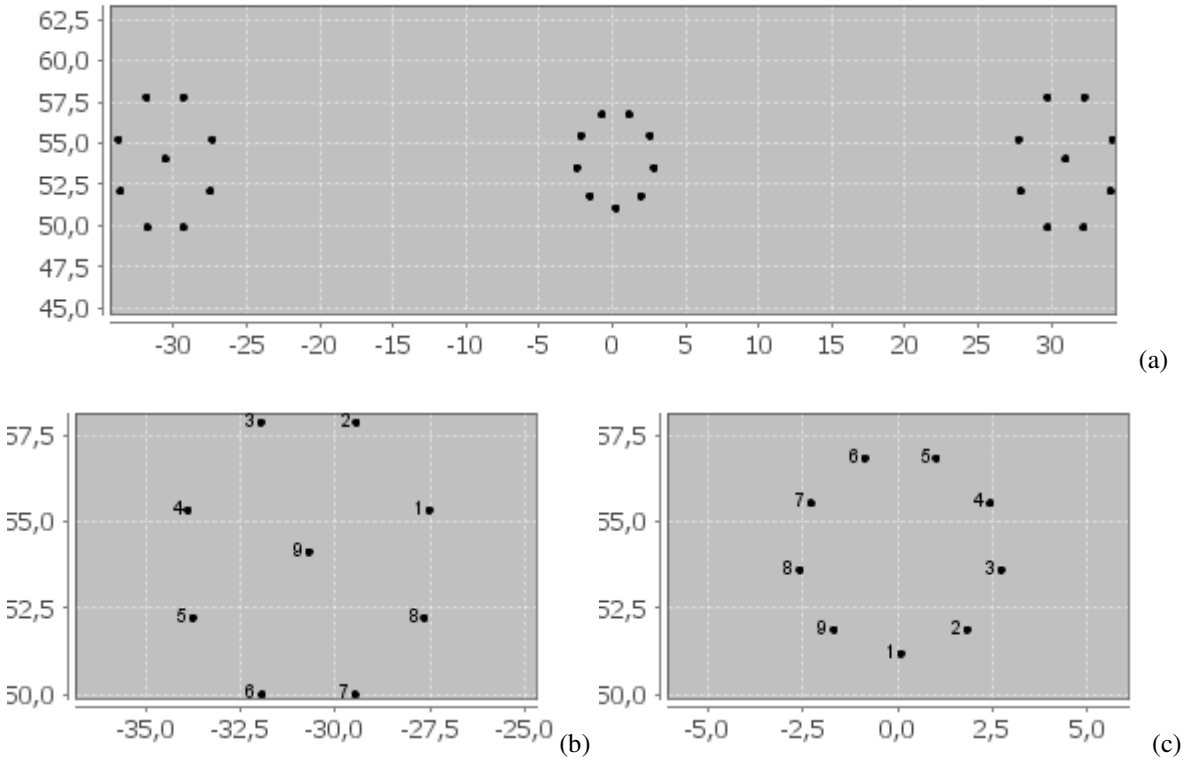

Figura I.120: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.75: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,142	1,142	1,141	1,141	1,142	1,142	1,141	1,141	1,142		1,142	0,001
Ki	1,088	1,089	1,089	1,089	1,088	1,088	1,089	1,089	1,089		1,089	0,002
Kc	1,050	1,049	1,047	1,048	1,050	1,050	1,048	1,047	1,049		1,049	0,003
Icond [A]	494	491	490	491	492	496	500	501	499		495	12
Esup [kV/cm]	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5		17,5	0,0

Tabela I.76: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 9 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Média	Desvio
Ki * Kc	1,171	1,149	1,065	0,970	0,972	1,072	1,149	1,160	0,627		1,037	0,487
Ki	1,073	1,070	1,064	1,060	1,059	1,064	1,070	1,072	1,013		1,061	0,052
Kc	1,092	1,074	1,001	0,915	0,917	1,008	1,074	1,082	0,619		0,976	0,425
Icond [A]	555	549	510	459	454	497	534	544	321		491	209
Esup [kV/cm]	17,9	17,6	16,3	14,9	14,9	16,4	17,6	17,8	9,6		15,9	7,5

