

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E CONTROLE DE ENERGIA

*Este exemplar corresponde à redação final da
tese defendida por Geraldo Roberto Martins da
Costa e aprovada pela comissão Julgadora em
26 de Junho de 1990.*


Anésio dos Santos Jr.

**O MÉTODO DUAL-NEWTON
APLICADO AO FLUXO DE CARGA ÓTIMO**

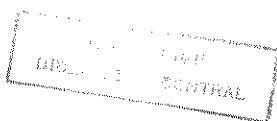
GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA *mt*

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Anésio dos Santos Jr. *mt*

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Junho 1990



RESUMO

Neste trabalho é proposto um novo método para a resolução do fluxo de carga ótimo. O método proposto foi desenvolvido a partir de uma associação da função Lagrangeana Aumentada com o problema original. A solução do problema é procurada através do método de Newton para as restrições de igualdade e através de uma regra de atualização das variáveis duais e penalidades associadas com as restrições de desigualdade. Alguns métodos da programação não linear aplicados ao fluxo de carga ótimo são apresentados e discutidos. Algoritmos foram desenvolvidos e implementados. Resultados de testes computacionais são apresentados onde o desempenho do método pode ser analisado.

ABSTRACT

An optimal power flow solution method is proposed in this work. The presented method has been developed from an association of an Augmented Lagrangian function with the original problem. The solution of the problem is searched through Newton's method for equality constraints and through an updating of dual variables and penalties related to the inequality constraints. Some methods of non-linear programming applied to the optimal power flow are also presented and discussed. Algorithms were developed and implemented. Computational test results are presented where the method's performance can be analysed.

AGRADECIMENTOS

Ao Anesio pela amizade, incentivo e orientação dedicada na realização deste trabalho.

A IBM Brasil, através do ILAT, por proporcionar ao Anesio a disponibilidade para orientação deste trabalho.

Ao Prof. Secundino Soares Filho pela sua colaboração no projeto inicial deste trabalho.

Aos amigos do Departamento de Eletricidade - USP pelo apoio e incentivo.

A CAPES por ter investido no desenvolvimento deste trabalho.

A Rosane e ao Odair pela dedicação demonstrada no trabalho de datilografia e desenho deste texto.

A minha esposa e filhas

Fátima, Natalia e Marília.

Aos meus pais

Geraldo e Elza.

ÍNDICE

<u>CAPÍTULO I</u>	- INTRODUÇÃO.....	1
<u>CAPÍTULO II</u>	- ALGUMAS SOLUÇÕES DO FLUXO DE CARGA ÓTIMO.....	7
II.1	- Modelo do fluxo de carga ótimo.....	8
II.2	- Método de Dommel-Tinney.....	11
II.3	- Método de penalidades.....	19
II.4	- Fluxo de carga ótimo pelo método de Newton.....	22
II.5	- Método da Lagrangeana Aumentada aplicado ao fluxo de carga ótimo.....	25
<u>CAPÍTULO III</u>	- O MÉTODO DUAL-NEWTON A PARTIR DA LAGRANGEANA AUMENTADA E DO MÉTODO DE NEWTON	29
III.1	- O método da Lagrangeana Aumentada.....	30
	A função Lagrangeana.....	30
	Método de solução do problema (P).....	32
	Interpretação geométrica.....	33
III.2	- O método de Newton.....	41
III.3	- O método Dual-Newton.....	43
	O método de Newton e a atualização de μ_j e v_j ...	45
	Diagrama de blocos do método DUAL-NEWTON.....	46
	Vantagens do método DUAL-NEWTON.....	48
<u>CAPÍTULO IV</u>	- O MÉTODO DUAL-NEWTON APLICADO AO FLUXO DE CARGA ÓTIMO.....	49
IV.1	- Formulação do fluxo de carga ótimo.....	50
IV.2	- A função Lagrangeana Aumentada.....	51
IV.3	- O método de Newton	53

IV.4	- Estrutura da matriz Hessiana.....	55
IV.5	- Estrutura do vetor gradiente.....	62
IV.6	- Formação do vetor gradiente e da matriz Hessiana.....	64
IV.7	- Fatoração triangular da matriz Hessiana.....	69
IV.8	- Implementação computacional.....	70
<u>CAPÍTULO V</u>	- TESTES E RESULTADOS.....	74
V.1	- Sistema 3 barras.....	75
V.2	- Sistema AEP30.....	80
V.3	- Sistema IEEE118.....	87
<u>CONCLUSÃO</u>		103
<u>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS</u>		106
<u>APÊNDICES</u>		
A	- Expressões de fluxos e perdas	112
B	- Função objetivo e suas derivadas.....	118
C	- Restrições e suas derivadas.....	120
D	- Estados inicial e final dos sistemas AEP30 e IEEE118.....	134

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

No final do século XIX foi construída a primeira central elétrica, uma termoelétrica, a fim de alimentar o sistema de iluminação de uma cidade. A preocupação dos engenheiros da época voltava-se à tensão nos barramentos e ao suprimento da carga. O cálculo da rede elétrica envolvia uma simples equação de circuitos elétricos. No início do século XX, com o aumento da carga e com a consequente construção de mais unidades geradoras, um novo problema começou a preocupar os engenheiros. Como dividir uma carga real, entre duas unidades geradoras ou mais, com o menor custo de geração? Este problema foi chamado de DESPACHO ECONÔMICO ou DESPACHO ÓTIMO. H.H.Happ [1] realizou um amplo estudo da evolução do problema do despacho econômico. No início da década de 60 CARPENTIER [2] formulou o problema do despacho econômico baseado no teorema de Kuhn-Tucker da programação não-linear. Esta formulação deu origem ao problema do FLUXO DE CARGA ÓTIMO. No problema clássico do despacho econômico, as magnitudes de tensão controladas e os taps dos transformadores são considerados fixos. Com a relaxação destas restrições obtém-se o problema do fluxo de carga ótimo, como uma generalização do despacho econômico, onde se busca a otimização do sistema às custas do despacho de potência ativa e das variáveis associadas ao suprimento de potência reativa.

O fluxo de carga ótimo é um problema de

programação não-linear onde uma função objetivo, custo de geração, perdas ativas na transmissão ou outra função qualquer, é minimizada sujeita a restrições de igualdade e restrições de desigualdade. As restrições de igualdade são representadas pelas equações não lineares do fluxo de carga, e as restrições de desigualdade representadas pelos limites de geração de potência ativa e reativa, magnitudes das tensões nos barramentos, taps dos transformadores e fluxos de potências ativas e reativas nas linhas de transmissão. O problema do fluxo de carga ótimo com função objetivo custo de geração é um problema de despacho econômico. Constata-se que o fluxo de carga ótimo utilizado com outras funções objetivo torna-se um potente instrumento de análise de sistemas elétricos de energia. Nestas condições o fluxo de carga ótimo é uma ferramenta única para se encontrar, simultaneamente, soluções :

- econômica e de operação segura;
- compatíveis com a capacidade de suprimento de potência reativa.

O programa do fluxo de carga é hoje provavelmente o instrumento mais utilizado no planejamento e operação de um sistema de energia elétrica. A cada estudo muitos cálculos do programa do fluxo de carga são repetidos. O fluxo de carga ótimo eliminaria muito desses cálculos tornando automático o cálculo de uma boa solução para operação do sistema.

Quando dispõem-se de boas inicializações, os

métodos de resolução do fluxo de carga ótimo factíveis, para as variáveis de controle, apresentam bom desempenho. Poder-se-ia citar a técnica do gradiente reduzido aplicada por Dommel-Tinney [3] e mais recentemente as técnicas de projeção ortogonal aplicadas por R.Salgado [4].

Os estudos realizados no planejamento da operação pretendem estabelecer boas soluções de fluxo de carga que atendam à demanda e uma tensão especificada. Esses estudos não dispõem de boas soluções iniciais, portanto neste caso os métodos não factíveis são os mais indicados, como por exemplo os métodos do tipo Dual [5], os de Penalidade [6] e os da Programação Quadrática [7,8,9]. Um amplo estudo comparativo da evolução do fluxo de carga ótimo é apresentado por CARPENTIER [10].

Apesar de inúmeras pesquisas e de diversos trabalhos publicados na área em questão, observa-se a ausência de um método eficiente e robusto para a resolução do problema [11]. Com o objetivo de contribuir para a resolução do problema, particularmente, a nível de planejamento, propõe-se nesse estudo uma nova metodologia com respectiva implementação computacional para teste. A metodologia apresentada para a resolução do fluxo de carga ótimo é uma associação do método da Lagrangeana Aumentada [5,12], DUAL, ao método de NEWTON [7,12,13]. Esta associação será chamada de DUAL-NEWTON, ou de método Dual-Newton. Este aproveita as vantagens do método de Newton no tratamento das restrições de igualdade e as vantagens da Lagrangeana Aumentada no tratamento

das restrições de desigualdade. É um método não factível indicado para ser usado em planejamento da operação. Na implementação computacional foram incluídos os taps dos transformadores melhorando assim, consideravelmente o tratamento da parte reativa do problema. O programa do fluxo de carga ótimo aqui desenvolvido executa tanto o problema reativo como o ativo/reativo.

A grande vantagem do método DUAL-NEWTON sobre os demais está na manipulação automática das restrições de desigualdade, proporcionada pela função Lagrangeana Aumentada. Poder-se-ia ainda citar, a boa convergência proporcionada pelo método de Newton. Quanto à implementação computacional, a facilidade de manusear os taps dos transformadores e de trabalhar tanto com o caso reativo como com o caso ativo/reativo está demonstrado nos resultados. Verificou-se o potencial de resolução do método pela solução inicial não factível usada nos testes.

Os métodos apresentados no capítulo II foram escolhidos para facilitar o entendimento da técnica utilizada neste trabalho e servir de suporte conceitual à sua formulação. O método de DOMMEL e TINNEY [3], 1968, foi estudado pelo seu contributo histórico, pois foi o primeiro a resolver o problema do fluxo de carga ótimo. Os autores estenderam os trabalhos de fluxo de carga com o método de Newton para o fluxo de carga ótimo. Eles propõem o método do gradiente reduzido para resolver o problema. Tal método consiste de um algoritmo de passo descendente aplicado ao subespaço tangente das equações não lineares do fluxo de carga.

é um método no qual após mudanças nas variáveis de controle, as equações do fluxo de carga são resolvidas pelo método de Newton. As restrições de desigualdade são tratadas por projeção, variáveis de controle, ou penalidades, variáveis dependentes ou funcionais. O método tem uma eficiência de primeira ordem para a minimização da função objetivo. A limitação do método faz-se presente na determinação do passo nas variáveis de controle.

Sasson e outros [6], 1973, aplicaram ao problema o método de penalidades. É um método não factível de segunda ordem que minimiza a cada iteração a função objetivo que é aumentada pelas penalidades quadráticas de todas as restrições de igualdade e desigualdade. Este método não obteve sucesso devido ao mau condicionamento da matriz Hessiana com o aumento dos fatores de penalidades.

D.H.Sun e outros [7], 1984, tentaram solucionar o problema resolvendo diretamente as condições de otimalidade de Kuhn - Tucker pelo método de Newton, portanto um método Lagrangeano de segunda ordem. Esse método encontra grande dificuldade para a determinação das restrições "binding".

Finalmente, estudou-se o método da Lagrangeana Aumentada, proposto por Santos [14], 1988. Neste trabalho o autor propõe o uso da função Lagrangeana Aumentada, tratando todas as restrições através de um método dual. As restrições, igualdade e

desigualdade, são associadas à variáveis duais e a fatores de penalidades quadráticos. Esse método exige um grande número de iterações para a convergência. Verifica-se também que o aumento dos fatores de penalidades pode deixar a matriz Hessiana mau condicionada.

No capítulo III realiza-se uma apresentação dos métodos da Lagrangeana Aumentada e de Newton, cuja aplicação ao problema do fluxo de carga ótimo foi discutida no capítulo II. Aproveitando as características relevantes de cada método propõe-se o método DUAL-NEWTON.

No capítulo IV o problema do fluxo de carga ótimo é formulado de modo a ser resolvido pelo método DUAL-NEWTON. A estrutura da matriz Hessiana é discutida e um exemplo explicativo é mostrado. São apresentados algoritmos de formação do vetor gradiente e da matriz Hessiana, usados na implementação computacional. Um diagrama de blocos é apresentado para orientar o procedimento de implementação computacional do método proposto.

No capítulo V são apresentados os resultados de vários testes realizados com o método proposto. Este foi aplicado a um sistema de 3 barras [3] a fim de que sua convergência fosse verificada. Os demais testes foram realizados com os sistemas AEP30 e IEEE118 sendo seus resultados comparados com o método da Lagrangeana Aumentada e com o Fluxo de Carga Newton-Raphson. Assim o potencial do método tornou-se possível de ser avaliado.

CAPITULO II

ALGUMAS SOLUÇÕES DO FLUXO DE CARGA ÓTIMO

Desde a publicação do trabalho de CARPENTIER [2] em 1962 o problema do fluxo de carga ótimo vem sendo intensamente pesquisado. Mas, devido à característica não linear e à complexidade, até o presente momento, poucos são os métodos que resolvem o problema. Neste capítulo são apresentados alguns métodos da programação não linear aplicados na resolução do fluxo de carga ótimo. Os métodos de solução aqui apresentados representam algumas das mais importantes contribuições até o presente, além de formarem uma base consistente para o desenvolvimento do método proposto neste trabalho.

II.1. MODELO DO FLUXO DE CARGA ÓTIMO

No fluxo de carga ótimo deseja-se encontrar um ponto de operação do sistema elétrico de potência onde uma função objetivo seja otimizada e um conjunto de restrições de igualdade e desigualdade sejam satisfeitas.

O modelo do fluxo de carga ótimo é formulado a partir do modelo do fluxo de carga. O cálculo do fluxo de carga é realizado a partir de uma base de dados formada pelos parâmetros da rede e por um conjunto de variáveis previamente especificadas. No modelo do fluxo de carga as barras são classificadas da seguinte maneira:

$$\text{barras de geração e de compensação de reativos} \left\{ \begin{array}{l} \text{dados} \left\{ \begin{array}{l} P, \text{ potência ativa} \\ V, \text{ magnitude da tensão} \end{array} \right. \\ \text{incógnitas} \left\{ \begin{array}{l} \theta, \text{ ângulo da tensão} \\ Q, Q^{\min} \leq Q \leq Q^{\max}, \text{ potência reativa} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (\text{II.1})$$

$$\text{barras de carga} \left\{ \begin{array}{l} \text{dados} \left\{ \begin{array}{l} P, \text{ potência ativa} \\ Q, \text{ potência reativa} \end{array} \right. \\ \text{incógnitas} \left\{ \begin{array}{l} V, V^{\min} \leq V \leq V^{\max}, \text{ magnitude tensão} \\ \theta, \text{ ângulo da tensão} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (\text{II.2})$$

$$\begin{array}{l} \text{barra de referência} \\ \text{e de folga} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{dados} \left\{ \begin{array}{l} V, \text{ magnitude da tensão} \\ \theta, \text{ ângulo da tensão} \end{array} \right. \\ \\ \text{incógnitas} \left\{ \begin{array}{l} P, P^{\min} \leq P \leq P^{\max}, \text{ potência} \\ , \phantom{P^{\min} \leq P \leq P^{\max}}, \text{ ativa} \\ Q, Q^{\min} \leq Q \leq Q^{\max}, \text{ potência} \\ , \phantom{Q^{\min} \leq Q \leq Q^{\max}}, \text{ reativa} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (II.3)$$

O objetivo do fluxo de carga é determinar a tensão e o ângulo de todas as barras da rede e os taps dos transformadores a partir dos quais as outras quantidades são calculadas.

No fluxo de carga ótimo as restrições de geração de potência ativa e magnitudes de tensão, são relaxadas e um critério de desempenho é otimizado através de uma função objetivo. Assim, este problema apresenta restrições do tipo:

$$\text{barras de geração} \left\{ \begin{array}{l} P^{\min} \leq P \leq P^{\max} \\ Q^{\min} \leq Q \leq Q^{\max} \\ V^{\min} \leq V \leq V^{\max} \end{array} \right. \quad (II.4)$$

$$\text{barras de compensação} \left\{ \begin{array}{l} P - P^{\text{esp}} = 0 \\ Q^{\min} \leq Q \leq Q^{\max} \\ V^{\min} \leq V \leq V^{\max} \end{array} \right. \quad (II.5)$$

$$\text{barras de carga} \quad \begin{cases} P - P^{\text{esp}} = 0 \\ Q - Q^{\text{esp}} = 0 \\ V^{\min} \leq V \leq V^{\max} \end{cases} \quad (11.6)$$

$$\text{barra de referência} \quad \begin{cases} P^{\min} \leq P \leq P^{\max} \\ Q^{\min} \leq Q \leq Q^{\max} \\ V^{\min} \leq V \leq V^{\max} \\ \theta = 0 \end{cases} \quad (11.7)$$

$$\text{transformadores} \quad \begin{cases} TAP^{\min} \leq TAP \leq TAP^{\max} \\ |P_{\text{fluxo}}| \leq P^{\text{limite}} \\ Q_{\text{fluxo}}^{\min} \leq Q_{\text{fluxo}} \leq Q_{\text{fluxo}}^{\max} \end{cases} \quad (11.8)$$

$$\text{linhas de transmissão} \quad \begin{cases} |P_{\text{fluxo}}| \leq P^{\text{limite}} \\ Q_{\text{fluxo}}^{\min} \leq Q_{\text{fluxo}} \leq Q_{\text{fluxo}}^{\max} \end{cases} \quad (11.9)$$

A escolha da função objetivo depende da aplicação do fluxo de carga ótimo. Pode-se citar alguns exemplos de função objetivo como:

- Custo de geração;
- Perdas ativas na transmissão;
- Erros nas variáveis de controle do sistema ou um outro tipo de critério de desempenho elétrico.

A formulação do problema do fluxo de carga ótimo, através de um problema de otimização, é feita de acordo com o método de resolução, como será visto nos métodos apresentados a seguir.

II.2. MÉTODO DE DOMMEL - TINNEY [3]

Pode-se considerar o trabalho de Dommel-Tinney como um dos mais importantes. Eles estenderam o método de fluxo de carga Newton ao fluxo de carga ótimo. Dommel e Tinney formularam o problema do fluxo de carga ótimo considerando duas possibilidades de função objetivo. Para o problema do fluxo de carga ótimo ativo e reativo consideraram como função objetivo o custo de geração e para o problema do fluxo de carga ótimo reativo consideraram como função objetivo as perdas de potência ativa ocorridas na transmissão.