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	10

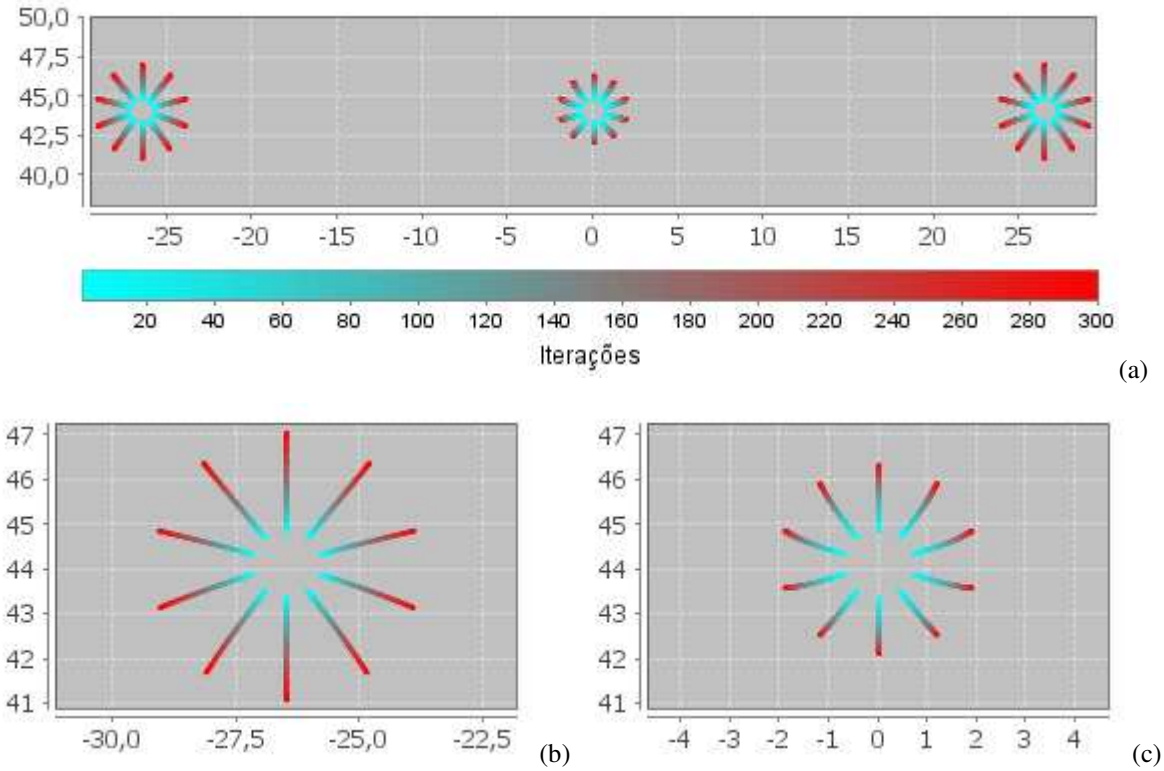

Figura I.121: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

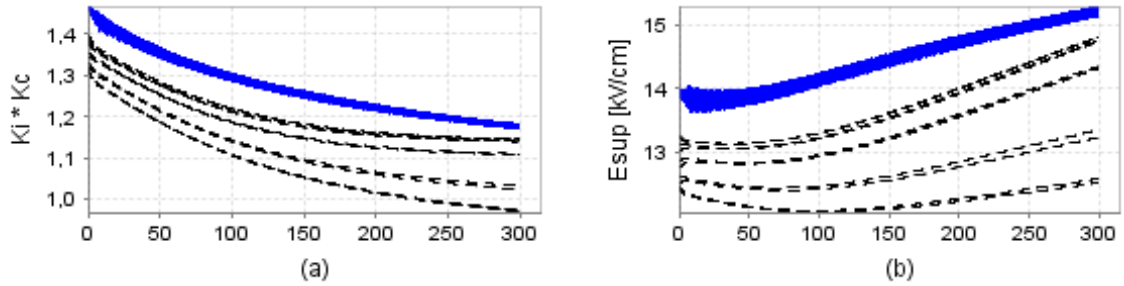

Figura I.122: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

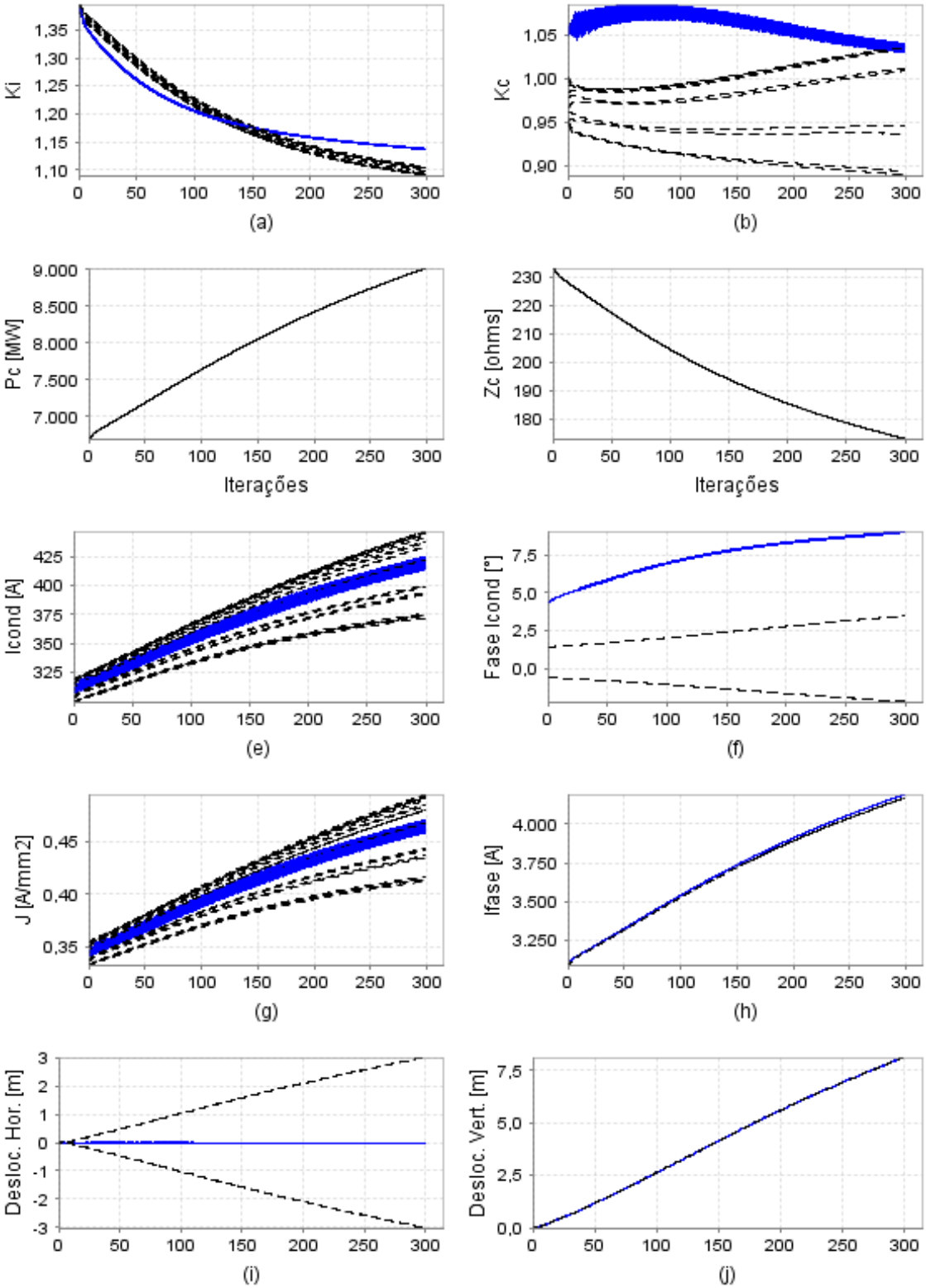

Figura I.123: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

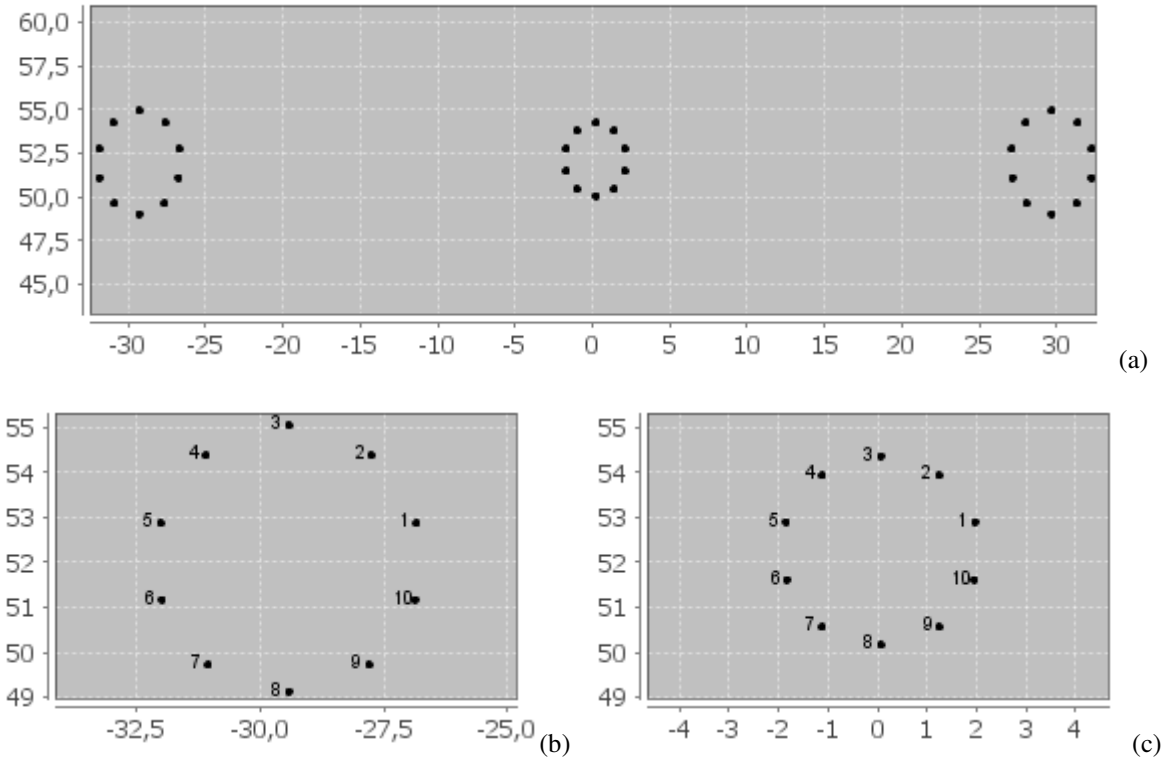

Figura I.124: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.77: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,183	1,173	1,182	1,173	1,183	1,171	1,182	1,173	1,182	1,171	1,177	0,016
Ki	1,138	1,137	1,137	1,137	1,138	1,138	1,138	1,137	1,138	1,138	1,137	0,002
Kc	1,039	1,032	1,040	1,032	1,039	1,030	1,039	1,032	1,039	1,030	1,035	0,013
Icond [A]	417	415	420	420	425	421	422	417	418	414	419	10
Esup [kV/cm]	15,3	15,2	15,3	15,2	15,3	15,1	15,3	15,2	15,3	15,1	15,2	0,2

Tabela I.78: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,145	1,140	1,108	1,024	0,970	0,975	1,033	1,110	1,141	1,145	1,079	0,215
Ki	1,106	1,103	1,099	1,094	1,091	1,091	1,093	1,098	1,103	1,106	1,098	0,018
Kc	1,035	1,034	1,008	0,937	0,889	0,894	0,945	1,011	1,035	1,036	0,982	0,181
Icond [A]	444	445	433	400	376	374	394	422	437	441	417	84
Esup [kV/cm]	14,8	14,7	14,3	13,2	12,5	12,6	13,3	14,3	14,7	14,8	13,9	2,8

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	DRAKE
Nsub	10

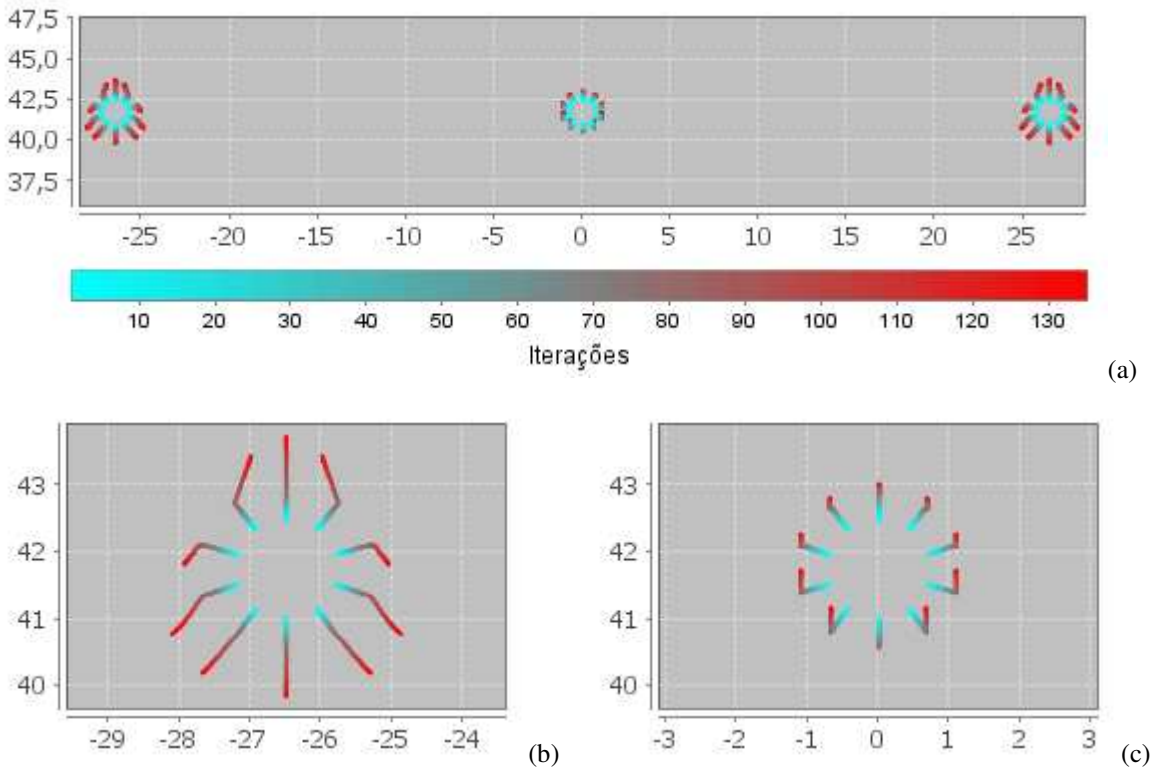

Figura I.125: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: 6-I (74), 8-I (74), 10-I (74), 3-I (75), 7-I (78), 9-I (78), 2-I (82), 4-I (82), 1-I (99), 5-I (99), 10-E (134)