Eles dividiram as variáveis em três grupos, definindo os vetores $\underline{x}$, $\underline{u}$ e $\underline{y}$:

$\underline{x}$ - formado pelas variáveis dependentes nas restrições de igualdade;

$$\underline{x} = \begin{cases} \theta, & \text{nas barras de carga, de geração e} \\ & \text{de compensação de reativos} \\ V, & \text{nas barras de carga} \end{cases} \quad (\text{II.10})$$

$\underline{u}$ - formado pelas variáveis de controle;

$$\underline{u} = \begin{cases} V, & \text{nas barras de geração, de controle} \\ & \text{de reativos e de referência angular} \\ P, & \text{nas barras de geração no fluxo de} \\ & \text{carga ótimo ativo e reativo} \\ t, & \text{tap dos transformadores} \end{cases} \quad (\text{II.11})$$

$\underline{y}$ - formado pelas variáveis especificadas;

$$\underline{y} = \begin{cases} \theta, & \text{na barra de referência angular} \\ P, & \text{nas barras de carga e de controle} \\ & \text{de reativos e no caso do fluxo de} \\ & \text{carga ótimo reativo nas barras} \\ & \text{de geração} \\ Q, & \text{nas barras de carga} \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

O problema de fluxo de carga ótimo é formulado como:

$$(P) \quad \begin{cases} \min & f(\underline{x}, \underline{u}) \\ \text{s.a} & \underline{g}(\underline{x}, \underline{u}, \underline{y}) = \underline{0} \\ & \underline{h}(\underline{x}, \underline{u}) \leq \underline{0} \end{cases} \quad (\text{II.13})$$

onde $\underline{g}(\underline{x}, \underline{u}, \underline{y}) = \underline{0}$ são as equações do fluxo de carga.

A desigualdade representa as restrições nas variáveis de controle, dependentes e funcionais dadas respectivamente por:

$$\begin{aligned}
\underline{u}^{\min} &\leq \underline{u} \leq \underline{u}^{\max} \\
\underline{x}^{\min} &\leq \underline{x} \leq \underline{x}^{\max} \\
\underline{Q}^{\min} &\leq \underline{Q} \leq \underline{Q}^{\max}
\end{aligned}
\tag{II.14}$$

Neste método o processo é iniciado em um ponto $\{\underline{u}^0, \underline{x}^0\}$ e a variável $\underline{u}$ é corrigida iterativamente até que, através de um critério pré-estabelecido, o processo seja interrompido.

Dado um valor para $\underline{u}$ a equação

$$g(\underline{x}, \underline{u}, \underline{y}) = 0 \tag{II.15}$$

é resolvida em $\underline{x}$ pelo método de Newton-Raphson, ou seja um programa de fluxo de carga é executado. As restrições de desigualdade nas variáveis de controle $\underline{u}$ são tratadas por projeção. O passo nas componentes do vetor $\underline{u}$ é dado por:

$$\underline{u}^{p+1} = \begin{cases} \underline{u}^{\max}, & \underline{u}^p + \Delta \underline{u}^p \geq \underline{u}^{\max} \\ \underline{u}^{\min}, & \underline{u}^p + \Delta \underline{u}^p \leq \underline{u}^{\min} \\ \underline{u}^p + \Delta \underline{u}^p, & \underline{u}^{\min} \leq \underline{u}^p + \Delta \underline{u}^p \leq \underline{u}^{\max} \end{cases} \tag{II.16}$$

As restrições de desigualdade funcionais são tratadas por penalidades. A medida que violam seus limites, as restrições são incorporadas à função objetivo através de um termo de penalidades. A função objetivo é então, a cada passo, redefinida como:

$$f_v(\underline{x}, \underline{u}) = f(\underline{x}, \underline{u}) + \frac{1}{2} \sum_j \begin{cases} w_j h_j^2(\underline{x}, \underline{u}), & h_j(\underline{x}, \underline{u}) > 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (II.17)$$

onde

w_j - penalidades associadas as restrições h_j .

O método de Dommel-Tinney associa ao problema (P), a cada passo, um problema modificado (PM) dado por:

$$(PM) \begin{cases} \min f_v(\underline{x}, \underline{u}) \\ \text{s.a. } \underline{g}(\underline{x}, \underline{u}, \underline{v}) = \underline{0} \end{cases} \quad (II.18)$$

A função Lagrangeana associada ao problema modificado é da forma:

$$L(\underline{x}, \underline{u}, \underline{\lambda}) = f_v(\underline{x}, \underline{u}) + \underline{\lambda}^t \cdot \underline{g}(\underline{x}, \underline{u}, \underline{v}) \quad (II.19)$$

As condições necessárias de otimalidade do (PM) são dadas por:

$$\frac{\partial L}{\partial \underline{x}} = \frac{\partial f_v}{\partial \underline{x}} + \left[\frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{x}} \right]^t \cdot \underline{\lambda} = \underline{0} \quad (II.20)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \underline{u}} = \frac{\partial f_v}{\partial \underline{u}} + \left[\frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{u}} \right]^t \cdot \underline{\lambda} = \underline{0} \quad (II.21)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \underline{\lambda}} = \left[\underline{g}(\underline{x}, \underline{u}, \underline{v}) \right] = \underline{0} \quad (II.22)$$

O gradiente reduzido de f_v em relação a $\underline{u}$ é dado por:

$$\nabla_{\underline{u}} L = - \frac{\partial L}{\partial \underline{u}} \quad (II.23)$$

e o cálculo desse gradiente é feito através dos passos:

- a. resolve-se a equação (II.22) em $\underline{x}$ pelo método de Newton Raphson (fluxo de carga);
- b. resolve-se a equação (II.20) em $\underline{\lambda}$;
- c. substitui-se $\underline{u}$, $\underline{x}$ e $\underline{\lambda}$ em (II.21) obtendo-se o gradiente reduzido.

O passo na variável $\underline{u}$ é então dado na direção de maior decréscimo de f_v , ou seja, é definido como:

$$\Delta \underline{u} = - c \cdot \frac{\partial L(\underline{x}, \underline{u})}{\partial \underline{u}} \quad (II.24)$$

Uma das dificuldades deste método é selecionar o passo "c" no cálculo de $\Delta \underline{u}$. Para valores pequenos de "c" a convergência é assegurada mas o processo pode levar a um número excessivo de iterações. Para valores grandes de "c" ocorrem oscilações em torno da solução e a convergência do problema não é assegurada. A seguir é descrita uma maneira alternativa de se calcular "c" para eliminar este problema.

PASSO DE GRADIENTE ÓTIMO

As dificuldades vistas são contornadas adotando-se um passo de gradiente ótimo, onde o parâmetro "c" é determinado através de uma busca unidimensional na direção do gradiente reduzido. Nesta direção, a função objetivo passa a depender apenas do parâmetro "c", ou seja,

$$\tilde{f}_v(c) = f_v(\underline{x}, \underline{u}^v + \Delta \underline{u}^v) \quad (II.25)$$

que é representada graficamente na figura (II.1).

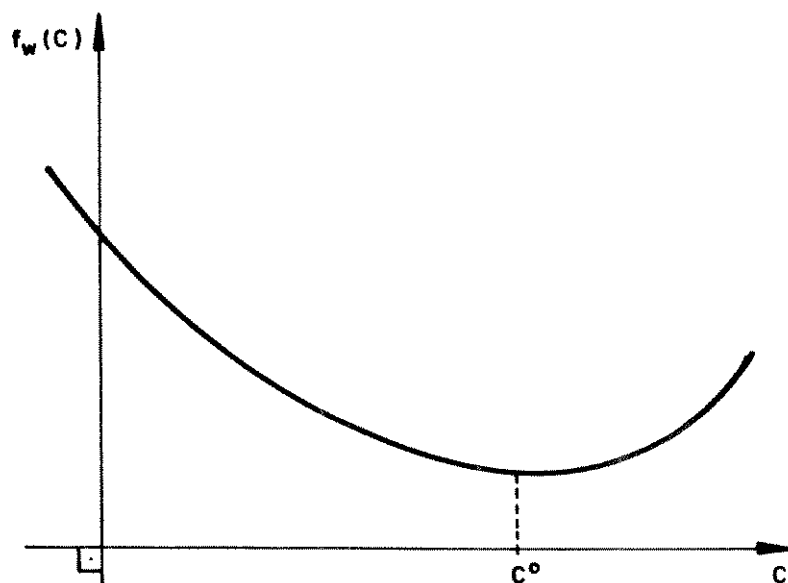


Figura (II.1) - Função objetivo em uma dada direção

Uma estimativa para c^0 é feita aproximando-se $\tilde{f}_v(c)$ por uma função quadrática ou cúbica. Este processo é computacionalmente oneroso pois exige o cálculo do fluxo de carga nos passos exploratórios de "c", necessário para a interpolação quadrática ou cúbica.

Ainda são discutidos, neste trabalho, outros métodos para o cálculo de $\underline{u}$ como o da Hessiana aproximada e das tangentes paralelas.

A idéia básica do método Dommel-Tinney, qualquer que seja o procedimento para o cálculo de $\underline{u}$ é dada pelo diagrama de bloco da figura (II.2).

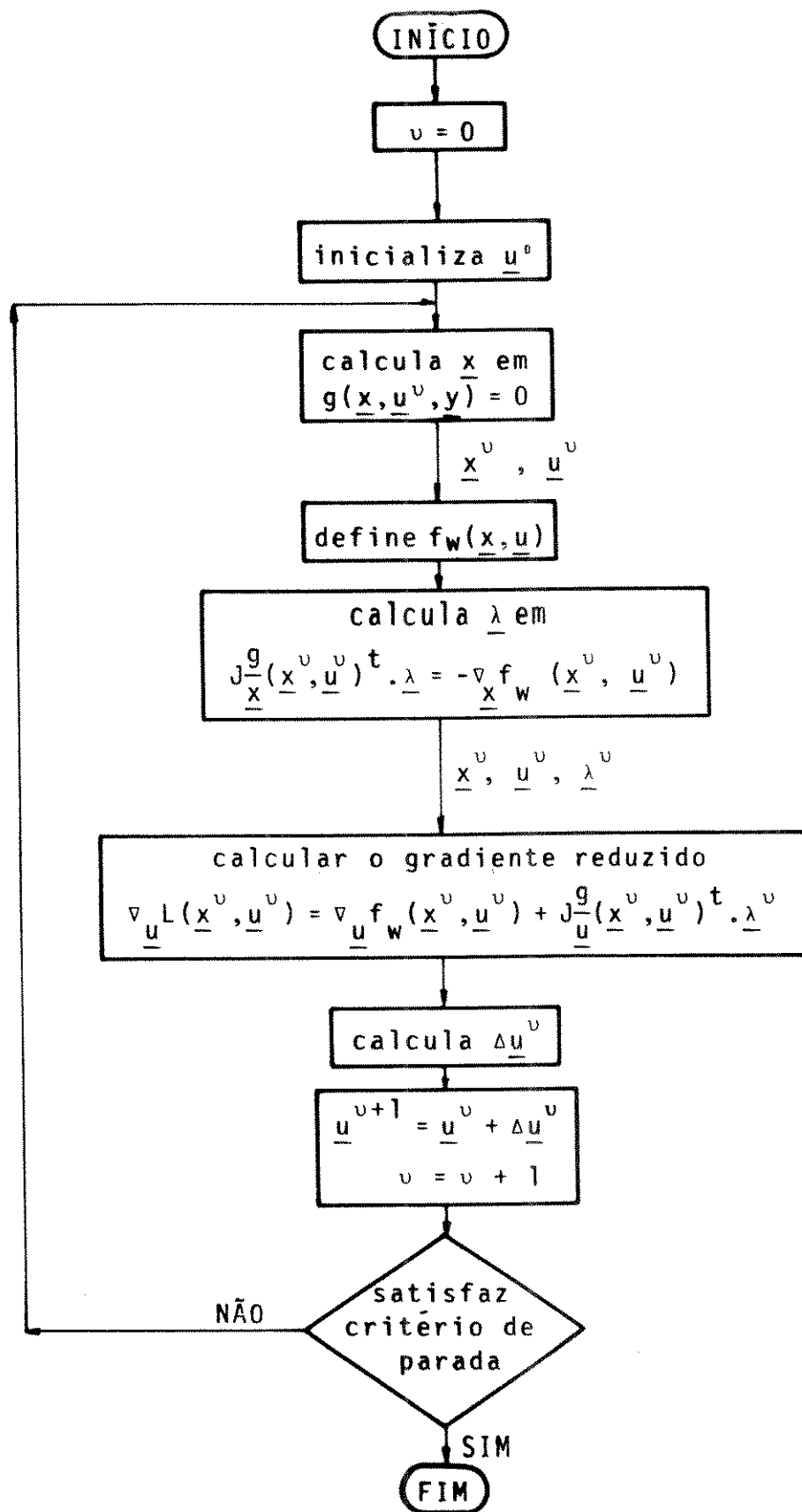


Figura (II.2) - Diagrama de blocos do método de Dommel - Tinney

II.3. MÉTODO DE PENALIDADES Sasson, Vitoria e Aboytes [6]

A solução do fluxo de carga ótimo através do método de penalidades foi proposta por Sasson, Vitoria e Aboytes [6]. Neste método todas as restrições são tratadas através de termos de penalidades que são incorporadas à função objetivo.

O problema do fluxo de carga ótimo é formulado como

$$(P) \quad \begin{cases} \min & f(\underline{x}) \\ \text{s.a} & \underline{g}(\underline{x}) = \underline{0} \\ & \underline{h}(\underline{x}) \leq \underline{0} \end{cases} \quad (\text{II.26})$$

onde

$\underline{x} = (\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V})$ - tap dos transformadores,
ângulos e magnitudes das tensões
nodais exceto na barra de
referência angular;
 $\underline{g}(\underline{x}) = \underline{0}$ - representa todas as restrições de
igualdade;
 $\underline{h}(\underline{x}) \leq \underline{0}$ - representa todas as restrições de
desigualdade.

Ao problema (P) é associado um problema de otimização irrestrito onde todas as restrições, igualdades e desigualdades, de (P) são consideradas como termos de penalidades. Esse problema irrestrito é definido como

$$(P) \left\{ \begin{array}{l} \min \\ \underline{x} \end{array} F(\underline{x}) \right. \quad (II.27)$$

onde:

$$F(\underline{x}) = f(\underline{x}) + \frac{1}{2} \sum_{i \in I} w_i g_i^2(\underline{x}) + \frac{1}{2} \sum_{j \in J} v_j h_j^2(\underline{x}) \quad (II.28)$$

com penalidades

$$w_i > 0$$

e

$$v_j \left\{ \begin{array}{l} = 0, \quad h_j(\underline{x}) \leq 0 \\ > 0, \quad h_j(\underline{x}) > 0 \end{array} \right. \quad (II.29)$$

I - conjunto dos índices das restrições de igualdade.

J - conjunto dos índices das restrições de desigualdade.

A solução do problema irrestrito (II.27) é obtido pela minimização de uma seqüência de funções quadráticas pelas quais $F(\underline{x})$ é aproximada. A função $F(\underline{x})$, em torno do ponto $\underline{x}^p$, é aproximada por:

$$F(\underline{x}) = F(\underline{x}^p) + \left[\frac{\partial F}{\partial \underline{x}}(\underline{x}^p) \right]^t \cdot \Delta \underline{x} + \frac{1}{2} \Delta \underline{x}^t \cdot \left[\frac{\partial^2 F(\underline{x}^p)}{\partial \underline{x}^2} \right] \cdot \Delta \underline{x} \quad (II.30)$$

A condição necessária de mínimo da função quadrática aproximada é dada por:

$$\left[\frac{\partial^2 F(\underline{x}^v)}{\partial \underline{x}^2} \right] \cdot \Delta \underline{x}^v = - \left[\frac{\partial F(\underline{x})}{\partial \underline{x}} \right] \quad (\text{II.31})$$

onde:

$$\left[\frac{\partial^2 F(\underline{x}^v)}{\partial \underline{x}^2} \right] \quad - \text{matriz Hessiana da função de penalidades } F(\underline{x})$$

$$\left[\frac{\partial F(\underline{x})}{\partial \underline{x}} \right] \quad - \text{vetor gradiente da função de penalidades } F(\underline{x})$$

Após a solução de (II.31) a variável $\underline{x}$ é atualizada como:

$$\underline{x}^{v+1} = \underline{x}^v + \Delta \underline{x}^v \quad (\text{II.32})$$

A resolução da equação (II.31) e a atualização do ponto $\underline{x}$ são repetidos até que se obtenha um ponto factível com as restrições do problema original (P). As penalidades w_i e v_j variam ao longo do processo iterativo.

Neste método a matriz Hessiana exata é calculada passo a passo. A matriz Hessiana é esparsa e simétrica, possui termos não nulos correspondentes à vizinhança de 2ª ordem, e tem características de matriz de rede. Isso permite a utilização de técnicas específicas de armazenamento compacto e fatoração LDU [15].

Este método apresenta dificuldades com a parte reativa do problema pois a matriz Hessiana fica mau condicionada com o aumento das penalidades [10].

II.4. FLUXO DE CARGA ÓTIMO PELO MÉTODO DE NEWTON. - D. H. Sun e outros [7].

Este trabalho foi desenvolvido na ESCA Corporation tendo como finalidade a obtenção de um método eficiente e robusto para problemas de grande porte. Os autores usaram o método de Newton que a cada iteração minimiza a função Lagrangeana L .

Ao problema (II.26) associa-se uma função Lagrangeana.

$$L = f(\underline{x}) + \sum_i \lambda_i g_i(\underline{x}) + \sum_{j \in \tau} \mu_j h_j(\underline{x}) + \alpha_j \quad (\text{II.33})$$

onde:

λ_i - multiplicadores de Lagrange associados às restrições de igualdade;

α_j - conjunto das restrições penalizadas;

μ_j - multiplicadores de Lagrange associados às restrições de desigualdade não penalizadas;

τ - conjunto das restrições de desigualdade, ativas na solução de (P), isto é:

$$\tau = \left\{ j / h_j(\underline{x}^{\text{solução}}) \geq 0 \right\} \quad (\text{II.34})$$

O método consiste em se determinar as condições necessárias de 1.^a ordem de otimalidade sobre a função Lagrangeana, que são representadas como

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \underline{x}} = \underline{0} \\ \frac{\partial L}{\partial \underline{\lambda}} = \underline{g}(\underline{x}) = \underline{0} \\ \frac{\partial L}{\partial \underline{\mu}} = \underline{h}_{\tau}(\underline{x}) = \underline{0} \end{array} \right. \quad (\text{II.35})$$

onde:

$\underline{h}_{\tau}(\underline{x})$ - vetor que contém as componentes de $\underline{h}(\underline{x})$ correspondente as restrições ativas na solução de (P).