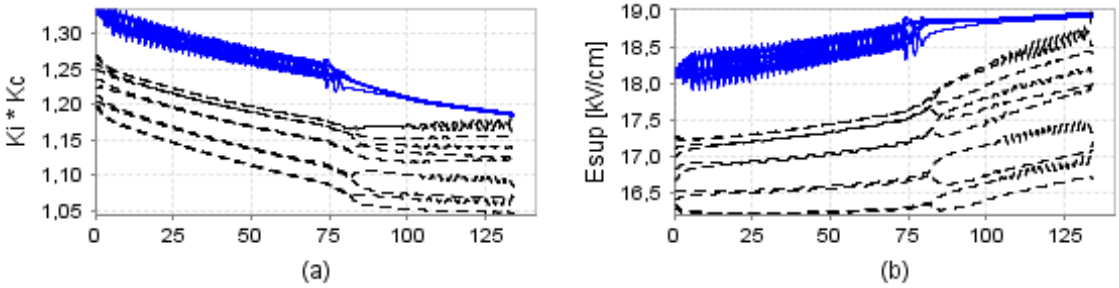

Figura I.126: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional

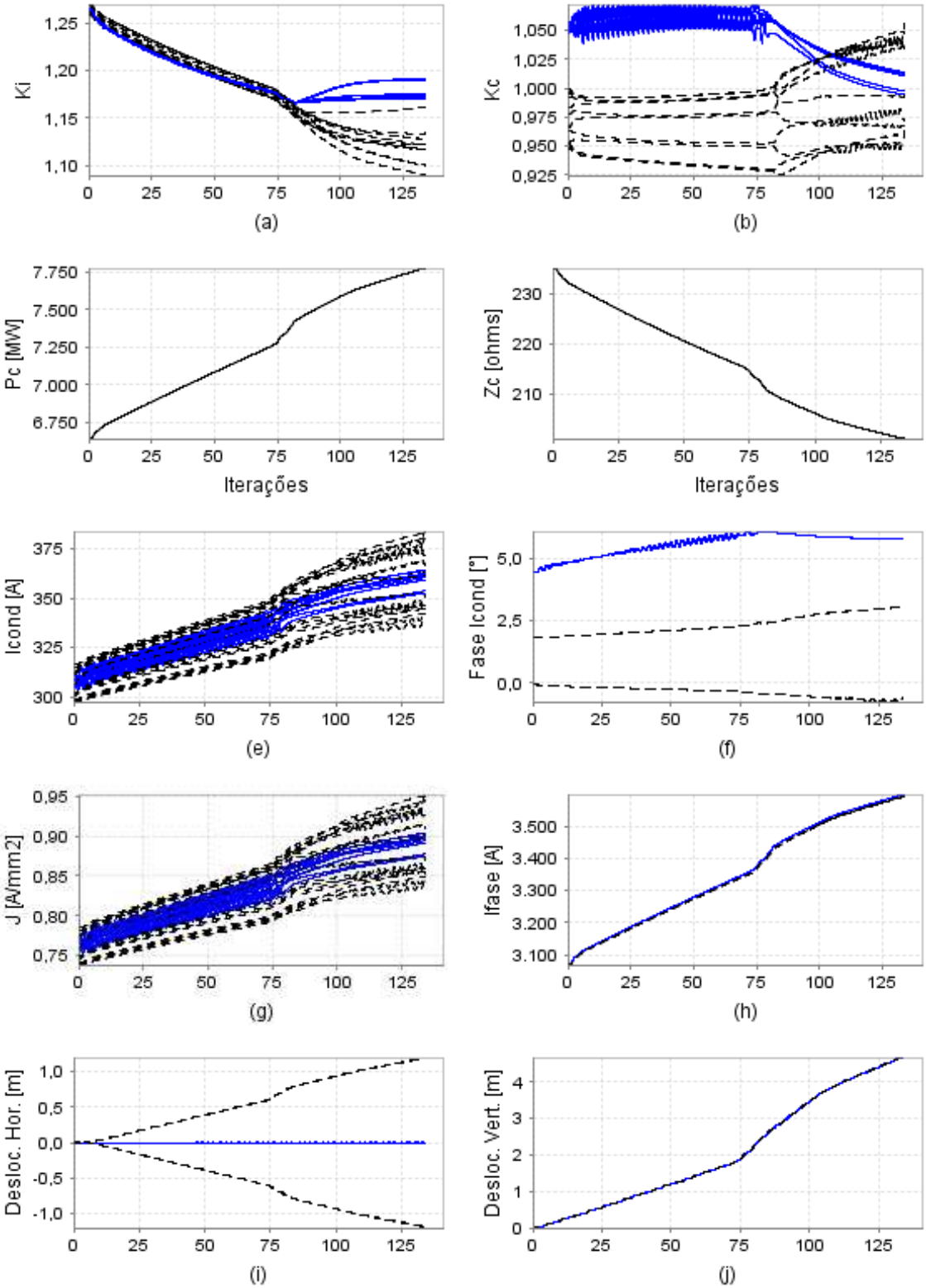

Figura I.127: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional

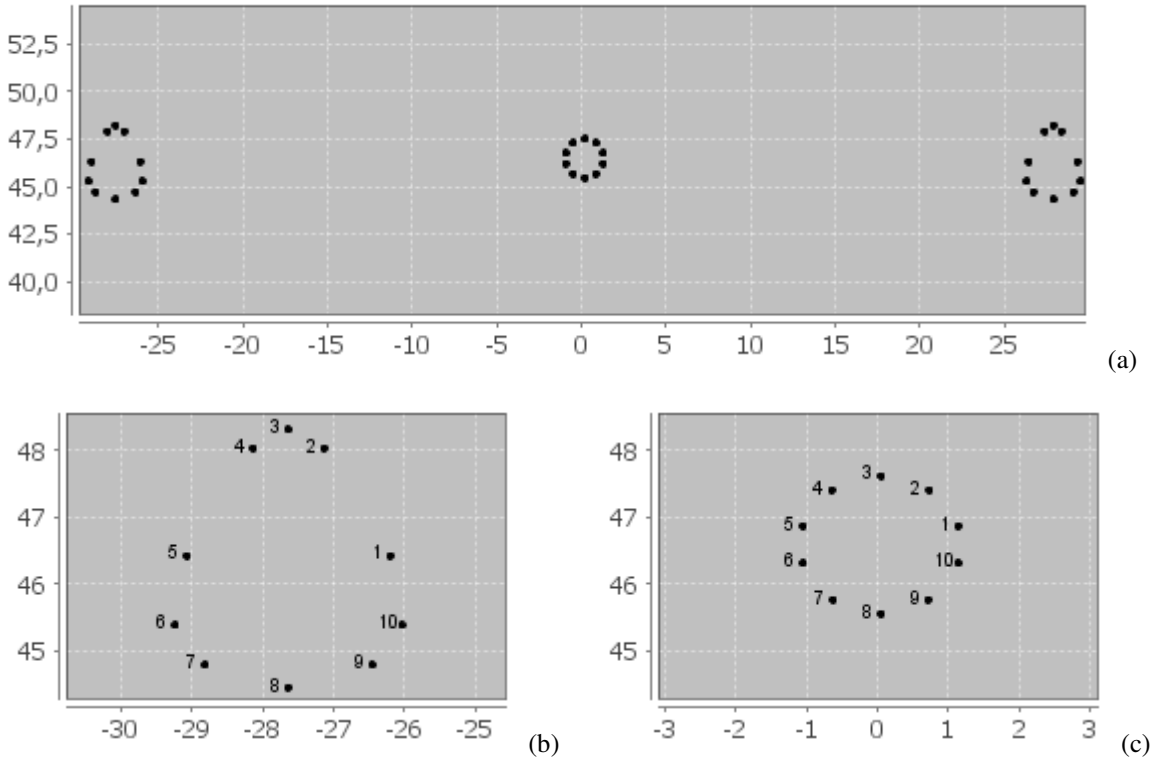

Figura I.128: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.79: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,184	1,188	1,186	1,188	1,184	1,187	1,188	1,187	1,188	1,187	1,187	0,004
Ki	1,191	1,175	1,170	1,175	1,191	1,190	1,174	1,172	1,174	1,190	1,180	0,027
Kc	0,995	1,011	1,014	1,011	0,995	0,998	1,011	1,013	1,011	0,998	1,006	0,025
Icond [A]	352	359	362	364	360	361	364	362	359	353	360	12
Esup [kV/cm]	18,9	19,0	18,9	19,0	18,9	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	18,9	0,1

Tabela I.80: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo DRAKE a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,155	1,124	1,124	1,068	1,047	1,065	1,089	1,141	1,164	1,179	1,116	0,138
Ki	1,101	1,133	1,161	1,122	1,090	1,117	1,116	1,100	1,121	1,128	1,119	0,060
Kc	1,049	0,992	0,968	0,952	0,960	0,954	0,975	1,037	1,038	1,045	0,997	0,122
Icond [A]	380	361	353	346	345	340	347	369	373	377	359	44
Esup [kV/cm]	18,4	18,0	17,9	17,0	16,7	17,0	17,4	18,2	18,6	18,8	17,8	2,2

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	10

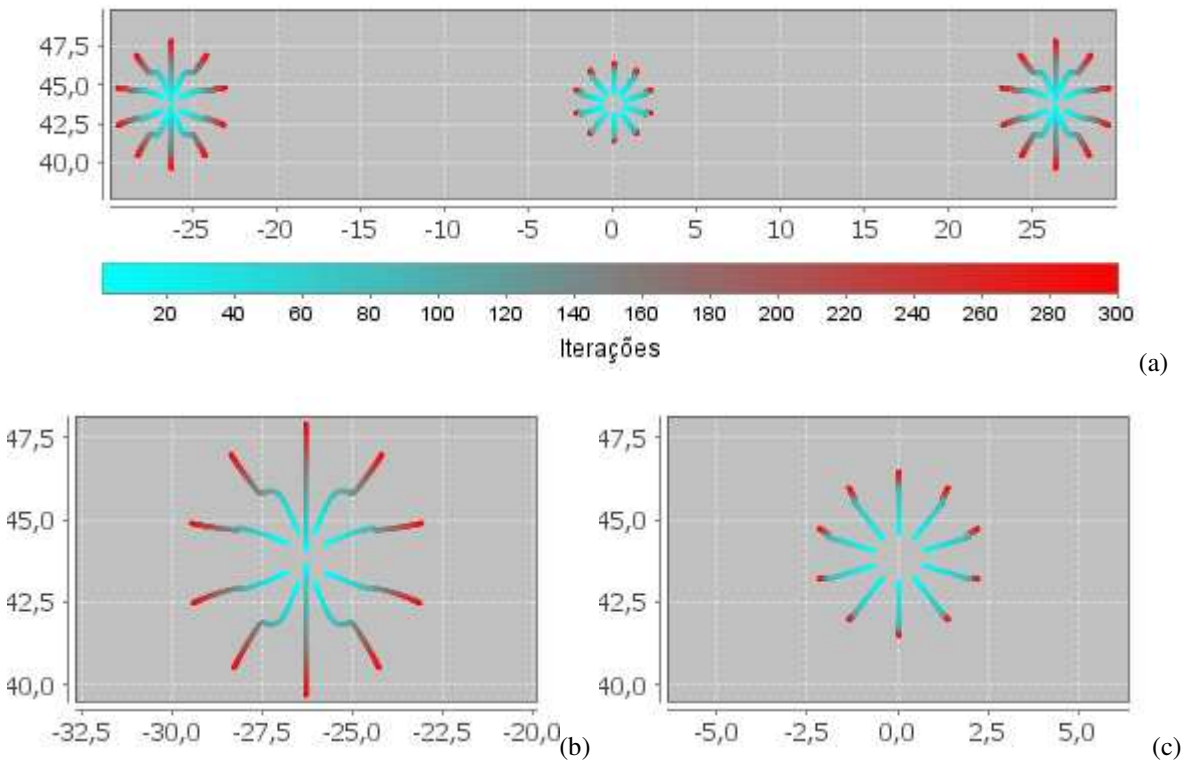

Figura I.129: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

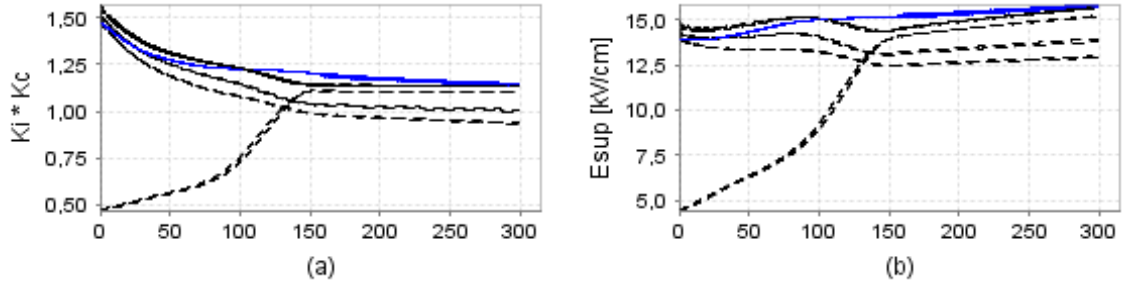