A solução de (II.35) é obtida através do método de Newton pela equação

$$\left[\begin{array}{c|c} H & J^L \\ \hline J & 0 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \Delta \underline{x} \\ \Delta \underline{\lambda} \\ \Delta \underline{\mu} \end{array} \right] = - \left[\begin{array}{c} \nabla_{\underline{x}} L \\ \nabla_{\underline{\lambda}} L \\ \nabla_{\underline{\mu}} L \end{array} \right] \quad (\text{II.36})$$

onde:

H - Hessiana da função Lagrangeana em relação a $\underline{x}$.

J - Hessiana da função Lagrangeana em relação a $\underline{x}$ e λ ou μ . Quando $J = \frac{\partial^2 L}{\partial \underline{x} \partial \lambda}$ tem-se termos da Jacobiana do fluxo de carga por Newton-Raphson.

$\nabla_{\underline{x}} L$ - subvetor gradiente da função Lagrangeana em relação a $\underline{x}$.

$$\nabla_{\underline{\lambda}} L = \underline{g}(\underline{x})$$

$$\nabla_{\underline{\mu}} L = \underline{h}_{\tau}(\underline{x})$$

Com as atualizações

$$\begin{aligned}\underline{x}^{v+1} &= \underline{x}^v + \Delta \underline{x}^v \\ \underline{\lambda}^{v+1} &= \underline{\lambda}^v + \Delta \underline{\lambda}^v \\ \underline{\mu}^{v+1} &= \underline{\mu}^v + \Delta \underline{\mu}^v\end{aligned}\tag{II.37}$$

verifica-se as variáveis ou funções que violam ou deixam de violar os seus limites. As variáveis ou funções violadas passam a ser restrições de igualdade, restrições ativas, no seu limite violado. A cada nova "restrição de igualdade", restrição "binding", um multiplicador de Lagrange, μ , é associado. Assim, a estrutura da matriz Hessiana é modificada.

Os autores resolveram o problema usando uma formulação desacoplada. A idéia do desacoplamento é a mesma usada

no método desacoplado de Newton, $P\theta$ e QV .

A grande dificuldade do método é a determinação eficiente das restrições "binding", ou seja, do conjunto τ . Algumas estratégias para encontrar as restrições "binding" são sugeridas como:

- criar uma função mérito e com uma busca unidimensional determinar o passo na atualização das variáveis.
- Atualizar as variáveis por tentativas.
- e outras.

II.5. MÉTODO DA LAGRANGEANA AUMENTADA APLICADO AO FLUXO DE CARGA ÓTIMO. A. Santos Jr. [5].

Neste trabalho o autor propõe o uso da função Lagrangeana Aumentada, tratando todas as restrições através de um método dual. Todas as restrições, incluindo as equações do fluxo de carga são associadas às variáveis duais (multiplicadores de Lagrange) e termos de penalidades quadráticos.

O modelo do fluxo de carga ótimo utilizado é o mesmo definido em (II.26).

Ao problema (II.26) associa-se uma função Lagrangeana Aumentada definida como

$$\begin{aligned}
L_a = f(\underline{x}) + \sum_i \left[\lambda_i g_i(\underline{x}) + \frac{w_i}{2} g_i^2(\underline{x}) \right] + \\
+ \sum_j \left\{ \begin{array}{l} \mu_j h_j(\underline{x}) + \frac{v_j}{2} h_j^2(\underline{x}), \quad h_j(\underline{x}) \geq -\frac{\mu_j}{v_j} \\ -\frac{\mu_j^2}{2v_j}, \quad \text{caso contrário.} \end{array} \right. \quad (II.38)
\end{aligned}$$

onde:

w_i - penalidades associadas às restrições de igualdade;

v_j - penalidades associadas às restrições de desigualdade.

Neste método a função lagrangeana aumentada é minimizada para uma sequência

$$\lambda^k, \mu^k, \left\{ w_i, v_i \right\}^k, \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots$$

até que as condições de Kuhn-Tucker, para o problema (P), estejam satisfeitas.

Este método apresenta uma regra intrínseca para o passo nas variáveis duais, dadas por:

$$\lambda_i^{k+1} = \lambda_i^k + w_i g_i(\underline{x}) \quad (II.39)$$

e

$$\mu_j^{k+1} = \begin{cases} \mu_j^k + v_j h_j(\underline{x}) & , \quad h_j(\underline{x}) \geq -\frac{\mu_j}{v_j} \\ 0 & , \quad \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (\text{II.40})$$

A minimização da função lagrangeana aumentada é feita através do método de Newton pela equação

$$\nabla^2 La(\underline{x}) \cdot \nabla \underline{x} = -\nabla La(\underline{x}) \quad (\text{II.41})$$

onde:

$\nabla^2 La(\underline{x})$ - matriz Hessiana de $La(\underline{x})$;

$\nabla La(\underline{x})$ - vetor gradiente de $La(\underline{x})$.

O autor enfatiza que os aspectos de esparsidade da matriz Hessiana destacados em [7, 10] não comprometem o desempenho computacional do método. A resolução da equação (II.41) é realizada fazendo uso das técnicas de armazenamento compacto e fatoração L.D.U. A idéia básica do método é dada pelo diagrama de blocos da figura (II.3).

Este método exige um certo cuidado com o crescimento dos fatores de penalidades. Esse crescimento torna o passo nas variáveis duais mais efetivos [5,12]. Por outro lado, esse crescimento torna a matriz Hessiana mau condicionada dificultando a minimização da função Lagrangeana Aumentada. O aspecto crítico neste método é balancear o crescimento das penalidades levando em conta o compromisso dos efeitos provocados.

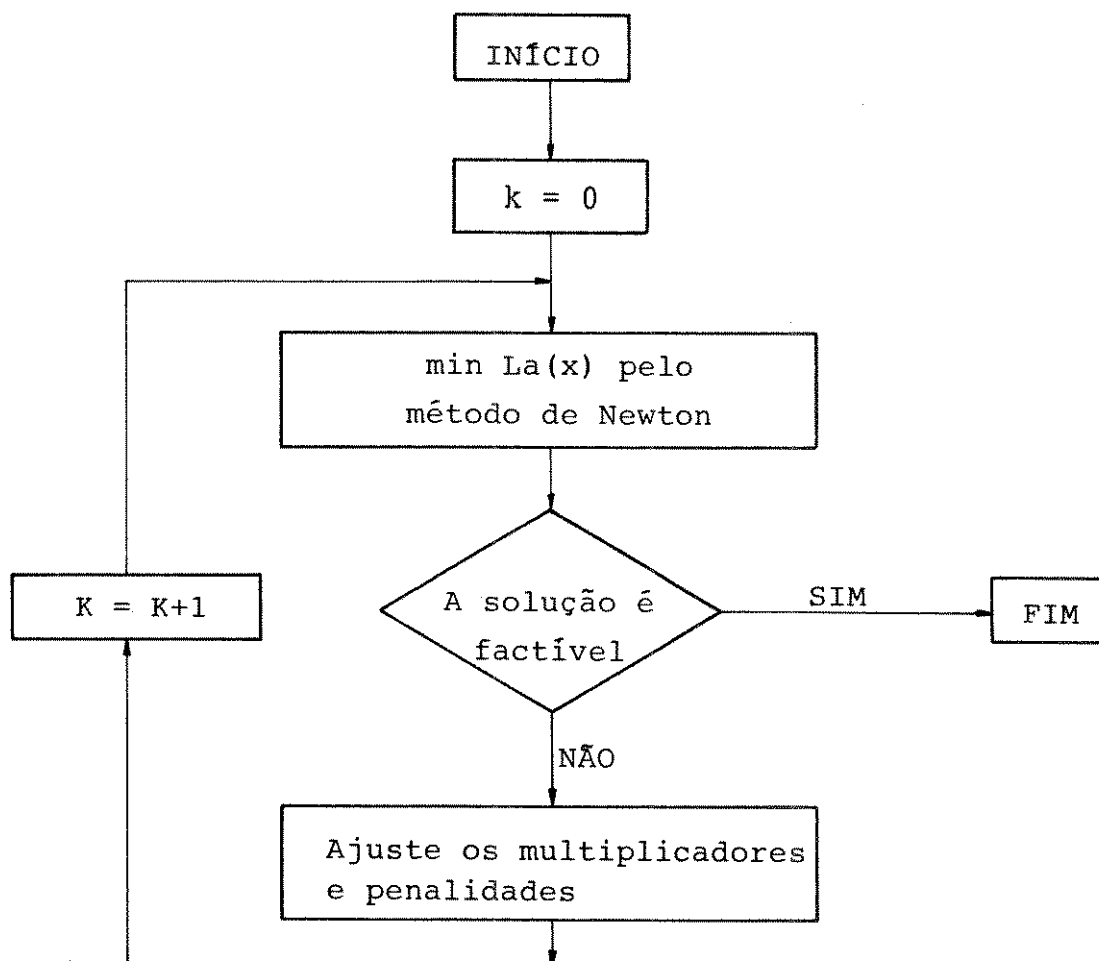


Figura (II.3) - Diagrama de blocos do método da Lagrangeana Aumentada

CAPÍTULO III

O MÉTODO DUAL-NEWTON A PARTIR DA LAGRANGEANA AUMENTADA E DO MÉTODO DE NEWTON

Neste capítulo são discutidos o método da Lagrangeana Aumentada e o Método de Newton. Em seguida é apresentado o método proposto neste trabalho para a solução do Fluxo de Carga Ótimo. Este método aproveita as vantagens do método de Newton no tratamento das restrições de igualdade e as vantagens da Lagrangeana Aumentada no tratamento das restrições de desigualdade. Isto é conseguido utilizando-se o método de Newton combinado com uma regra de atualização das variáveis duais, associadas as restrições de desigualdade, na imposição das condições necessárias de 1a. ordem. O problema não linear é colocado na forma:

$$(P) \quad \begin{cases} \text{minimizar} & f(\underline{x}) \\ \text{sujeito a} & \underline{g}(\underline{x}) = \underline{0} \\ & \underline{h}(\underline{x}) \leq \underline{0} \end{cases} \quad (III.1)$$

para o qual são discutidos os métodos.

III.1. O MÉTODO DA LAGRANGEANA AUMENTADA [5, 12, 16, 17, 18, 19]

O método da Lagrangeana Aumentada, conhecido também como método dos multiplicadores e penalidades, tem como grande motivação a possibilidade de se construir um subproblema irrestrito onde as restrições de desigualdade são consideradas somente quando estiverem ativas. O método pode ser visto como uma combinação do método de penalidades com o método dual. Os dois métodos trabalham juntos para eliminar muitas das desvantagens associadas a cada método quando utilizado individualmente.

III.1.1. A Função Lagrangeana Aumentada

Ao problema (P) dado em (III.1) associa-se o seguinte problema modificado

$$(PM) \left\{ \begin{array}{l} \text{minimizar } \left\{ f(\underline{x}) + \sum_i \frac{w_i}{2} g_i(\underline{x})^2 + \sum_j \frac{v_j}{2} [h_j(\underline{x}) + e_j]^2 \right\} \\ \text{s.a. } \begin{array}{l} \underline{g}(\underline{x}) = \underline{0} \\ \underline{h}(\underline{x}) + \underline{e} = \underline{0} \\ \underline{e} \geq \underline{0} \end{array} \end{array} \right. \quad (III.2)$$

A função Lagrangeana clássica associada ao problema (PM) relativamente as restrições de igualdade é definida como:

$$L = f(\underline{x}) + \sum_i \left[\lambda_i g_i(\underline{x}) + \frac{w_i}{2} g_i(\underline{x})^2 \right] + \\ + \sum_j \left\{ \mu_j [h_j(\underline{x}) + e_j] + \frac{v_j}{2} [h_j(\underline{x}) + e_j]^2 \right\} \quad (\text{III.3})$$

O mínimo de L em relação a variável de folga $e_j \geq 0$ é obtido analiticamente para os valores

$$\hat{e}_j = \max \left\{ 0, \tilde{e}_j \right\} \quad (\text{III.4})$$

onde

$$\left. \frac{\partial L}{\partial e_j} \right|_{\tilde{e}_j} = \mu_j + v_j [h_j(\underline{x}) + \tilde{e}_j] = 0 \quad (\text{III.5})$$

ou seja,

$$\tilde{e}_j = - \frac{\mu_j}{v_j} - h_j(\underline{x}) \quad (\text{III.6})$$

que substituída em (III.4) fornece

$$\hat{e}_j = \begin{cases} 0, & \text{se } h_j(\underline{x}) \geq - \frac{\mu_j}{v_j} \\ - \frac{\mu_j}{v_j} - h_j(\underline{x}), & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (\text{III.7})$$

A função Lagrangeana Aumentada associada ao

problema (III.1) definida por R.T. Rockafellar em [17,18], é obtida substituindo-se (III.7) em (III.3). Assim

$$L_a = f(\underline{x}) + \sum_i \lambda_i g_i(\underline{x}) + \frac{w_i}{2} g_i^2(\underline{x}) + \sum_j \left\{ \begin{array}{l} \mu_j h_j(\underline{x}) + \frac{v_j}{2} h_j(\underline{x})^2, \text{ se } h_j(\underline{x}) \geq -\frac{\mu_j}{v_j} \\ -\frac{\mu_j^2}{2v_j}, \text{ caso contrário.} \end{array} \right. \quad (\text{III.8})$$

III.1.2. Método de solução do problema (P)

O problema (P) é resolvido através da resolução de uma sequência de problemas irretritos dados por:

$$(PI)^k \left\{ \min L_a(\underline{x}, w^k, v^k, \lambda^k, \mu^k) \right. \quad (\text{III.9})$$

para

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

A minimização da Lagrangeana Aumentada (III.9) é efetuada de modo iterativo pelo método de Newton através da equação

$$\nabla^2 L_a \cdot \Delta \underline{x} = -\nabla L_a. \quad (\text{III.10})$$

A regra de atualização dos multiplicadores de Lagrange é estabelecida observando-se o gradiente de L_a dado por:

$$\nabla L^k = \nabla f(\underline{x}) + \sum_i \left[\lambda_i^k + w_i^k g_i(\underline{x}) \right] \nabla g_i(\underline{x}) + \quad (III.11)$$

$$+ \sum_j \left\{ \begin{array}{l} \left[\mu_j^k + v_j^k h_j(\underline{x}) \right] \cdot \nabla h_j(\underline{x}) , \text{ se } h_j(\underline{x}) \geq - \frac{\mu_j^k}{v_j^k} \\ 0 , \text{ caso contrário} \end{array} \right.$$

a qual sugere a utilização da regra de atualização dada por

$$\lambda_i^{k+1} = \lambda_i^k + w_i^k g_i(\underline{x}) \quad (III.12)$$

$$\mu_j^{k+1} = \left\{ \begin{array}{l} \mu_j^k + v_j^k h_j(\underline{x}) , \text{ se } h_j(\underline{x}) \geq - \frac{\mu_j^k}{v_j^k} \\ 0 , \text{ caso contrário.} \end{array} \right. \quad (III.13)$$

III.1.3. Interpretação Geométrica

O método pode ser visualizado por uma análise de perturbação no problema de otimização [12, 20, 21]. Para uma simples interpretação geométrica do método o seguinte problema simplificado será considerado

$$(PS) \quad \left\{ \begin{array}{l} \min f(x) \\ \text{s.a. } h(x) \leq 0 \end{array} \right. \quad (III.14)$$

Uma família de problemas perturbados (PP) é associada com (PS) e representada por:

$$(PP) \begin{cases} \min f(x) \\ \text{s.a } h(x) \leq v \end{cases} \quad (III.15)$$

Associado a (PP) há uma função não crescente dada por:

$$t(v) = \min_x \left\{ f(x) \mid h(x) \leq v \right\} \quad (III.16)$$

A figura (III.1) no plano $[v; f(x)]$ ilustra a função perturbação em três situações: a- restrição ativa para um problema convexo; b- restrição ativa para um problema não convexo e c - restrição não ativa (com folga). A área hachurada representa a região factível de (PS).

III.1.3.1. Interpretação geométrica do método dual

Do problema (PS), com uma única restrição de desigualdade, associa-se a função Lagrangeana

$$L(x) = f(x) + \mu h(x) \quad (III.17)$$

com μ conhecido e satisfazendo

$$\mu \geq 0.$$

Em seguida resolve-se o problema Lagrangeano irrestrito

$$(PI) \min L(x).$$

Supondo-se constante o valor de $L(x)$ define-se a seguinte relação

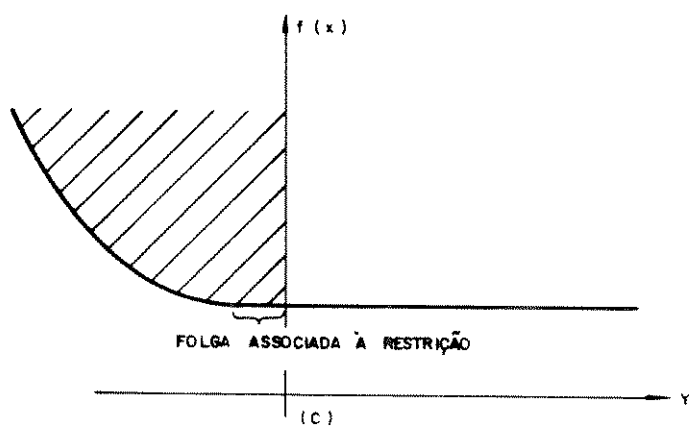
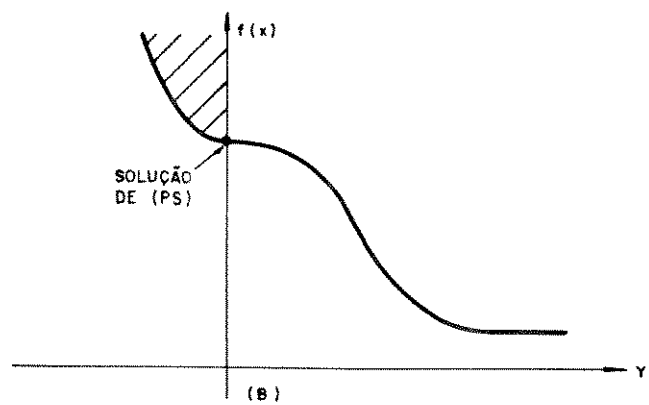
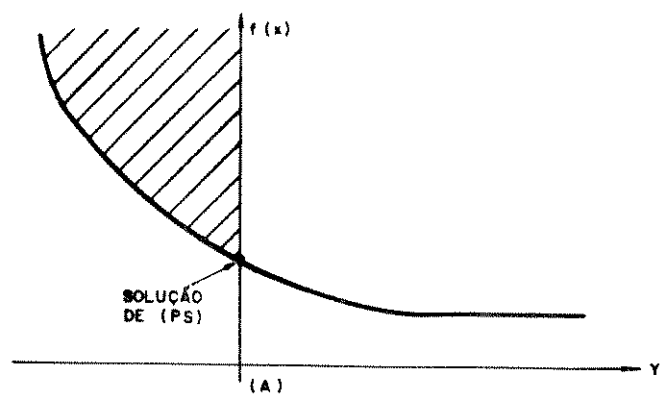


Figura (III.1) - Função perturbação da Lagrangeana Aumentada.
 a - restrição ativa para um problema convexo;
 b - restrição ativa para um problema não convexo;
 c - restrição com folga.

$$\text{constante} = z + \mu y \quad (\text{III.18})$$

onde

$$v = h(x)$$

$$z = f(x)$$

O processo de minimização de $L(x)$ corresponde a uma sequência de pontos no plano $[v ; z]$ sobre retas paralelas, a qual é representada na figura (III.2). A solução corresponde à reta que tangencia a curva $t(v)$. No caso convexo existe um μ^* , que permite a reta tangenciar $t(v)$ em $y = 0$. Para o caso não convexo, devido ao gap de dualidade, isto não é garantido. Neste caso o método dual pode falhar.

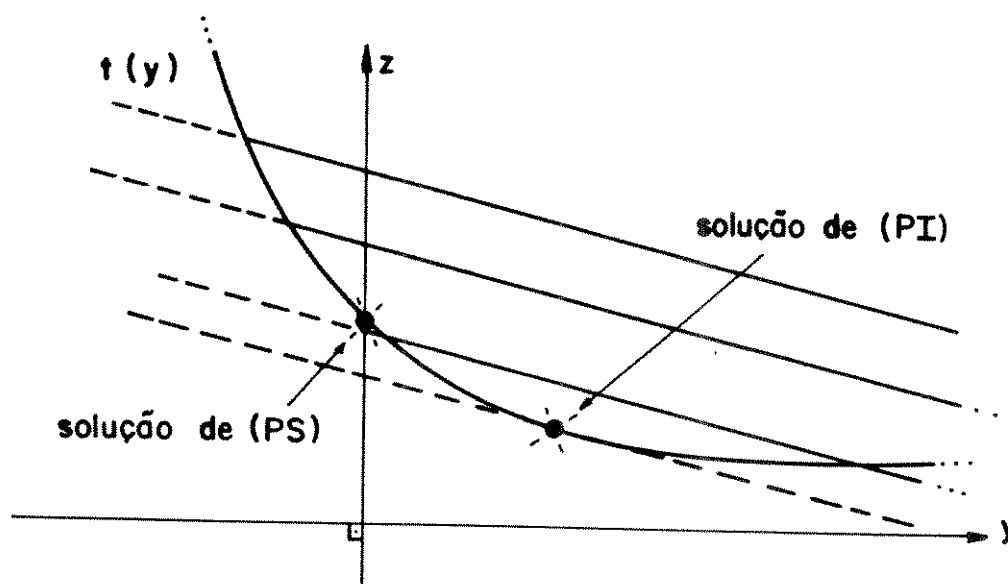


Figura (III.2) - Interpretação geométrica do método dual.

III.1.3.2. Interpretação geométrica do método de penalidades

A função penalidade associada com o problema (P5) pode ser definida como:

$$p(x) = f(x) + \begin{cases} \frac{\nu}{2} h^2(x), & \text{se } h(x) > 0 \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (\text{III.19})$$

Supondo constante o valor de $p(x)$ e fazendo $y = h(x)$ e $z = f(x)$, a seguinte relação é definida

$$\text{constante} = z + \begin{cases} \frac{\nu}{2} y^2, & \text{se } y > 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{III.20})$$

A convexidade da parábola $(z + \frac{\nu}{2} y^2 = \text{constante})$ depende do fator de penalidade. O seu aumento leva a parábola a tangenciar a curva $t(y)$ próximo a solução de (P5) a qual é representada na figura (III.3). Assim, contrário ao método dual, este método não apresenta impedimento "teórico" para tratar de problemas não convexos.

Mas, a solução de (P5) exige um aumento constante no fator penalidade fazendo-o atingir valores muito elevados. Esta é a principal limitação do método, pois o aumento da penalidade torna a matriz Hessiana mau condicionada, isto é, alguns autovalores da matriz Hessiana tendem para o infinito.

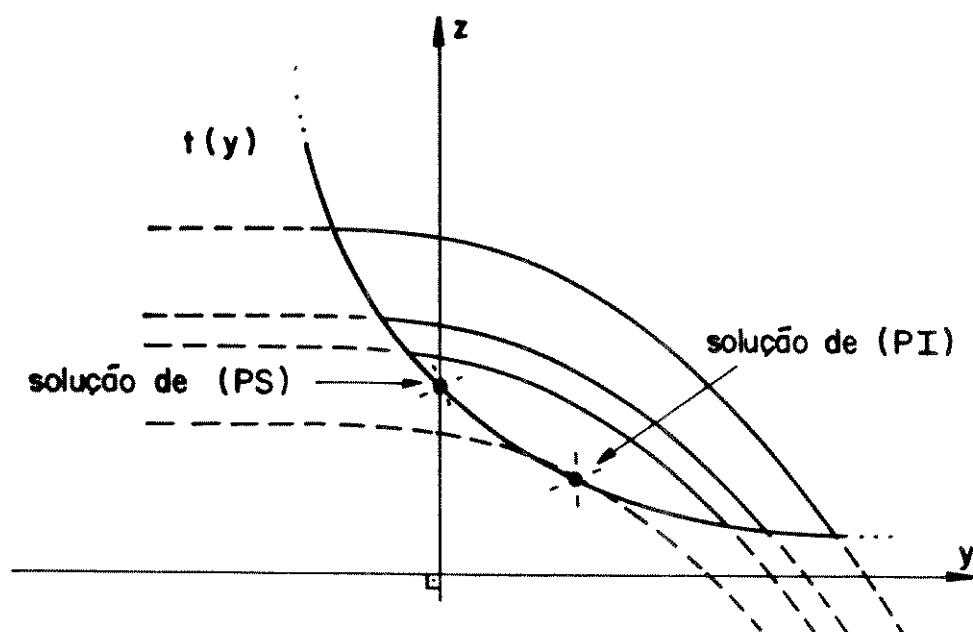


Figura (III.3) - Interpretação geométrica do método de penalidades

III.1.3.3. Interpretação geométrica do método da Lagrangeana Aumentada

Ao problema (PS), com uma única restrição de desigualdade, associa-se a função Lagrangeana Aumentada

$$L_a = f(x) + \begin{cases} \mu h(x) + \frac{\nu}{2} h^2(x) , & \text{se } h(x) \geq -\frac{\mu}{\nu} \\ -\frac{\mu^2}{2\nu} , & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{III.21})$$

Supondo-se constante o valor de La e fazendo $y = h(x)$ e $z = f(x)$, define-se a seguinte relação

$$\text{constante} = z + \begin{cases} \mu y + \frac{\nu}{2} y^2, & \text{se } y \geq -\frac{\mu}{\nu} \\ -\frac{\mu^2}{2\nu}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{III.22})$$

a qual é representada na figura (III.4)

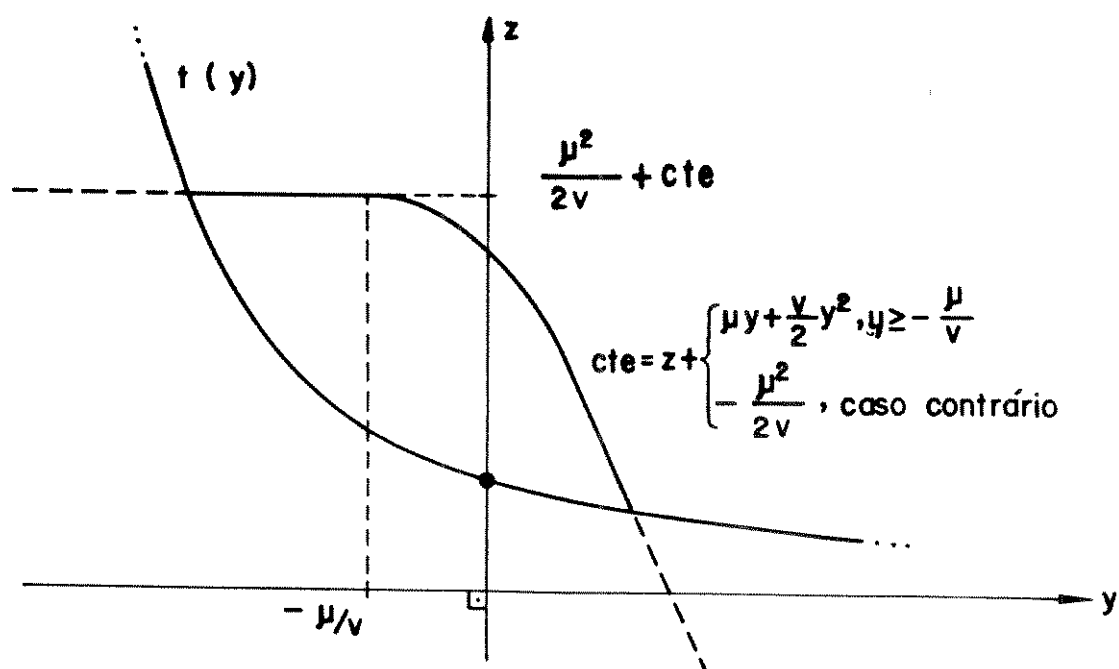


Figura (III.4) - A função Lagrangeana Aumentada com a função perturbação.

O processo de minimização da Lagrangeana Aumentada (La) corresponde a uma sequência de pontos no plano $\begin{bmatrix} y & z \end{bmatrix}$, cujo lugar geométrico são as curvas dadas em (III.22). A solução de (PI) corresponde à curva que tangencia $t(y)$. No caso de restrições ativas a solução $\hat{x}$ de um problema irrestrito (PI)

satisfaz

$$h(\hat{x}) \geq -\frac{\mu}{v}$$

que é ilustrado na figura (III.5).

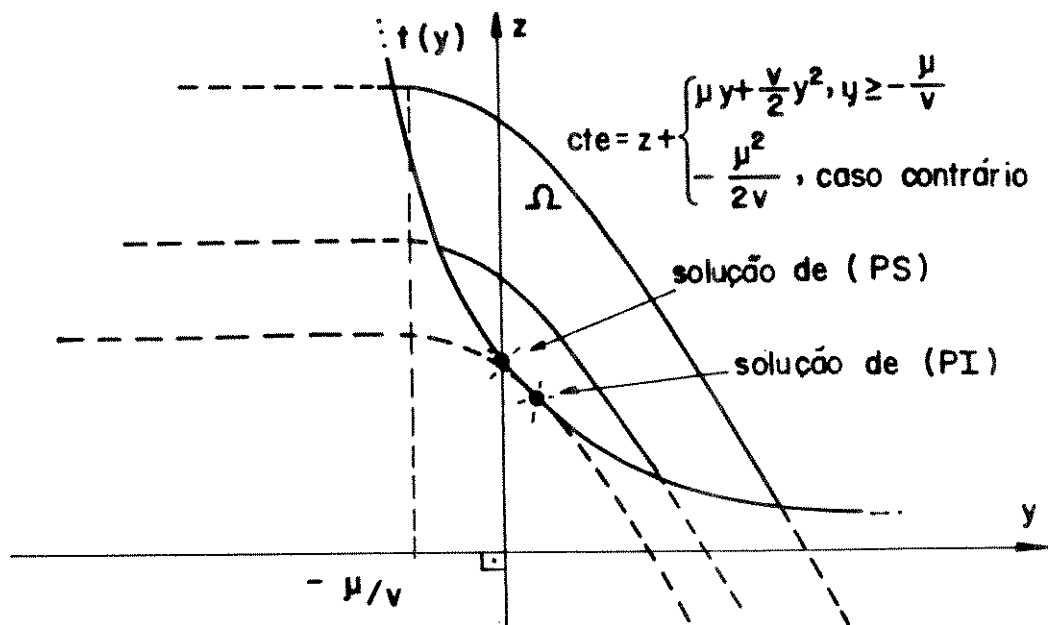


Figura (III.5) - Interpretação Geométrica do método da Lagrangeana Aumentada

Observa-se que neste caso a curva Ω tem uma mobilidade introduzida pelo termo linear. A mudança no multiplicador desloca a curva Ω para a esquerda ou para a direita. Assim o fator de penalidade não precisa tender a infinito, como no método de penalidades, para se obter a solução de (PS).

R. T. Rockafellar demonstra em [19] que, no caso de problemas convexos, as soluções de $(PI)^k$ convergem para a solução de (PS) para qualquer valor atribuído ao fator penalidade. D.P.Bertsekas demonstra em [22] que, no caso de problemas não convexos, existe um fator de penalidade mínimo v^* acima do qual a convergência do processo fica garantida. Então a convergência fica garantida desde de que $v \geq v^*$.

O método da Lagrangeana Aumentada exige um certo cuidado com o crescimento dos fatores de penalidades. Este crescimento torna o passo nas variáveis duais mais efetivo, mas torna a matriz Hessiana mau condicionada dificultando a minimização da função Lagrangeana Aumentada. A grande dificuldade neste método é balancear o crescimento das penalidades levando em conta o compromisso dos efeitos provocados. Além disto, tem-se a necessidade de se calibrar as penalidades de modo a se obter a convergência. O método exige um grande número de iterações para o processo convergir.

III.2. O MÉTODO DE NEWTON [7, 12]

Este método considera as condições necessárias de 1.^a ordem sobre um problema com restrições de igualdade.

A partir do problema (III.1) um problema modificado (PM) é definido

$$(PM) \quad \begin{cases} \text{minimizar} & f(\underline{x}) \\ \text{sujeito a} & \underline{g}(\underline{x}) = \underline{0} \\ & \underline{h}_{\tau}(\underline{x}) = \underline{0} \end{cases} \quad (III.25)$$

onde $\underline{h}_{\tau}(\underline{x})$ está definido na secção (II.4). A função Lagrangeana associada com (PM) é dada por:

$$L = f(\underline{x}) + \underline{\lambda}^t \underline{g}(\underline{x}) + \underline{\mu}^t \underline{h}_{\tau}(\underline{x}) \quad . \quad (III.26)$$

As condições necessárias de 1.^a ordem de otimalidade do problema (PM) são dadas por:

$$\begin{aligned} \nabla_{\underline{x}} L &= \underline{0} \\ \nabla_{\underline{\lambda}} L &= \underline{g}(\underline{x}) = \underline{0} \\ \nabla_{\underline{\mu}} L &= \underline{h}_{\tau}(\underline{x}) = \underline{0} \end{aligned} \quad (III.27)$$

Se o conjunto τ é conhecido ou o problema contém apenas restrições de igualdade as condições (III.27) também valem para o problema (III.1). No caso do fluxo de carga ótimo, este método foi aplicado [7] para uma sequência de resoluções das condições (III.27) pelo método de Newton durante a qual se estabelecem heurísticas para determinação de τ .

A equação básica do método de Newton é dada por:

$\nabla_{\underline{x}\underline{x}}^2 L$	$\nabla_{\underline{x}\underline{\lambda}}^2 L$	$\nabla_{\underline{x}\underline{\mu}}^2 L$
$\nabla_{\underline{\lambda}\underline{x}}^2 L$	0	0
$\nabla_{\underline{\mu}\underline{x}}^2 L$	0	0

$\Delta \underline{x}$
$\Delta \underline{\lambda}$
$\Delta \underline{\mu}$

 $= -$

$\nabla_{\underline{x}} L$
$\nabla_{\underline{\lambda}} L$
$\nabla_{\underline{\mu}} L$

(III.28)

A dimensão da parte hachurada da matriz da Hessiana modifica-se durante o processo devido às iterações para determinação das restrições "binding", ou seja, as tentativas para o conjunto τ se alteram durante o processo de otimização.

A maior dificuldade deste método é com a determinação eficiente e rápida das restrições "binding", representadas pelo conjunto τ (II.34).

III.3. O MÉTODO DUAL-NEWTON

A associação da função Lagrangiana Aumentada com o método de Newton foi chamada de método DUAL-NEWTON. Este aproveita as boas características de cada método quando utilizados individualmente. O método de Newton trata as restrições de igualdade enquanto a função Lagrangeana Aumentada atua sobre as restrições de desigualdade.

Para o estudo do método, associa-se ao problema (III.1) o seguinte problema modificado.

$$(PM) \left\{ \begin{array}{ll} \text{minimizar } f(\underline{x}) + \sum_j \frac{v_j}{2} [h_j(\underline{x}) + e_j]^2 & \\ \text{sujeito a } g(\underline{x}) = 0 & \\ h(\underline{x}) + \underline{e} = 0 & \\ \underline{e} \geq 0. & \end{array} \right. \quad (III.29)$$

Por um procedimento análogo ao descrito na secção (III.1), com excepção das penalidades nas restrições de igualdade, obtém-se a função Lagrangeana do problema (III.29) minimizada com relação a $\underline{e}$ que é dada por:

$$La = f(\underline{x}) + \sum_i \lambda_i g_i(\underline{x}) + \sum_j \left\{ \begin{array}{l} \mu_j h_j(\underline{x}) + \frac{v_j}{2} h_j(\underline{x})^2, \text{ se } h_j(\underline{x}) \geq -\frac{\mu_j}{v_j} \\ -\frac{\mu_j^2}{2v_j}, \text{ caso contrário.} \end{array} \right. \quad (III.30)$$

Esta função é uma combinação da Lagrangeana clássica relativa as restrições de igualdade com a Lagrangeana Aumentada relativa as restrições de desigualdade.