Figura I.130: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

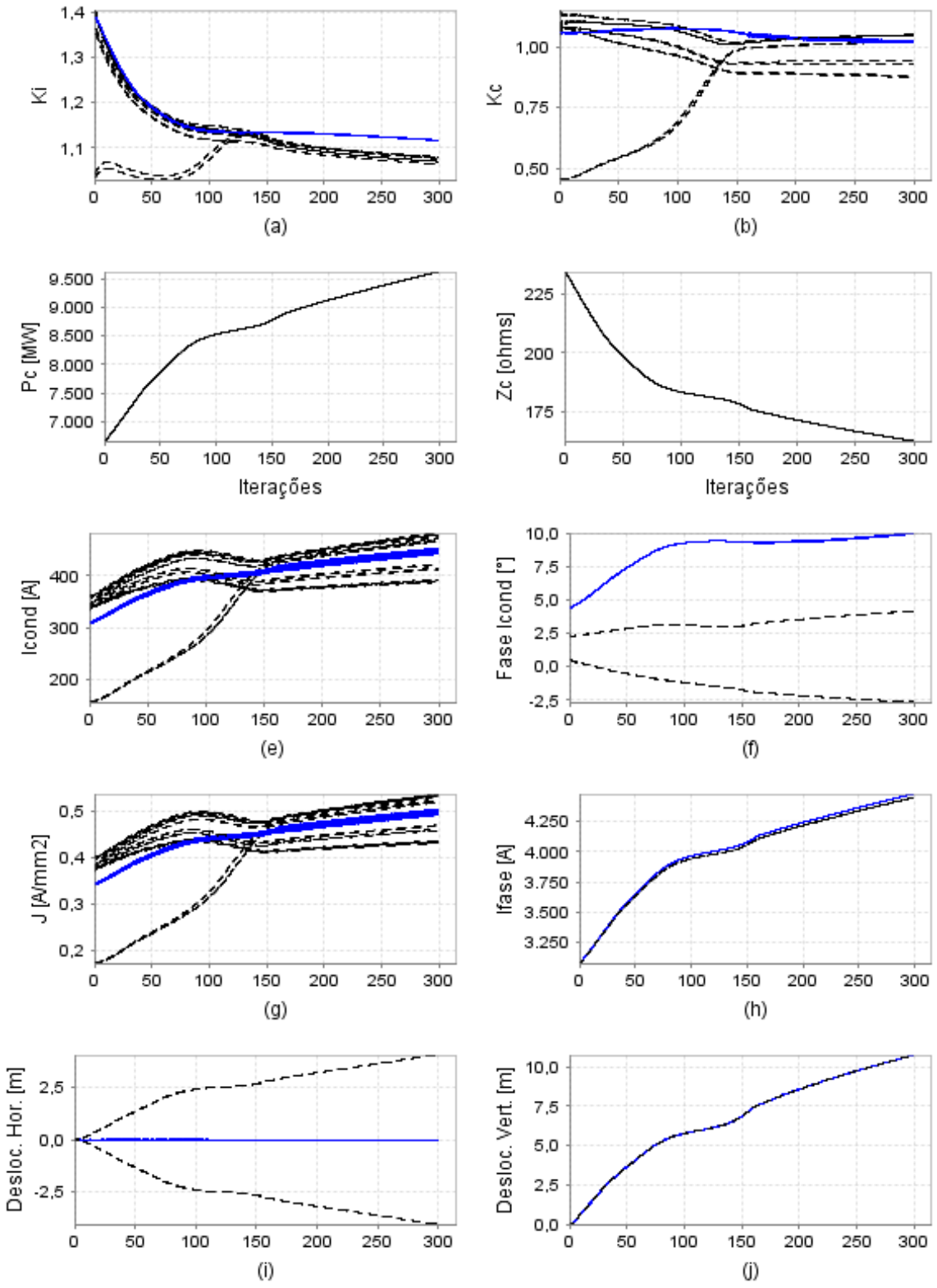

Figura I.131: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

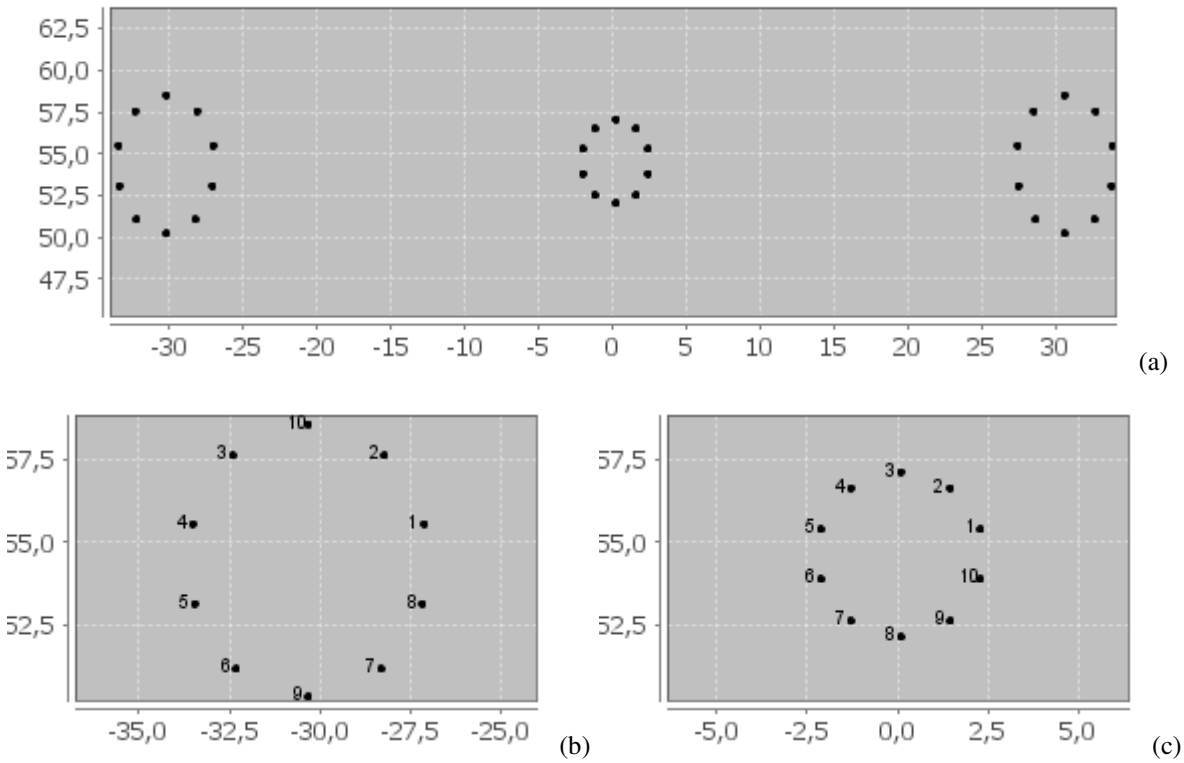

Figura I.132: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.81: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,148	1,140	1,149	1,140	1,148	1,139	1,147	1,142	1,147	1,139	1,144	0,012
Ki	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	0,001
Kc	1,027	1,021	1,028	1,021	1,027	1,020	1,026	1,022	1,026	1,020	1,024	0,010
Icond [A]	445	442	448	448	454	451	451	446	446	442	447	11
Esup [kV/cm]	15,9	15,7	15,9	15,7	15,9	15,7	15,8	15,8	15,8	15,7	15,8	0,2