O problema original (P) é resolvido através de uma sequência de problemas irrestritos dados por:

$$(PI)^k \left\{ \begin{array}{l} \min_{\underline{x}, \underline{\lambda}} La(\underline{x}, \underline{\lambda}, \underline{\mu}^k, \underline{v}^k) \end{array} \right. \quad (III.31)$$

para

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

onde

- $\underline{\lambda}$ - vetor dos multiplicadores de Lagrange associado às restrições de igualdade;
- $\underline{\mu}^k$ - vetor dos multiplicadores de Lagrange associado às restrições de desigualdade;
- $\underline{v}^k$ - vetor das penalidades associadas às restrições de desigualdade.

Os problemas irrestritos são resolvidos impondo-se as condições necessárias de 1ª. ordem de otimalidade sobre a função L_a , ou seja,

$$\begin{aligned}\nabla_{\underline{x}} L_a &= \underline{0} \\ \nabla_{\underline{\lambda}} L_a &= \underline{0}\end{aligned}\tag{III.32}$$

III.3.1. O Método de Newton e a Atualização de $\underline{\mu}_j$ e $\underline{v}_j$

As condições de otimalidade (III.32) para os problemas irrestritos (PI) são calculadas pelo método de Newton através da equação matricial

$$\begin{bmatrix} \nabla_{\underline{x}\underline{x}}^2 La \\ \nabla_{\underline{\lambda}\underline{x}}^2 La \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla_{\underline{x}\underline{\lambda}}^2 La \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \underline{x} \\ \Delta \underline{\lambda} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \nabla_{\underline{x}} La \\ \nabla_{\underline{\lambda}} La \end{bmatrix} \quad (\text{III.33})$$

Após a solução de um problema irrestrito k , isto é, $\underline{x}$ e $\underline{\lambda}$ determinados, verifica-se a factibilidade do ponto $\underline{x}$. Caso esse ponto seja ainda não factível os multiplicadores e as penalidades associados com as restrições de desigualdade são atualizadas, pelas expressões

$$\mu_j^{k+1} = \begin{cases} \mu_j^k + v_j^k h_j(\underline{x}), & \text{se } h_j(\underline{x}) \geq -\frac{\mu_j^k}{v_j^k} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (\text{III.34})$$

$$v^{k+1} = \beta \cdot v^k \text{ para } \beta \geq 1. \quad (\text{III.35})$$

onde β é o fator de incremento da penalidade.

III.3.2. Diagrama de blocos do método DUAL-NEWTON

Para uma melhor compreensão e utilização do método proposto, um diagrama de blocos simplificado foi apresentado na figura (III.6).

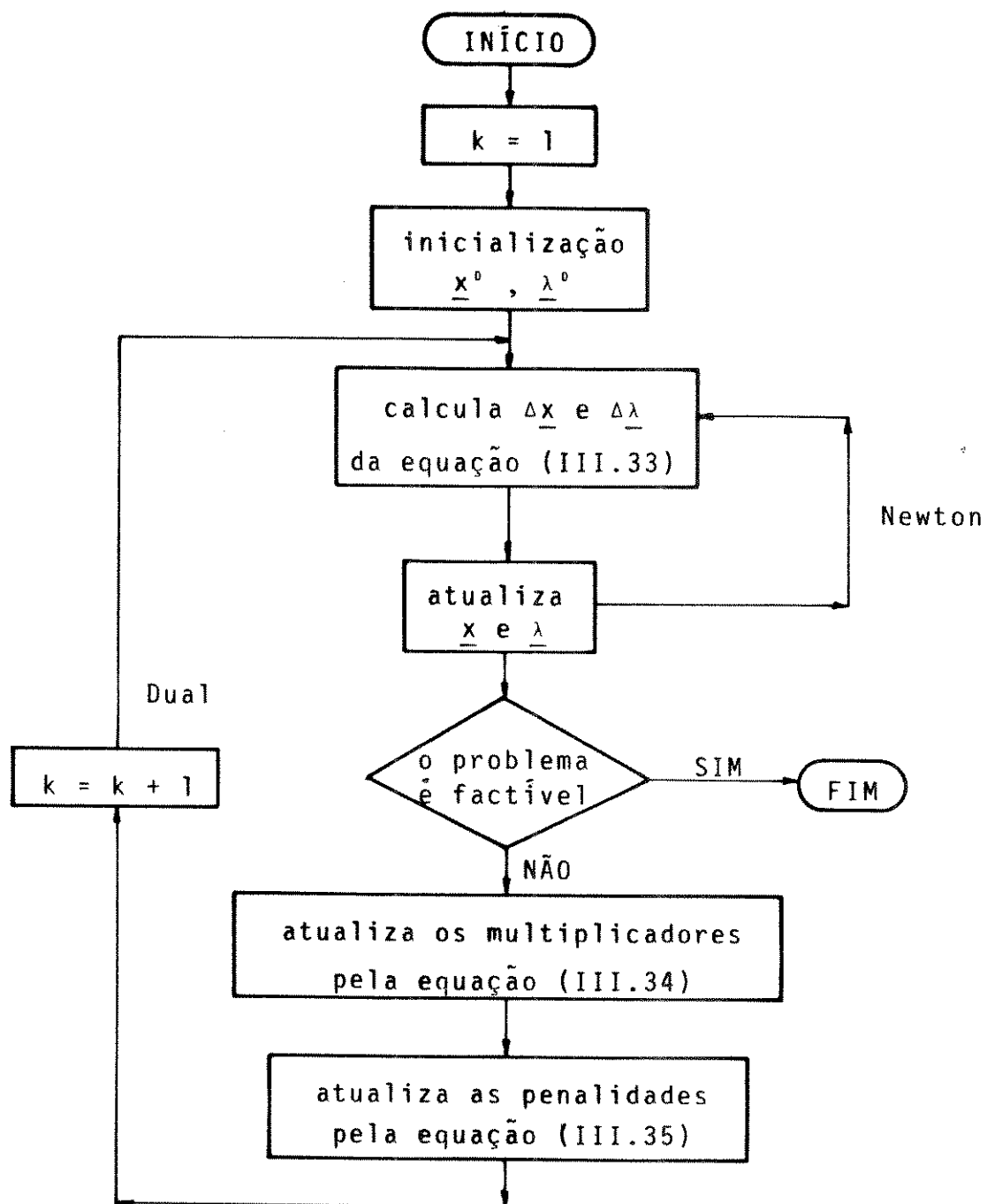


Figura (III.6) - Diagrama de blocos do método DUAL-NEWTON

III.3.3. Vantagens do método DUAL-NEWTON

O método DUAL-NEWTON engloba um grande número de vantagens devido à associação do método de Newton com o método da Lagrangeana Aumentada. Entre estas vantagens pode-se citar: uma característica de convergência de 2^a ordem, o que significa uma convergência mais rápida; a capacidade de encontrar a solução partindo de pontos não factíveis, possibilitando o uso do método em estudos de planejamento; a matriz Hessiana não fica mau condicionada, pois os fatores de penalidades crescem lentamente, ou podem deixar de crescer, até a solução. Porém a maior das vantagens, sem dúvida, foi tratar as restrições de desigualdade com muita simplicidade. Esta simplicidade permite a inclusão dos taps dos transformadores no conjunto das restrições de desigualdade melhorando consideravelmente o estudo da parte reativa do problema.

CAPITULO IV

O MÉTODO DUAL-NEWTON APLICADO AO FLUXO DE CARGA ÓTIMO

Neste capítulo o problema do fluxo de carga ótimo é formulado de modo a ser resolvido pelo método proposto, DUAL-NEWTON. A estrutura da matriz Hessiana é discutida. É ainda apresentado o algoritmo de formação da matriz Hessiana utilizado no programa computacional desenvolvido para a realização dos testes.

IV.1. FORMULAÇÃO DO FLUXO DE CARGA ÓTIMO.

O problema do fluxo de carga ótimo, neste trabalho, tem como função objetivo minimizar as perdas de potência ativa na transmissão. As restrições de igualdade são as equações do fluxo de carga e as restrições de desigualdade consideram os limites operacionais do sistema elétrico.

A formulação do fluxo de carga ótimo é representada da seguinte maneira:

$$\left\{ \begin{array}{ll}
 \min_{(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V})} f(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V}) & \\
 \text{sujeito a} & \\
 p_k(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V}) - p_k^{esp} = 0 & k \in \{BC\} \cup \{BCR\} \quad (a) \\
 q_k(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V}) - q_k^{esp} = 0 & k \in \{BC\} \quad (b) \\
 p_k^{min} \leq p_k(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V}) \leq p_k^{max} & k \in \{BG\} \quad (c) \\
 q_k^{min} \leq q_k(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V}) \leq q_k^{max} & k \in \{BG\} \cup \{BCR\} \quad (d) \\
 V_k^{min} \leq V_k \leq V_k^{max} & k \in \text{todas as barras} \quad (e) \\
 |p_{fi}(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V})| \leq p_i^{limite} & i \in \text{todos os ramos} \quad (f) \\
 q_{fkl}^{min} \leq q_{fkl}(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V}) \leq q_{fkl}^{max} & kl \in \Omega \quad (g) \\
 q_{flk}^{min} \leq q_{flk}(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{V}) \leq q_{flk}^{max} & kl \in \Omega \quad (h) \\
 t_j^{min} \leq t_j \leq t_j^{max} & j \in \text{trafos com tap variável} \quad (i)
 \end{array} \right. \quad (IV.1)$$

onde:

$\underline{t}$ - vetor dos taps dos transformadores;

$\underline{\theta}$ - vetor dos ângulos das tensões;
 $\underline{V}$ - vetor das magnitudes das tensões;
 p_k - injeção líquida de potência ativa na barra k ;
 q_k - injeção líquida de potência reativa na barra k ;
 V_k - magnitude de tensão na barra k ;
 P_{li} - maior fluxo de potência ativa no ramo i ;
 q_{fkl} - fluxo de potência reativa da barra k para a barra l ;
 t_j - tap do transformador j ;
 (a) - erro da potência ativa na barra k ;
 (b) - erro da potência reativa na barra k ;
 (c) - limites da potência ativa gerada na barra k ;
 (d) - limites da potência reativa gerada na barra k ;
 (e) - limites da magnitude de tensão na barra k ;
 (f) - limite de fluxo de potência ativa no ramo i ;
 $(g), (h)$ - limites de fluxo de potência reativa da barra k
para a barra l e vice versa;
 (i) - limites dos taps no transformador j .
BC - barra de carga
BCR - barra de controle de reativos
BG - barra de geração

IV.2. A FUNÇÃO LAGRANGEANA AUMENTADA

A função Lagrangeana Aumentada (L_a) associada ao problema (IV.1) definida na secção III.3 é dada por:

$$\begin{aligned}
L_a = & f(\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{v}) + \sum_{k \in BC \cup BCR} \lambda_{p_k} \Delta p_k + \sum_{k \in BC} \lambda_{q_k} \Delta q_k + \\
& + \sum_{k \in BG} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{p_k} \Delta p_k + \frac{v_p}{2} \Delta^2 p_k ; \text{ se } \Delta p_k \geq - \frac{\mu_{p_k}}{v_p} \\ - \frac{\mu_{p_k}^2}{2v_p} ; \text{ caso contrário.} \end{array} \right. + \\
& + \sum_{k \in BG \cup BCR} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{q_k} \Delta q_k + \frac{v_q}{2} \Delta^2 q_k ; \text{ se } \Delta q_k \geq - \frac{\mu_{q_k}}{v_q} \\ - \frac{\mu_{q_k}^2}{2v_q} ; \text{ caso contrário.} \end{array} \right. + \\
& + \sum_{k \in \text{todas as barras}} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{v_k} \Delta v_k + \frac{v_v}{2} \Delta^2 v_k ; \text{ se } \Delta v_k \geq - \frac{\mu_{v_k}}{v_v} \\ - \frac{\mu_{v_k}^2}{2v_v} ; \text{ caso contrário.} \end{array} \right. +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{i \in \text{todos os ramos}} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{p_{fi}} \Delta |p_{fi}| + \frac{v_{p_f}}{2} \Delta^2 |p_{fi}|; \text{ se } \Delta |p_{fi}| \geq - \frac{\mu_{p_{fi}}}{v_{p_f}} \\ - \frac{\mu_{p_{fi}}^2}{2v_{p_f}}; \text{ caso contrário} \end{array} \right. + \\
& + \sum_{kl \in \text{todos os ramos}} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{q_{fkl}} \Delta q_{fkl} + \frac{v_{q_f}}{2} \Delta^2 q_{fkl}; \text{ se } \Delta q_{fkl} \geq - \frac{\mu_{q_{fkl}}}{v_{q_f}} \\ - \frac{\mu_{q_{fkl}}^2}{2v_{q_f}}; \text{ caso contrário} \end{array} \right. + \\
& + \sum_{i \in \text{trafos}} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{t_i} \Delta t_i + \frac{v_t}{2} \Delta^2 t_i; \text{ se } \Delta t_i \geq - \frac{\mu_{t_i}}{v_t} \\ - \frac{\mu_{t_i}^2}{2v_t}; \text{ caso contrário.} \end{array} \right. \quad (IV.2)
\end{aligned}$$

Aplicando a condição necessária de 1a. ordem na La obtém-se o sistema de equações (III.32) que é resolvido pelo método de Newton como apresentado na secção (III.3.1).

IV.3. O MÉTODO DE NEWTON

A função Lagrangeana Aumentada definida em (IV.2)

é reescrita como função de $\underline{t}$, $\underline{\theta}$, $\underline{v}$ e $\underline{\lambda}$

$$La = La (\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{v}, \underline{\lambda}) \quad (IV.3)$$

na qual os multiplicadores e penalidades associadas às restrições de desigualdade ($\underline{\mu}$, $\underline{v}$) são fixados.

As condições necessárias de otimalidade de 1ª ordem sobre La são dadas por:

$$\begin{cases} \nabla_{\underline{t}} La (\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{v}, \underline{\lambda}) = 0 \\ \nabla_{\underline{\theta}} La (\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{v}, \underline{\lambda}) = 0 \\ \nabla_{\underline{v}} La (\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{v}, \underline{\lambda}) = 0 \\ \nabla_{\underline{\lambda}} La (\underline{t}, \underline{\theta}, \underline{v}, \underline{\lambda}) = 0 \end{cases} \quad (IV.4)$$

O sistema de equações resultante é resolvido pelo método de Newton através da equação matricial básica dada por:

$$\begin{bmatrix} \nabla_{\underline{t}\underline{t}}^2 La & \nabla_{\underline{t}\underline{\theta}}^2 La & \nabla_{\underline{t}\underline{v}}^2 La & \nabla_{\underline{t}\underline{\lambda}}^2 La \\ \nabla_{\underline{\theta}\underline{t}}^2 La & \nabla_{\underline{\theta}\underline{\theta}}^2 La & \nabla_{\underline{\theta}\underline{v}}^2 La & \nabla_{\underline{\theta}\underline{\lambda}}^2 La \\ \nabla_{\underline{v}\underline{t}}^2 La & \nabla_{\underline{v}\underline{\theta}}^2 La & \nabla_{\underline{v}\underline{v}}^2 La & \nabla_{\underline{v}\underline{\lambda}}^2 La \\ \nabla_{\underline{\lambda}\underline{t}}^2 La & \nabla_{\underline{\lambda}\underline{\theta}}^2 La & \nabla_{\underline{\lambda}\underline{v}}^2 La & \nabla_{\underline{\lambda}\underline{\lambda}}^2 La \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \underline{t} \\ \Delta \underline{\theta} \\ \Delta \underline{v} \\ \Delta \underline{\lambda} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \nabla_{\underline{t}} La \\ \nabla_{\underline{\theta}} La \\ \nabla_{\underline{v}} La \\ \nabla_{\underline{\lambda}} La \end{bmatrix} \quad (IV.5)$$

onde os elementos da matriz Hessiana são agrupados em submatrizes do tipo 1×1 , 2×1 , 1×2 e 2×2 , como mostra a equação matricial (IV.5). Também os elementos dos vetores, dependente e independente, da equação (IV.5) são agrupados em subvetores. A resolução do sistema matricial (IV.5) foi implementada operando com as submatrizes e subvetores que compõe o sistema matricial, cuja estrutura será analisada a seguir.

IV.4. ESTRUTURA DA MATRIZ HESSIANA

A estrutura da matriz Hessiana depende das derivadas de segunda ordem de L_a e da natureza da rede elétrica. A matriz Hessiana terá:

- 1 - uma coluna para cada transformador com tap variável sendo que a coluna forma submatrizes de ordem 1×1 e 2×1 . Isto fica ilustrado pelas derivadas abaixo.

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial t_i \partial t_j}$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \omega_i \partial t_j}$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial V_i \partial t_j}$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \lambda_{pi} \partial t_j}$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \lambda_{qi} \partial t_j}$$

onde:

t_j - tap do transformador da coluna j .

λ_{pi} - multiplicador de Lagrange para as restrições de igualdade da potência ativa $p \in \{BC\} \cup \{BCR\}$ da linha i .

λ_{qi} - multiplicador de Lagrange para as restrições de igualdade da potência reativa $q \in \{BC\}$ da linha i .

2- Um par de colunas para cada barra do sistema, ângulo e tensão, inclusive para a barra de referência. Estas colunas formam submatrizes do tipo 1×2 e 2×2 . Isto fica ilustrado pelas derivadas abaixo.

$\frac{\partial^2 La}{\partial t_i \partial \omega_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial t_i \partial V_j}$
--	---

$\frac{\partial^2 La}{\partial \theta_i \partial \omega_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \theta_i \partial V_j}$
---	--

$\frac{\partial^2 La}{\partial V_i \partial \omega_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial V_i \partial V_j}$
--	---

$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{pi} \partial \omega_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{pi} \partial V_j}$
---	--

$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{qi} \partial \omega_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{qi} \partial V_j}$
---	--

3- Uma coluna para as restrições de igualdade de potência ativa que correspondem às barras de carga e barras de compensação de reativos. Esta coluna forma submatrizes do tipo 1 x 1 e 2 x 1. Isto fica ilustrado pelas derivadas abaixo.

$\frac{\partial^2 La}{\partial t_i \partial \lambda_{pj}}$
--

$\frac{\partial^2 La}{\partial \theta_i \partial \lambda_{pj}}$

$\frac{\partial^2 La}{\partial V_i \partial \lambda_{pj}}$
--

$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{pi} \partial \lambda_{pj}}$

$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{qi} \partial \lambda_{pj}}$

4 - E finalmente uma coluna para as restrições de igualdade de potência reativa que correspondem às barras de carga. Esta coluna forma submatrizes do tipo 1×1 e 2×1 . Isto fica ilustrado pelas derivadas abaixo.

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial t_i \partial \lambda_{qj}}$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \theta_i \partial \lambda_{qj}}$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial V_i \partial \lambda_{qj}}$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \lambda_{pi} \partial \lambda_{qj}}$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \lambda_{qi} \partial \lambda_{qj}}$$

Em consequência da formulação do problema as derivadas em $\underline{\lambda}$ são do tipo:

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \theta_i \partial \lambda_{pj}} = \frac{\partial \Delta_{pj}}{\partial \theta_i} , \quad (a)$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial v_i \partial \lambda_{pj}} = \frac{\partial \Delta_{pj}}{\partial v_i} , \quad (b)$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \lambda_{pi} \partial \lambda_{pj}} = 0 , \quad (c)$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \lambda_{qi} \partial \lambda_{pj}} = 0 , \quad (d)$$

(IV.6)

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \theta_i \partial \lambda_{qj}} = \frac{\partial \Delta_{qj}}{\partial \theta_i} , \quad (e)$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial v_i \partial \lambda_{qj}} = \frac{\partial \Delta_{qj}}{\partial v_i} , \quad (f)$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \lambda_{pi} \partial \lambda_{qj}} = 0 , \quad (g)$$

$$\frac{\partial^2 L_a}{\partial \lambda_{qi} \partial \lambda_{qj}} = 0 , \quad (h)$$

Os elementos das equações (IV.6) (a), (b), (e) e (f) são os mesmos da matriz Jacobiana quando o fluxo de carga é resolvido pelo método de Newton-Raphson.

A matriz Hessiana da Lagrangeana aumentada é então organizada, segundo uma estrutura mostrada na figura (IV.1) e conserva características de esparsidade e simetria [5,14].

	t_j	θ_j	V_j	λ_{pj}	λ_{qj}
t_i	$\frac{\partial^2 La}{\partial t_i \partial t_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial t_i \partial \theta_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial t_i \partial V_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial t_i \partial \lambda_{pj}}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial t_i \partial \lambda_{qj}}$
θ_i	$\frac{\partial^2 La}{\partial \theta_i \partial t_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \theta_i \partial \theta_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \theta_i \partial V_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \theta_i \partial \lambda_{pj}}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \theta_i \partial \lambda_{qj}}$
V_i	$\frac{\partial^2 La}{\partial V_i \partial t_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial V_i \partial \theta_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial V_i \partial V_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial V_i \partial \lambda_{pj}}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial V_i \partial \lambda_{qj}}$
λ_{pi}	$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{pi} \partial t_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{pi} \partial \theta_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{pi} \partial V_j}$	0	0
λ_{qi}	$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{qi} \partial t_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{qi} \partial \theta_j}$	$\frac{\partial^2 La}{\partial \lambda_{qi} \partial V_j}$	0	0

Figura (IV.1) - Matriz Hessiana do método Dual-Newton

Para ilustrar esta secção considere a rede elétrica, cujo diagrama unifilar está representado na figura (IV.2). Esse sistema é composto de 9 barras, 18 linhas de transmissão e 5 transformadores com tap variável. A tabela (IV.1) mostra um resumo da natureza das barras e os tipos de restrições nodais associadas.

Tabela (IV.1) - Natureza das Barras e Tipos de Restrições.

número de barras	natureza das barras	restrições nas variáveis nodais		
		potência ativa	potência reativa	tensão
5	carga	igualdade	igualdade	canaliza- ção
2	geração de ativos e reativos	canalização	canalização	canaliza- ção
2	geração de reativos	igualdade	canalização	canaliza- ção

Além destas, há as restrições de canalização dos fluxos de potência ativa, reativa e dos taps dos transformadores.

Definidos a natureza das barras e os tipos de restrições pode-se determinar a estrutura da matriz Hessiana . Para o exemplo do sistema de 9 barras a matriz Hessiana tem a estrutura mostrada na figura (IV.3).

Verifica-se na figura (IV.3) que existem dois tipos de elementos, representados por X e ● onde:

x_{ij} elemento associado à ligação elétrica entre os nós i e j ;

●_{ij} elemento correspondente à interligação da primeira vizinhança dos nós, não há ligação elétrica entre os nós i e j .

IV.5. ESTRUTURA DO VETOR GRADIENTE

O vetor gradiente da função Langrangeana Aumentada tem sua estrutura formada por quatro partes. Os elementos do vetor gradiente são:

	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	θ ₁	v ₁	θ ₂	v ₂	θ ₃	v ₃	θ ₄	v ₄	θ ₅	v ₅	θ ₆	v ₆	θ ₇	v ₇	θ ₈	v ₈	θ ₉	v ₉	λ _{p1}	λ _{p2}	λ _{p3}	λ _{p4}	λ _{p5}	λ _{p6}	λ _{p7}	λ _{q1}	λ _{q2}	λ _{q3}	λ _{q4}	λ _{q5}		
t ₁	X													X	X							X	X						X							X	
t ₂		X																	X	X	X	X									X						
t ₃			X		X			X	X								X	X									X				X				X		
t ₄				X	X					X	X	X	X															X	X						X	X	
t ₅			X	X	X							X	X				X	X											X		X					X	
θ ₁						X	X	X	X	X	X	•	•			•	•			•	•				X	X	X				X	X	X				
v ₁						X	X	X	X	X	X	•	•			•	•			•	•				X	X	X				X	X	X				
θ ₂			X			X	X	X	X	•	•	•	•	•	•	X	X								X	X				X		X	X				
v ₂			X			X	X	X	X	•	•	•	•	•	•	X	X								X	X				X		X	X				
θ ₃				X		X	X	•	•	X	X	X	X	•	•	•	•	•	•	•	X	X	•	•	X		X	X			X		X	X			
v ₃				X		X	X	•	•	X	X	X	X	•	•	•	•	•	•	•	X	X	•	•	X		X	X			X		X	X			
θ ₄				X	X	•	•	•	•	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	•	•	•			X	X	X	X	X			X	X	X		
v ₄				X	X	•	•	•	•	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	•	•	•			X	X	X	X	X			X	X	X		
θ ₅	X						•	•	•	•	X	X	X	X	X	X	•	•	•	•	•	X	X				X	X	X					X	X		
v ₅	X						•	•	•	•	X	X	X	X	X	X	•	•	•	•	•	X	X				X	X	X					X	X		
θ ₆			X		X	•	•	X	X	•	•	X	X	X	X	X	X	•	•			•	•			X		X	X	X			X		X	X	
v ₆			X		X	•	•	X	X	•	•	X	X	X	X	X	X	•	•			•	•			X		X	X	X			X		X	X	
θ ₇		X					•	•	X	X	•	•	•	•	•	X	X	X	X	X	X	X	X				X				X				X		
v ₇		X					•	•	X	X	•	•	•	•	•	X	X	X	X	X	X	X	X				X				X				X		
θ ₈		X				•	•			X	X	•	•	•	•			X	X	X	X	X	X				X				X			X			
v ₈		X				•	•			X	X	•	•	•	•			X	X	X	X	X	X				X				X			X			
θ ₉	X						•	•	•	•	X	X	•	•	•	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X							X	
v ₉	X						•	•	•	•	X	X	•	•	•	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X							X	
λ _{p1}						X	X	X	X	X	X																										
λ _{p2}			X			X	X	X	X							X	X																				
λ _{p3}				X		X	X			X	X	X	X							X	X																
λ _{p4}				X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																		
λ _{p5}	X											X	X	X	X	X	X						X	X													
λ _{p6}			X		X			X	X			X	X	X	X	X	X																				
λ _{p7}			X									X	X					X	X	X	X	X	X														
λ _{q1}						X	X	X	X	X	X																										
λ _{q2}			X			X	X	X	X							X	X																				
λ _{q3}				X		X	X			X	X	X	X									X	X														
λ _{q4}				X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																		
λ _{q5}	X											X	X	X	X	X	X					X	X														

X — ELEMENTOS ASSOCIADOS ÀS LIGAÇÕES ELÉTRICAS.

• — ELEMENTOS CORRESPONDENTES ÀS INTERLIGAÇÕES DA PRIMEIRA VIZINHAÇA DOS NÓS.

Figura (IV.3) - Estrutura da Matriz Hessiana correspondente ao sistema de 9 barras.

$$\frac{\partial L_a}{\partial t_i}$$

$$\frac{\partial L_a}{\partial \theta_i}$$

$$\frac{\partial L_a}{\partial V_i}$$

$$\frac{\partial L_a}{\partial \lambda p_i}$$

$$\frac{\partial L_a}{\partial \lambda q_i}$$

onde:

$$\frac{\partial L_a}{\partial \lambda p_i} = \Delta p_i \quad \text{e} \quad \frac{\partial L_a}{\partial \lambda q_i} = \Delta q_i$$

IV.6. FORMAÇÃO DO VETOR GRADIENTE E DA MATRIZ HESSIANA

Nesta secção são apresentados algoritmos para formação e cálculo dos elementos do vetor gradiente e da matriz Hessiana. Esses algoritmos exigem que os dados e a topologia do sistema sejam acessíveis através de um conjunto de vetores apontadores, que permitem a localização da vizinhança de um determinado nó ou transformador de interesse.

VETOR GRADIENTE

Para a formação do vetor gradiente percorrem-se todos os nós e transformadores do sistema, para cada nó

consideram-se todos os nós vizinhos e para cada transformador os nós a ele ligados. Os termos referentes aos multiplicadores de Lagrange são os erros de potência referidos aos nós considerados. As expressões das derivadas primeiras são apresentadas nos apêndices B e C. As parcelas das componentes do vetor gradiente para os transformadores e nós são incrementadas nas respectivas posições e correspondem aos seguintes termos:

- i - derivadas das restrições em relação a t_j ;
- ii - derivadas da função perda em relação às variáveis θ_i e V_i do nó i ;
- iii - derivadas das restrições do nó i em relação às variáveis θ_i e V_i do nó i ;
- iv - derivadas das restrições do nó i em relação às variáveis θ_l e V_l dos nós $l \in \Omega_i$;
- v - derivadas das restrições fluxos nas ligações il , com $l \in \Omega_i$, em relação às variáveis Ω_l e V_l .

MATRIZ HESSIANA

Para a formação da matriz Hessiana, esta foi dividida em 16 submatrizes como mostra a figura (IV.4). As submatrizes $\lambda P \lambda P$, $\lambda P \lambda Q$, $\lambda Q \lambda P$, $\lambda Q \lambda Q$ tem todos os seus elementos iguais a zero. As formações das demais submatrizes serão descritas a seguir.

TT	TAU	TAP	TλQ
AVT	AAUV	AVAP	AVλQ
λPT	λPAU	λPAP	λPλQ
λQT	λQAU	λQAP	λQλQ

Figura (IV.4) - Submatrizes da matriz Hessiana.

FORMAÇÃO DA SUBMATRIZ TT

Para a formação da submatriz TT percorrem-se todos os transformadores com tap variável do sistema e para cada transformador os transformadores vizinhos. São calculadas então as parcelas dos elementos da submatriz correspondentes às variáveis de cada transformador.

As expressões das derivadas primeiras e segundas em relação aos taps são apresentadas nos apêndices B e C. As parcelas que formam os elementos de TT correspondem aos seguintes termos:

- i - derivadas segundas e produtos de derivadas primeiras da restrição no transformador k em relação a t_k .
- ii - derivadas segundas e produtos de derivadas primeiras das restrições do nó i em relação

a t_k e t_j com $j \in \Omega_k$ e t_j ligados ao nó i .

- iii - derivadas segundas e produtos de derivadas primeiras das restrições no fluxo sobre t_k em relação a t_k

FORMAÇÃO DA SUBMATRIZ AVT

A submatriz AVT só tem elementos nas posições θ_i , θ_j , V_i e V_j onde i e j são terminais do transformador. Para a formação da submatriz AVT percorrem-se todos os transformadores com tap variável do sistema. São calculadas então as parcelas dos elementos da submatriz correspondentes as variáveis de cada transformador e seus nós.

As expressões das derivadas primeiras e segundas em relação aos tap e as variáveis dos nós são apresentadas nos apêndices B e C. As parcelas que formam os elementos de AVT correspondem aos seguintes termos:

- i - derivadas segundas e produtos de derivadas primeiras das restrições em relação a t_k , θ_i , V_i , θ_j e V_j .
- ii - derivadas segundas e produtos de derivadas primeiras das restrições no fluxo sobre t_k , θ_i , V_i , θ_j e V_j .

A submatriz TAV é simétrica a AVT tendo portanto a mesma formação.

FORMAÇÃO DA SUBMATRIZ AAVV

Para a formação da submatriz AAVV percorrem-se todos os nós do sistema e para cada nó consideram-se todos os nós vizinhos. São calculadas então as parcelas dos elementos. As posições associadas a um nó i e sua vizinhança, representada por $i \in \Omega_i$, são as seguintes:

- da diagonal (i,i) e (i,i) ;
- fora da diagonal (i,i) e (i,i) ;
- fora da diagonal (i,m) e (m,i) para $i \in \Omega_i$ e $m \in \Omega_i$.

As expressões das derivadas segundas da função perda e das restrições são apresentadas nos apêndices B e C. As parcelas que formam a submatriz AAVV, considerando-se

$$\{x_i, y_i\} = \{e_i, e_j, e_i, v_j, v_i, e_j, v_i, v_j\}$$

correspondem aos seguintes termos:

- i - derivadas segundas da função perda em relação as variáveis x_i, y_j e x_i, y_i com $i \in \Omega_i$;
- ii - derivadas segundas e produtos das derivadas primeiras das restrições do nó i em relação

as variáveis x_{li} , x_{il} e x_{ll} com relação $l \in \Omega_i$;

iii - produtos das derivadas primeiras das restrições do nó i em relação as variáveis x_l e v_m com $l \in \Omega_i$ e $m \in \Omega_i$;

iv - derivadas segundas e produtos das derivadas primeiras das restrições nos fluxos sobre as ligações il , com $l \in \Omega_i$, em relação as variáveis x_{li} e x_{il} .

Todas as demais submatrizes são partes da matriz Jacobiana usada no FLUXO DE CARGA pelo método de Newton-Raphson, sendo suas formações idênticas ao do FLUXO DE CARGA.

IV.7. FATORAÇÃO TRIANGULAR DA MATRIZ HESSIANA

As características de esparsidade da matriz Hessiana justificam seu armazenamento de forma compacta. Isto significa que apenas os elementos não nulos são armazenados com auxílio de um conjunto de vetores apontadores [13,15]. Durante o processo de otimização a estrutura de elementos não nulos permanece fixa. Isso possibilita que a estrutura de elementos não nulos, a ordenação da sequência de cálculos dos fatores triangulares e as posições de elementos "fill-in" criados durante a fatoração, sejam estabelecidos inicialmente antes do processo de

otimização. Durante o processo de otimização são repetidos apenas o cálculo dos fatores triangulares e as operações "forward" e "backward" para valores atualizados dos elementos da matriz Hessiana. Todo o processo de cálculo dos fatores triangulares da matriz Hessiana é feito manipulando-se unidades matriciais de dimensões: 1×1 , 1×2 , 2×2 , 2×1 .

Devido a dimensão do problema não é possível resolvê-lo eficientemente sem uso de técnicas de esparsidade.

IV.8. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

O programa computacional foi implementado em linguagem FORTRAN no sistema IBM-4341 da Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Contém basicamente 44 sub-rotinas e 2967 comandos. Com a finalidade de mostrar a idéia do processo de implementação computacional é apresentado e discutido um diagrama de blocos na figura (IV.5) .

O bloco de "DADOS" é composto por 2 sub-rotinas. Uma lê os dados das barras a outra os dados das linhas e transformadores , ainda são criados os vetores correspondentes . Nestas sub-rotinas são dados os valores iniciais dos fatores de penalidade e dos multiplicadores.

O bloco "APON" é composto por 1 sub-rotina. Esta é responsável pelo armazenamento da topologia da rede.

O bloco "ESTHE" é composto por 7 sub-rotinas que

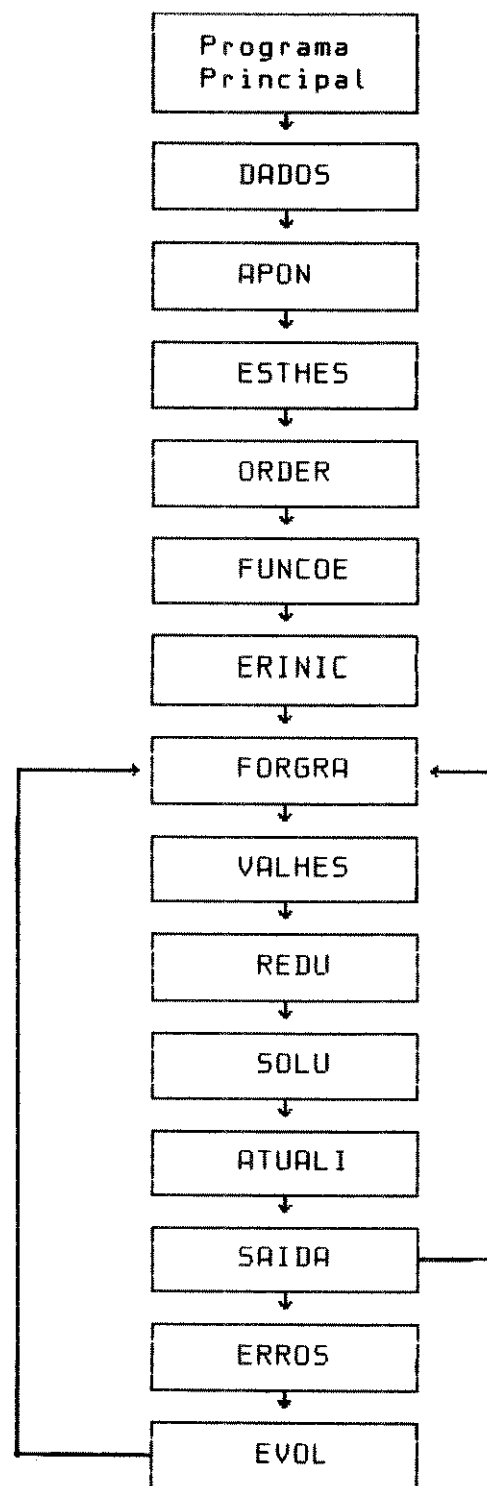
determinam a estrutura da matriz Hessiana. A estrutura da matriz é preparada para ser utilizada pelo método da bi-fatoração [15]. A matriz Hessiana, esparsa, tem suas colunas endereçadas segundo: os taps dos transformadores, t_i ; os barramentos do sistema, θ_{jj} ; as barras de controle de reativos λ_{pk} ; e as barras de carga, λ_{qk} como mostra a figura (IV.3). Estas colunas são armazenadas de forma compacta em vetores e encadeadas coluna a coluna. Cada elemento deste vetor pode ser submatrizes do tipo 1x1, 1x2, 2x1 e 2x2. Na estrutura da matriz Hessiana foi previsto as 2^o vizinhanças.