Tabela I.82: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,136	1,133	0,997	0,933	0,939	1,009	1,134	1,137	1,101	1,100	1,062	0,251
Ki	1,080	1,080	1,070	1,065	1,065	1,070	1,080	1,080	1,077	1,077	1,074	0,019
Kc	1,052	1,050	0,932	0,876	0,882	0,943	1,050	1,052	1,023	1,021	0,988	0,217
Icond [A]	480	481	423	393	390	415	469	476	452	467	445	108
Esup [kV/cm]	15,7	15,7	13,8	12,9	13,0	13,9	15,7	15,7	15,2	15,2	14,7	3,5

Tensão de operação [kV]	1250
Distância de isolação	Convencional (25,0 m)
Condutor	CHUKAR
Nsub	10

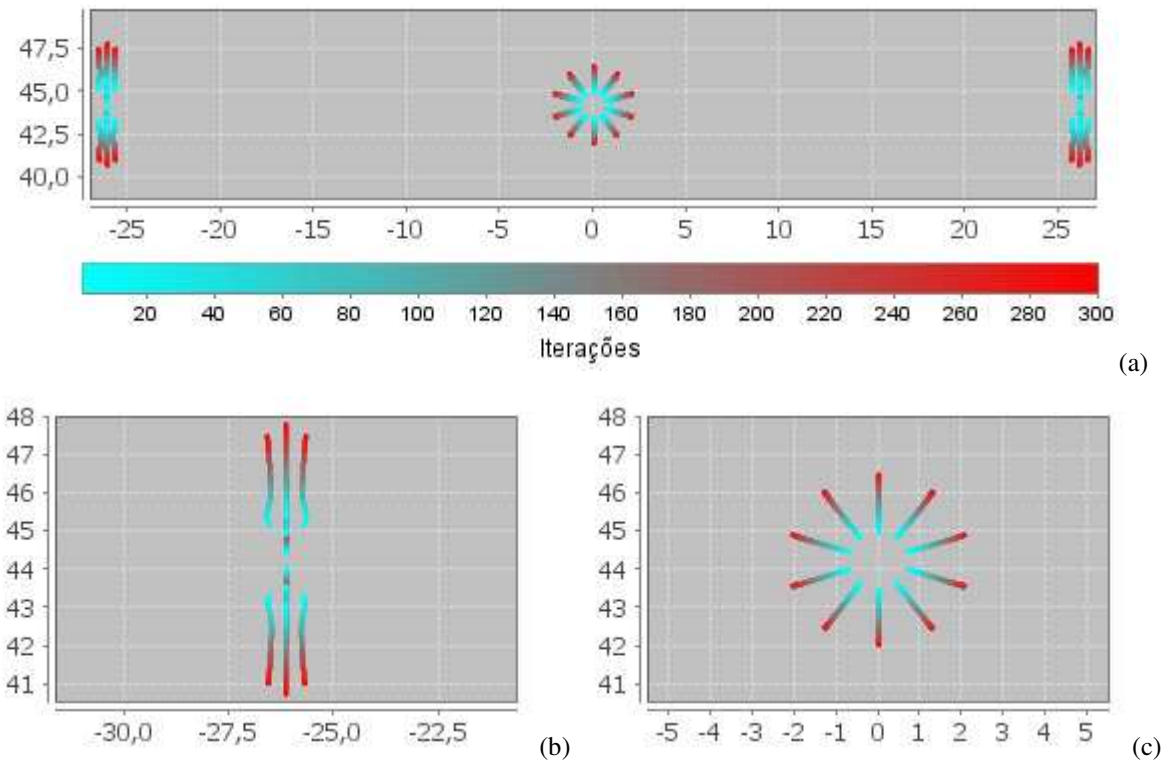

Figura I.133: Variação das posições dos condutores no processo de otimização (a) da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe da variação do feixe externo (b) e detalhe da variação do feixe interno (c)

Sequência de ativação das restrições: (sem restrições ativas)

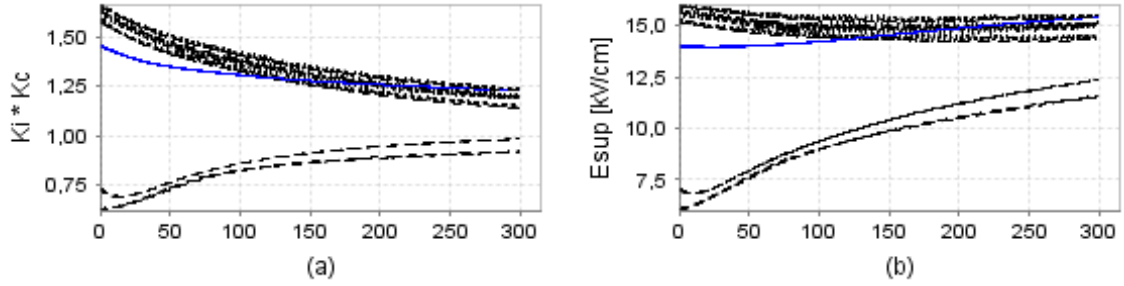

Figura I.134: Variação dos parâmetros Ki*Kc (a) e do campo elétrico superficial máximo, Esup (b), ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