O bloco "ORDER" é composto por 1 sub-rotina. Este bloco corresponde a ordenação da matriz Hessiana. As submatrizes com endereçamentos diferentes não podem ser misturadas, portanto foi necessário uma modificação na rotina do método da bi-fatoração.

O bloco "FUNCOE" é composto por 1 sub-rotina. Este bloco calcula os valores de todas as expressões de um problema de fluxo de carga.

O bloco "ERINIC" é composto por 1 sub-rotina. Este bloco usando as informações dos blocos "DADOS" e "FUNCOE" determina os erros iniciais do problema.

O bloco "FORGRA" é composto por 4 sub-rotinas. Este bloco forma o vetor gradiente da equação (III.33). Este vetor é composto por sub-vetores de 1 ou 2 elementos.



Figura(IV.5)-Diagrama de blocos esquemático do programa computacional DUAL-NEWTON

O bloco "VALHES" é composto por 17 sub-rotinas. Este bloco atribui valores a todos os elementos da matriz Hessiana já ordenados.

O bloco "REDU" é composto por 1 sub-rotina. Esta rotina do método da bi-fatoração foi modificada para poder operar com submatrizes do tipo 1×1 , 1×2 , 2×1 , 2×2 , no lugar dos elementos da matriz Hessiana.

O bloco "SOLU" é composto por 1 sub-rotina. Esta sub-rotina do método da bi-fatoração também foi modificada para poder operar com sub-matrizes.

O bloco "ATUALI" é composto por 2 sub-rotinas. Estas atualizam as variáveis do sistema e as admitâncias dos transformadores com taps variáveis.

O bloco "SAIDA" é composto por 2 sub-rotinas. Estas sub-rotinas verificam a factibilidade do problema e imprimem a solução da iteração executada.

O Bloco "ERROS" é composto por 3 sub-rotinas. Estas verificam os erros das variáveis do sistema dentro de uma abordagem da Lagrangeana Aumentada.

O bloco "EVOL" é composto de 1 sub-rotina. Esta sub-rotina executa as operações das equações (III.34) e (III.35).

CAPÍTULO - V

TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados de vários testes realizados com o método proposto. Para os testes foram utilizados três sistemas elétricos:

- 3 barras [3];
- AEP30;
- IEEE118.

A escolha dos valores iniciais das penalidades afeta consideravelmente o processo de solução. A inicialização e o crescimento das penalidades foram estabelecidos em função do melhor desempenho alcançado para cada teste realizado.

As tensões nos barramentos são sempre penalizadas, só na matriz Hessiana, mesmo estando dentro de seus limites. As demais restrições de desigualdade são penalizadas somente quando violam seus limites.

São apresentados os resultados dos testes realizados com os três sistemas elétricos, cuja base de potência comum é 100 MVA, com erro de 10^{-4} para a tensão e 10^{-3} para as demais variáveis. O algoritmo utilizado nos testes foi o apresentado no capítulo III secção III.3.2.

V.1. SISTEMA 3 BARRAS

Os testes realizados no sistema de 3 barras, representado na figura (V.1), tem como objetivo a compreensão do método.

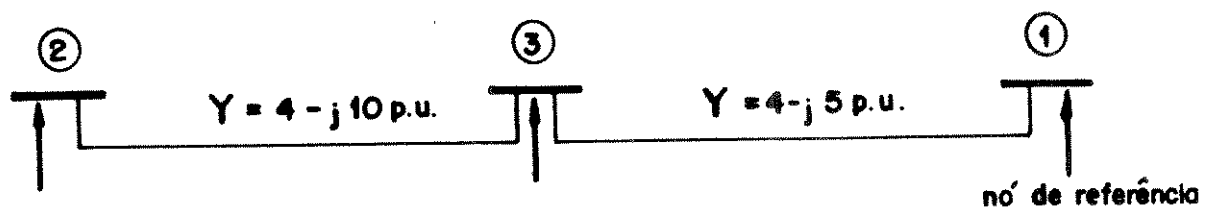


Figura (V.1) - Diagrama unifilar do sistema de 3 barras.

Este sistema elétrico tem as seguintes características:

- rede: 3 barras $\left\{ \begin{array}{l} 1 - \text{referência} \\ 1 - \text{geração} \\ 1 - \text{carga} \end{array} \right.$
- 2 linhas de transmissão

- condições iniciais: solução não convergida
- tabela (V.1)

- função objetivo: minimizar perdas ativas na transmissão.
- restrições de igualdade: 2 no caso ativo/reativo e 3 no caso reativo.
- restrições canalizadas: 3 de tensão, 2 de geração no caso ativo/reativo e 1 no caso reativo, 4 de fluxo reativo e 2 de fluxo ativo.

Tabela (V.1) - Valores iniciais do sistema de 3 barras.

Barras	tipos	P	Q	V	θ
1	referência	0.0	0.0	1.0	0.0
2	geração	0.0	0.0	1.0	0.0
3	carga	-2.0	-1.0	1.0	0.0

A tabela (V.2) apresenta os limites das variáveis para o caso ativo/reativo. No estudo reativo os limites são iguais com exceção da potência ativa na barra 2 cujo valor é:

$$P_2^{\min} = P_2^{\max} = 1,7 \text{ p.u.}$$

Tabela (V.2) - Limites das Variáveis para o estudo ativo/reactivo

Barras	min V	max V	min Q	max Q	min P	max P
1	0.9000	1.2000	-1.2000	1.2000	0.0000	1.0000
2	0.9000	1.2000	-1.2000	1.2000	1.5000	1.9000
3	0.9000	1.0000	-1.0000	-1.0000	-2.0000	-2.0000

A tabela (V.3) apresenta as penalidades iniciais e finais referidas às variáveis canalizadas. O fator de incremento para os estudos ativo/reactivo e reativo foi $\beta = 1.5$.

Tabela (V.3) - Penalidades iniciais e finais

limites nas variáveis	PENALIDADES			
	estudo reativo		estudo ativo / reativo	
	inicial	final	inicial	final
V_{lim}	40.0	60.0	15.0	22.5
Q_{lim}	1.0	1.5	1.0	1.5
P_{lim}	1.0	1.5	1.0	1.5

As tabelas (V.4) e (V.5) apresentam as perdas de transmissão, o maior erro das tensões, das potências ativas e das potências reativas e seus multiplicadores de Lagrange associados para cada iteração do processo respectivamente para os estudos reativo e ativo/reactivo.

Tabela (V.4) - Convergência do estudo reativo.

iteração		barra	λ ou μ	ΔV	barra	λ ou μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
total	Newton										
1	1	3	0.000	0.0160	3	0.398	0.1385	2	0.413	0.3437	0.1683
	2	3	0.000	0.0301	3	0.033	0.0024	3	0.247	0.0056	0.1392
	3	3	0.000	0.0186	3	0.038	0.0001	3	0.122	0.0028	0.1311
2	1	3	0.744	0.0077	3	0.012	0.0000	3	0.079	0.0010	0.1306
	2	3	0.744	0.0012	3	0.015	0.0000	3	0.075	0.0003	0.1307
	3	3	0.744	0.0000	3	0.030	0.0000	3	0.098	0.0002	0.1308

Tabela (V.5) - Convergência do estudo ativo/reactivo

iteração		barra	λ ou μ	ΔV	barra	λ ou μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
total	Newton										
1	1	3	0.000	0.1002	3	0.275	0.1240	3	-0.340	-0.4743	0.1683
	2	3	0.000	0.0821	3	0.003	0.0041	3	0.032	0.0779	0.1254
	3	3	0.000	0.0485	3	0.016	0.0145	3	0.073	0.0076	0.1151
2	1	3	0.727	0.0175	3	0.001	0.0008	3	0.067	0.0036	0.1227
	2	3	0.727	0.0000	3	0.025	0.0001	3	0.084	0.0010	0.1276

A figura (V.2) mostra as variáveis canalizadas de tensão para o estudo reativo com o processo iterativo convergindo

para o ponto A. O processo de convergência caminha pela região não factível do problema.

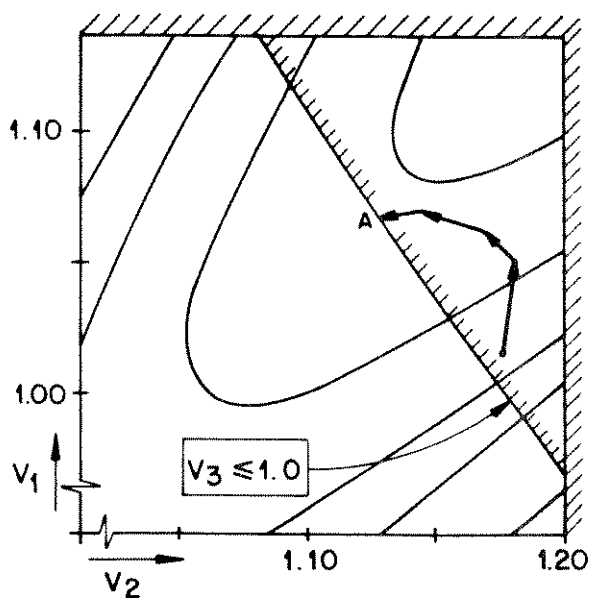


Figura (V.2) - Processo de convergência

A performance das magnitudes das tensões durante o processo esta representada na figura (V.3).

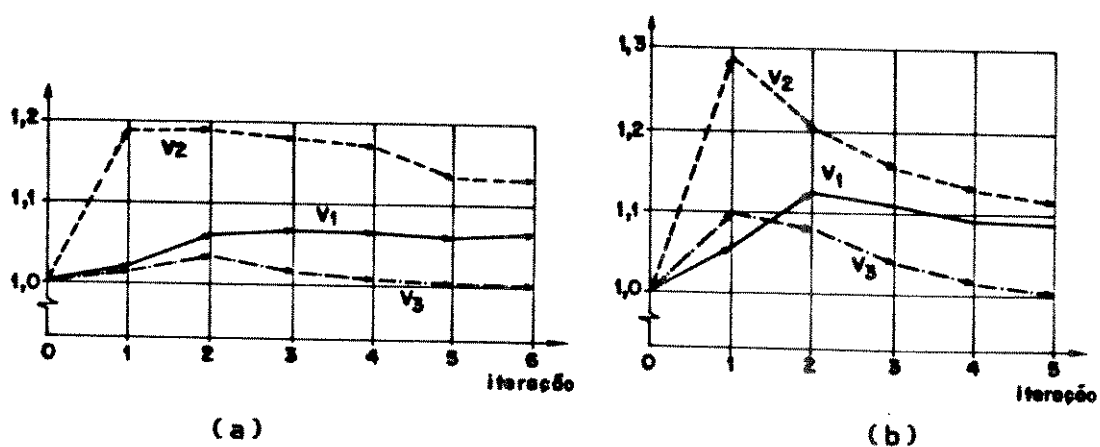


Figura (V.3) - Processo de convergência das tensões
(a) estudo reativo, (b) estudo ativo\reativo.

V.2. SISTEMA AEP30

O sistema AEP30, cujo diagrama unifilar está representado na figura (V.4) tem as seguintes características:

- rede; 30 barras

{	1 referência
	1 geração
	4 controle de reativos
	24 carga

37 linhas de transmissão

4 transformadores com tap variável.

- condições iniciais; solução não convergida apresentada no apêndice D.

- função objetivo; minimizar perdas ativas na transmissão

- restrições de igualdades; 52 no caso ativo/reativo
53 no caso reativo

- restrições canalizadas; 30 de tensão
4 de geração no caso ativo/reativo
3 de geração no caso reativo

4 de taps
74 de fluxo reativo
37 de fluxo ativo

Pode-se determinar, a partir das informações acima, as dimensões das matrizes Hessianas que foram utilizadas nos processos iterativos.

A matriz Hessiana tem o seguinte número de colunas:

- 4 para taps (t_i);
- 60 para as barras (θ_i, V_i);
- 28 para as barras de carga e controle de reativos (λp_i) para o estudo ativo/reactivo ou 29 para o estudo reativo;
- 24 para as barras de carga (λq_i).

Sendo portanto, de 116×116 a dimensão da matriz Hessiana para o estudo ativo/reactivo e 117×117 para o estudo reativo.

A tabela (V.6) apresenta as penalidades iniciais e finais referidas às variáveis canalizadas. O fator de incremento para o estudo reativo foi $\beta = 1,5$ e para o estudo ativo/reactivo foi $\beta = 2,0$.

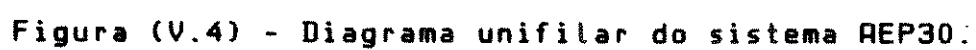


Tabela (V.6) - Penalidades iniciais e finais

limites nas variáveis	PENALIDADES				
	estudo reativo			estudo ativo / reativo	
	inicial	final 1	final 2	inicial	final
V_{lim}	10000.0	22500.00	170859.00	4000.0	16000.0
Q_{lim}	1.0	2.25	17.08	1.0	4.0
P_{lim}	1.0	2.25	17.08	1.0	4.0
Tap_{lim}	100.0	225.00	1708.59	100.0	400.0

1 - FOLGA NOS RECURSOS DE POTÊNCIA REATIVA.

2 - RECURSOS LIMITADOS DE POTÊNCIA REATIVA.

As tabelas (V.7) (V.8) e (V.9) apresentam as perdas de transmissão, o maior erro das restrições e seu multiplicador de Lagrange associado para os estudos ativo/reativo e reativo respectivamente depois de cada iteração do processo.

Tabela (V.7) - Convergência do estudo ativo/reativo

iteração		barra	λ ou μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton							
1	1	1	0.000	1.2683	2	0.000	4.8491	0.3510
	2	1	0.000	1.4582	2	0.000	4.5631	0.3391
	3	1	0.000	1.1399	2	0.000	3.1150	0.2280
2	1	1	1.139	0.3414	2	3.115	1.1997	0.1423
	2	1	1.139	0.1277	2	3.115	0.4624	0.1432
	3	12	0.740	0.0016	2	3.115	0.0292	0.1514
3	1	27	2.551	0.0009	12	4.337	0.0003	0.1526

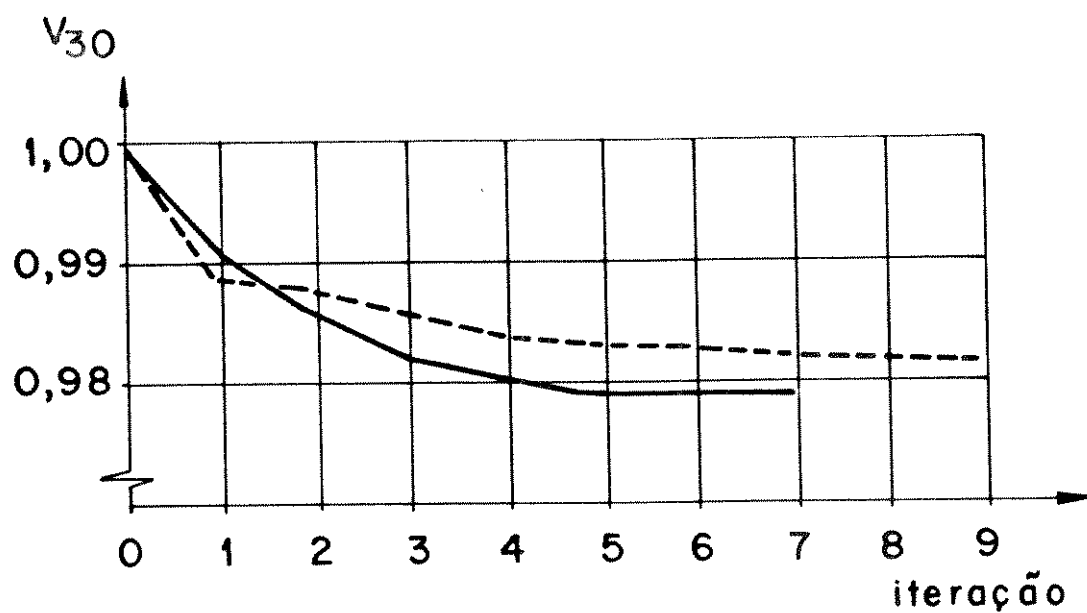
Tabela (V.8) - Convergência do estudo reativo com folga na potência reativa gerada.

iteração		barra	λ	μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton								
1	1	9	-164.2	—	-0.391	2	212.8	0.063	0.1592
	2	9	-849.7	—	-0.087	6	720.9	0.001	0.1736
	3	27	1423.7	—	0.030	17	-310.1	0.001	0.1745
2	1	27	1368.6	—	0.017	2	- 27.3	0.000	0.1744
	2	9	-175.4	—	0.009	8	- 8.7	0.001	0.1743
	3	9	- 40.0	—	0.008	2	6.5	0.001	0.1742
3	1	9	27.2	—	0.005	3	22.7	0.000	0.1745
	2	9	44.2	—	0.002	9	46.0	0.000	0.1736
	3	27	266.7	—	0.000	2	14.9	0.000	0.1737

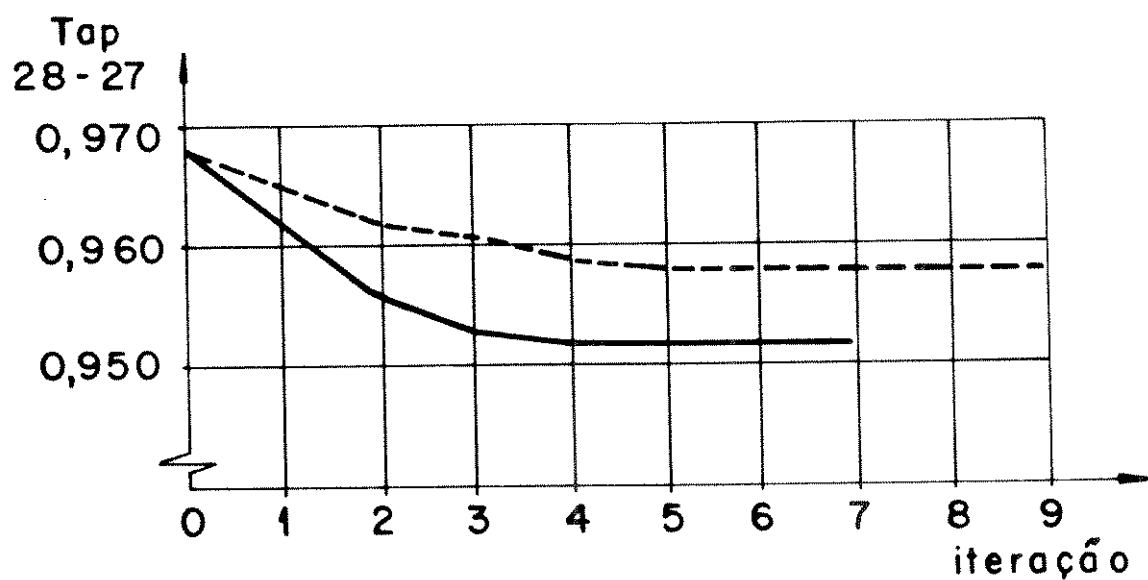
A figura (V.5) mostra a evolução da magnitude de tensão da barra 30 e do tap do transformador entre as barras 27 e 28, para o estudo ativo/reactivo e reativo com folga de potência reativa gerada. Estas variáveis são as que sofrem maior oscilação durante o processo de convergência.