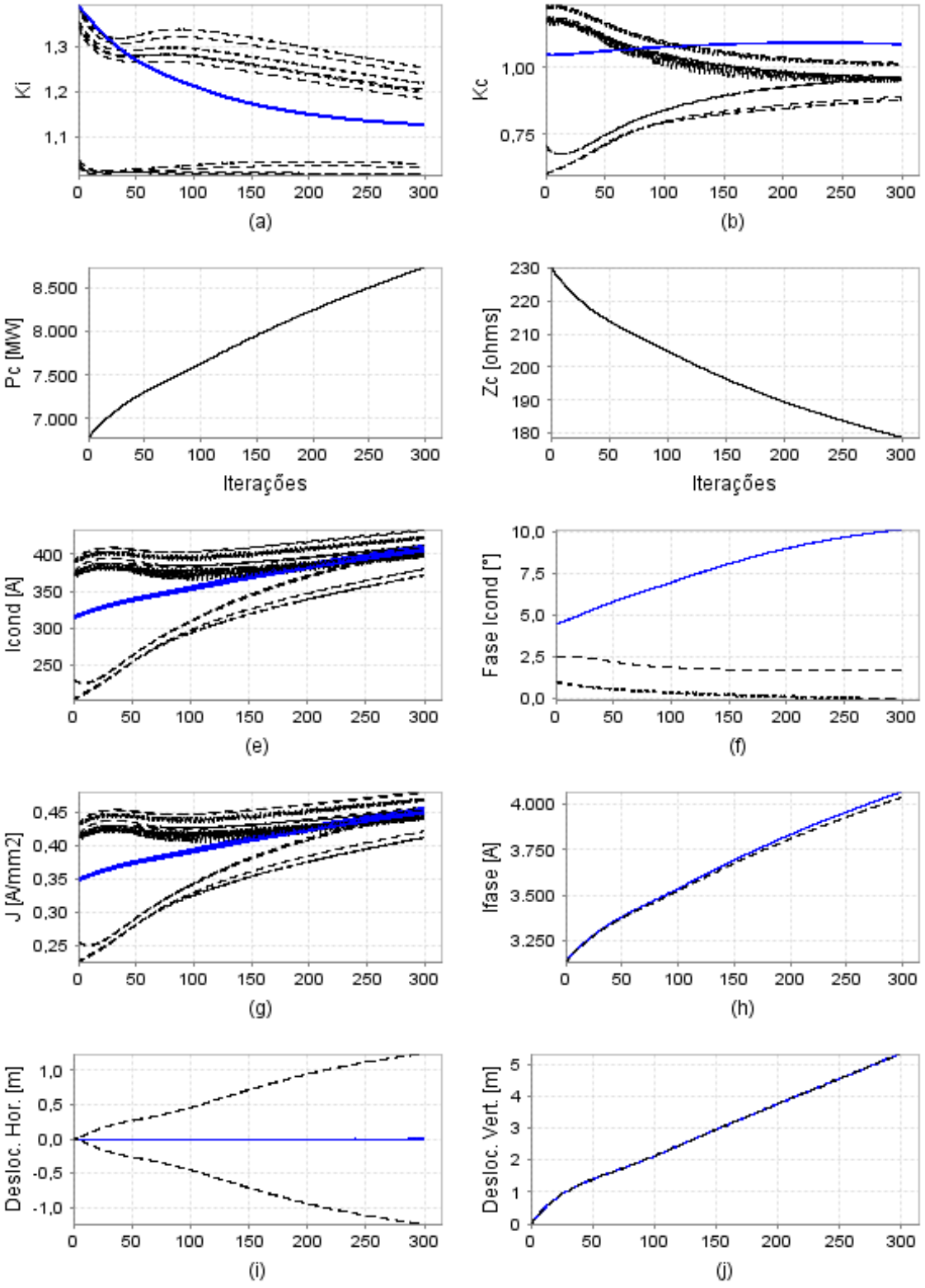

Figura I.135: Variação dos parâmetros Ki (a), Kc (b), Pc (c), Zc (d), corrente elétrica por condutor, Icond (e), ângulo de fase das correntes por condutor (f), densidade de corrente por condutor, J (g), correntes de fase, Ifase (h), deslocamento horizontal dos condutores (i) e deslocamento vertical dos condutores (j) ao longo das iterações do processo de otimização da linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

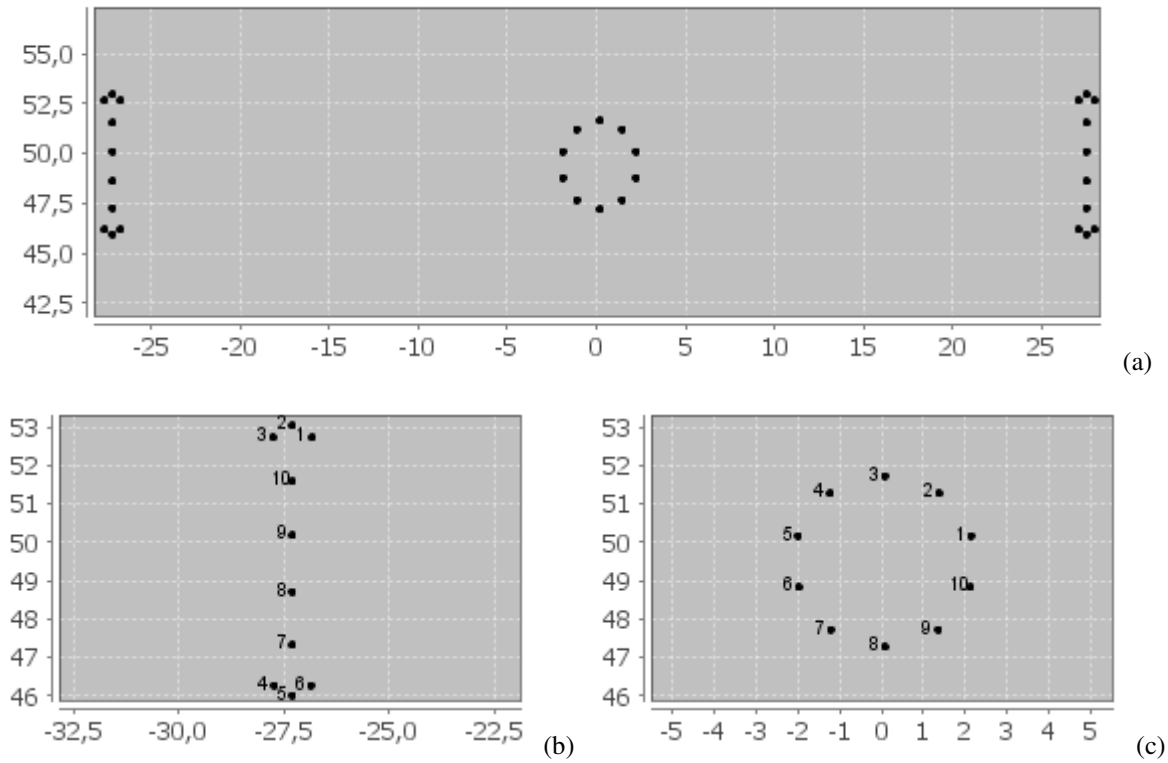

Figura I.136: Posições dos condutores na configuração otimizada (a) para linha com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional, detalhe do feixe externo (b) e detalhe do feixe interno (c)

Tabela I.83: Parâmetros por condutor do feixe interno da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	0,001
Ki	1,130	1,128	1,126	1,128	1,130	1,130	1,128	1,126	1,128	1,130	1,128	0,004
Kc	1,086	1,088	1,090	1,088	1,086	1,086	1,088	1,089	1,088	1,086	1,087	0,004
Icond [A]	404	405	407	410	412	411	408	405	403	403	407	10
Esup [kV/cm]	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	0,0

Tabela I.84: Parâmetros por condutor do feixe externo da linha otimizada com disposição horizontal de fases com 10 condutores do tipo CHUKAR a 1250 kV com distância de isolação convencional

Subcondutor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio
Ki * Kc	1,225	1,196	1,137	1,153	1,186	1,237	0,918	0,982	0,983	0,921	1,094	0,384
Ki	1,205	1,239	1,185	1,201	1,253	1,220	1,042	1,020	1,018	1,034	1,142	0,298
Kc	1,017	0,965	0,959	0,960	0,946	1,014	0,881	0,963	0,966	0,891	0,956	0,132
Icond [A]	432	412	409	401	396	423	371	405	408	380	404	55
Esup [kV/cm]	15,4	15,0	14,3	14,5	14,9	15,5	11,5	12,3	12,4	11,6	13,7	4,8