Tabela (V.9) - Convergência do estudo reativo com limitação na potência reativa gerada

iteração		barra	λ	μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton								
1	1	1	—	0.0	6.130	2	74.5	-0.111	0.684
	2	1	—	0.0	4.736	5	55.7	0.059	0.464
	3	1	—	0.0	3.944	2	28.6	0.012	0.460
2	1	1	—	3.9	1.602	2	31.5	0.030	0.295
	2	5	—	1.5	1.318	2	31.8	0.010	0.265
	3	5	—	1.5	1.427	10	108.4	-0.004	0.258
3	1	1	—	2.8	1.298	2	21.6	0.000	0.238
	2	5	—	2.8	1.093	2	18.5	0.000	0.218
	3	5	—	2.8	0.904	2	39.0	0.000	0.203
4	1	5	—	6.4	0.774	6	92.1	0.000	0.193
	2	5	—	6.4	0.551	7	92.1	0.000	0.182
	3	5	—	6.4	0.334	7	92.1	0.000	0.174
5	1	15	—	9.1	0.206	7	189.8	0.000	0.170
	2	13	—	2.3	0.095	7	189.8	0.000	0.168
	3	2	—	0.0	0.138	7	-15.2	0.000	0.166
6	1	2	—	2.2	0.091	21	5.1	0.000	0.166
	2	2	—	2.2	0.057	21	- 4.2	0.000	0.166
	3	2	—	2.2	0.035	21	- 7.9	0.000	0.165
7	1	27	- 1.3	—	-0.013	21	- 3.4	0.000	0.165
	2	27	- 8.8	—	-0.009	22	- 4.4	0.000	0.165
	3	27	-11.1	—	-0.005	21	- 4.4	0.000	0.165
8	1	27	-14.5	—	-0.003	21	1.0	0.000	0.165
	2	27	-14.0	—	-0.002	21	0.2	0.000	0.165
	3	27	-11.8	—	-0.001	22	- 0.1	0.000	0.165



(a)



(b)

Figura (V.5) - Processo de Convergência das tensões e taps
 (a) magnitude de tensão da barra 30
 (b) tap do transformador 28/27

A tabela (V.10) apresenta uma comparação do método DUAL-NEWTON com o método da Lagrangeana Aumentada [5] e o cálculo do fluxo de carga. Para as comparações, os três métodos utilizaram as mesmas condições iniciais, mas somente o método DUAL-NEWTON trabalhou com o tap dos transformadores.

Verifica-se na tabela (V.9) as melhorias introduzidas pelo método DUAL-NEWTON. As perdas ativas diminuíram significativamente, no estudo ativo/reactivo. Verificou-se que com o despacho de potência ativa calculado pelo método DUAL-NEWTON é possível diminuir as perdas ativas em 15,79%, em relação a fluxo de carga, além de se conseguir um melhor perfil de tensão.

V.3. SISTEMA IEEE118

Este sistema cujo diagrama unifilar está representado na figura (V.6) tem as seguintes características:

Tabela (V.10) - Comparação dos métodos para o sistema REP30

CARACTERÍSTICAS	SOLUÇÃO DO FLUXO DE CARGA	SOLUÇÃO DO F.C.O. MÉ- TODO LAGRANGEANA AUMENTADA	SOLUÇÃO DO F.C.O. MÉTODO DUAL - NEWTON
PERDAS	0.176	0.174	0.152
TENSÃO MÉDIA	0.0288	1.0286	1.0086
DESVIO PADRÃO DA TENSÃO	0.0216	0.0209	0.0216

- rede: 118 barras	{	1 - referência
		18 - geração
		33 - controle de reativo
		66 - carga

177 linhas de transmissão

9 transformadores

- condições iniciais: solução não convergida
apresentada no apêndice D.

- função objetivo: minimizar perdas ativas na
transmissão.

- restrições de igualdades:

- 165 restrições de igualdade no
estudo ativo/reativo.
- 183 restrições de igualdade no
estudo reativo.

- restrições canalizadas:

- 118 de tensão
- 38 de geração estudo ativo/
reativo
- 19 de geração estudo reativo

372 de fluxo reativo

186 de fluxo ativo

9 de transformadores

Pode-se determinar, a partir das informações acima, as dimensões da matriz Hessiana que foram utilizadas nos processos iterativos.

A matriz Hessiana tem o seguinte número de colunas:

- 9 para taps (t_i);
- 236 para as barras (θ_i, V_i);
- 99 para as barras de carga e controle de reativos (λp_i), para o caso ativo/reativo ou 117 para o estudo reativo;
- 66 para as barras de carga (λq_i).

Sendo portanto, 410×410 a dimensão da matriz Hessiana para o estudo ativo/reativo e 428×428 para o estudo reativo.

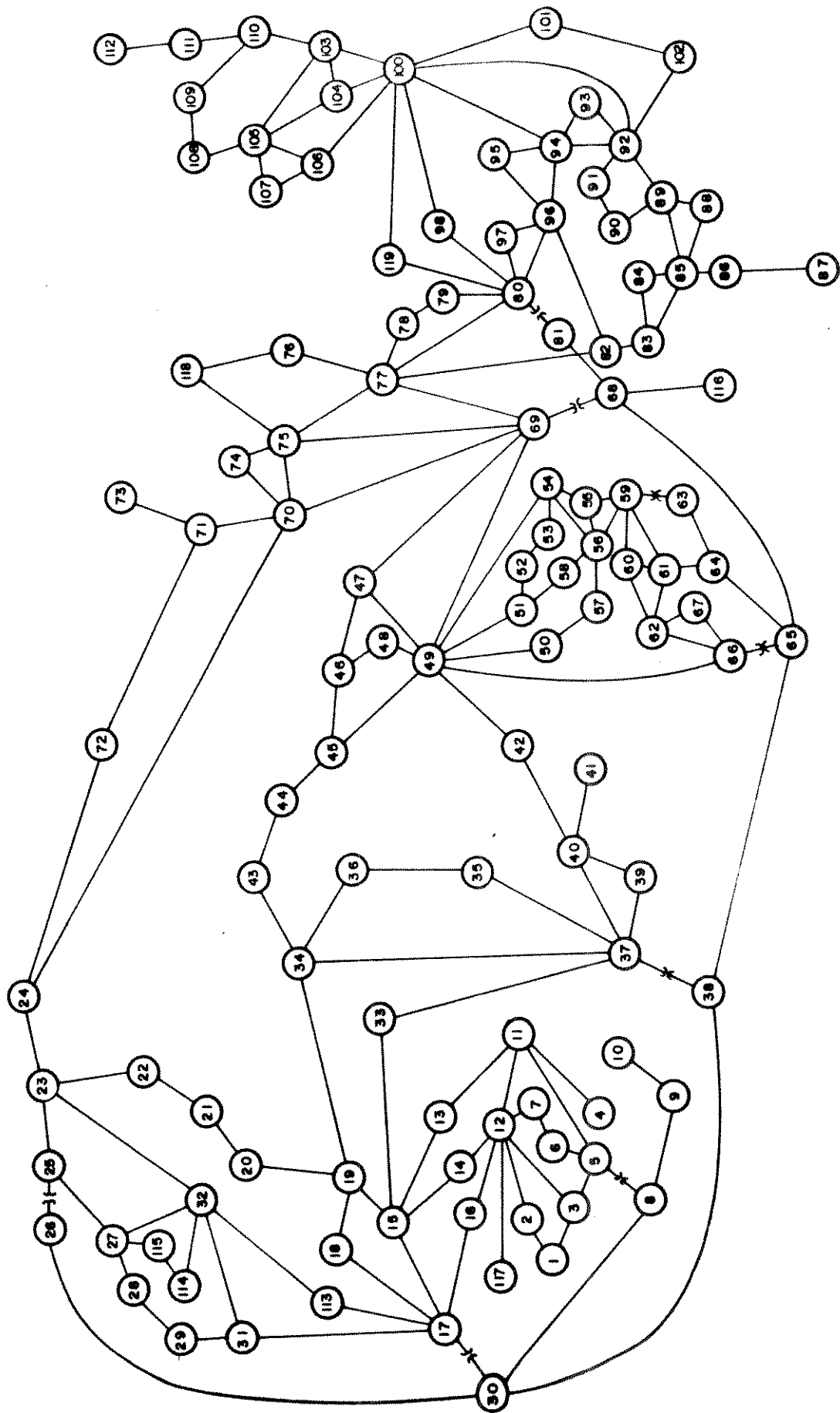


Figura (V.6) - Representação esquemática do sistema IEEE118.

A tabela (V.11) apresenta as penalidades iniciais e finais referidas as variáveis canalizadas. O fator de incremento para os estudos ativo/reactivo e reativos foi $\beta = 1.01$.

Tabela (V.11) - Penalidades iniciais e finais.

limites nas variáveis	PENALIDADES				
	estudo reativo			estudo ativo / reativo	
	inicial	final 1	final 2	inicial	final
V^{lim}	30 000.0	33470.00	36605.00	20000.0	21443.0
Q^{lim}	1.0	1.11	1.22	1.0	1.1
P^{lim}	1.0	1.11	1.22	1.0	1.1
Tap^{lim}	10 000.0	11100.00	12200.00	10 000.0	11000.0

1 - FOLGA NOS RECURSOS DE POTÊNCIA REATIVA.

2 - RECURSOS LIMITADOS DE POTÊNCIA REATIVA.

As tabelas (V.12) (V.13) e (V.14) apresentam as perdas de transmissão, o maior erro das potências ativas e das potências reativas e seus multiplicadores de Lagrange associados para cada iteração do processo respectivamente para os estudos ativo /reativo e reativos.

Tabela (V.12) - Convergência do estudo ativo/reativo.

iteração		barra	λ ou μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton							
1	1	37	-3.916	1.410	46	0.000	5.328	1.644
	2	37	-4.106	1.353	49	0.000	5.459	1.387
	3	17	0.809	0.956	46	0.000	4.086	1.293
2	1	37	3.739	-1.230	31	0.075	-4.620	2.056
	2	37	1.459	-1.721	31	0.075	-4.445	2.022
	3	17	-3.683	-1.048	54	0.022	2.323	0.980
3	1	37	-1.014	-0.487	31	2.092	2.836	1.085
	2	37	0.058	-0.461	31	2.092	2.091	1.057
	3	37	0.420	-0.604	46	2.704	-2.135	1.127
4	1	37	0.365	-0.686	46	0.000	-1.873	1.136
	2	37	0.126	-0.686	46	0.000	-0.977	1.086
	3	37	-0.031	-0.633	59	0.000	0.590	1.027
5	1	37	-1.282	-0.111	59	0.639	0.481	0.953
	2	37	-0.899	0.206	59	0.639	0.456	0.956
	3	17	0.014	0.042	46	0.000	0.559	0.966
6	1	37	-0.408	0.139	46	0.611	0.552	0.954
	2	37	-0.240	0.221	46	0.611	0.510	0.963
	3	37	0.245	0.121	46	0.611	0.455	0.977
7	1	17	0.024	-0.035	46	1.114	0.246	0.966
	2	17	-0.038	-0.015	46	1.114	0.071	0.976
	3	37	-0.014	0.004	31	0.027	0.064	0.983
8	1	17	-0.010	0.004	31	0.099	0.019	0.993
	2	17	0.016	0.003	65	0.000	-0.043	1.004
	3	5	-0.004	-0.003	65	0.000	-0.056	1.007
9	1	17	-0.001	-0.001	65	-0.063	-0.009	1.013
	2	17	-0.001	-0.003	31	0.114	0.006	1.014
	3	37	0.004	0.000	92	0.008	0.000	1.018

Tabela (V.13) - Convergência do estudo reativo com folga na potência reativa gerada

iteração		barra	λ	μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton								
1	1	37	-0.071	—	2.115	92	-6.079	-1931	1.300
	2	64	-2.046	—	0.581	66	29.923	3653	1.300
	3	37	8.206	—	-0.242	92	-46.288	-0686	1.119
2	1	17	-1.290	—	-0.067	89	-54.942	-0645	1.098
	2	37	-1.775	—	0.014	92	-57.577	-0412	1.113
	3	17	-1.411	—	0.006	89	-59.982	-0435	1.115
3	1	17	0.190	—	0.004	89	-62.023	-0371	1.119
	2	51	-154.667	—	0.012	89	-62.771	-0343	1.121
	3	75	-1.634	—	0.007	89	-64.670	-0316	1.128
4	1	83	54.035	—	0.006	89	-66.890	-0261	1.136
	2	51	-0917	—	0.008	89	-67.261	-0272	1.136
	3	44	6.537	—	-0.003	89	-70.404	-0253	1.140
5	1	5	0.100	—	0.002	89	-72.089	-0253	1.141
	2	5	0.104	—	0.002	89	-74.115	-0218	1.145
	3	5	0.108	—	0.002	89	-75.807	-0212	1.148
6	1	5	0.117	—	0.002	89	-81.376	-0171	1.159
	2	5	0.118	—	0.002	89	-82.312	-0162	1.162
	3	5	0.118	—	0.002	89	-83.068	-0154	1.165
7	1	5	0.119	—	0.002	89	-83.646	-0147	1.168
	2	5	0.120	—	0.002	89	-84.057	-0140	1.171
	3	5	0.121	—	0.002	89	-84.315	-0133	1.173
8	1	41	-10.873	—	0.006	89	-83.924	-0110	1.184
	2	37	-1.560	—	0.004	89	-83.592	-0105	1.187
	3	37	-0.374	—	0.005	89	-83.139	-0100	1.191
9	1	37	-0.007	—	0.003	89	-82.576	-0095	1.193
	2	48	4.339	—	0.169	49	-104.775	1724	1.190
	3	37	3.505	—	0.039	66	-90.474	0318	1.194
10	1	20	2.214	—	0.004	89	-87.878	-00891	1.212
	2	79	-1.480	—	0.004	89	-86.144	-0078	1.216
	3	37	-0.042	—	0.003	89	-84.118	-0069	1.220

Tabela (V.13) - Convergência do estudo reativo com folga na potência reativa gerada (continuação)

iteração		barra	λ	μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton								
11	1	22	-4.162	—	-0.016	22	-29.235	-0.073	1.223
	2	37	-0.056	—	0.002	89	-79.911	-0.053	1.226
	3	37	-0.086	—	0.001	89	-77.793	-0.051	1.229
12	1	109	-11.316	—	0.004	89	-69.939	-0.054	1.234
	2	108	-15.688	—	0.001	92	-66.913	-0.032	1.242
	3	02	1.277	—	-0.004	90	-66.564	-0.130	1.245
13	1	37	-0.057	—	0.001	92	-58.455	-0.022	1.252
	2	37	-0.056	—	0.001	89	-57.701	-0.024	1.254
	3	51	1.549	—	0.001	89	-56.013	-0.022	1.256
14	1	37	-0.017	—	0.001	92	-45.246	-0.018	1.268
	2	37	-0.080	—	0.001	89	-44.790	-0.015	1.269
	3	33	-2.350	—	-0.006	33	-15.570	0.024	1.270
15	1	118	-0.132	—	0.001	89	-42.439	-0.008	1.273
	2	5	0.052	—	0.000	89	-40.857	-0.009	1.274
	3	94	-2.736	—	0.001	89	-39.633	-0.008	1.275
16	1	96	-5.686	—	0.001	102	-33.132	-0.007	1.280
	2	94	0.238	—	0.000	89	-33.971	-0.007	1.281
	3	37	-0.061	—	0.000	89	-32.976	-0.004	1.282
17	1	37	-0.050	—	0.000	89	-31.820	-0.004	1.283
	2	94	4.823	—	0.018	97	-22.618	0.022	1.284
	3	37	0.071	—	0.001	92	-28.292	-0.006	1.286
18	1	101	-0.120	—	0.000	89	-28.703	-0.005	1.286
	2	37	-0.042	—	0.000	80	-21.931	-0.002	1.287
	3	93	-1.865	—	0.001	93	-25.548	0.007	1.288
19	1	37	-0.048	—	0.000	93	-21.399	-0.002	1.291
	2	68	-0.039	—	0.000	89	-22.115	-0.003	1.292
	3	37	-0.027	—	0.000	92	-20.878	-0.001	1.293

Tabela (V.14) - Convergência do estudo reativo com limitação na potência reativa gerada

iteração		barra	λ	μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton								
1	1	8	—	0.0	-1.537	92	-10.3	-1.941	1.298
	2	8	—	0.0	-0.900	63	-154.9	-2.269	1.170
	3	8	—	0.0	-0.907	92	-41.2	-0.614	1.235
2	1	8	—	-0.9	-0.852	89	-45.0	-0.554	1.214
	2	8	—	-0.9	-0.862	92	-40.4	-0.360	1.223
	3	8	—	-0.9	-0.860	89	-38.9	-0.414	1.214
3	1	8	—	-1.9	-0.853	89	-35.9	-0.326	1.224
	2	8	—	-1.9	-0.842	89	-31.5	-0.328	1.226
	3	8	—	-1.9	-0.831	89	-27.9	-0.296	1.228
4	1	8	—	-3.1	-0.819	89	-24.8	-0.286	1.229
	2	8	—	-3.1	-0.807	89	-21.9	-0.266	1.231
	3	8	—	-3.1	-0.795	89	-19.3	-0.253	1.232
5	1	8	—	-4.5	-0.781	89	-17.1	-0.239	1.234
	2	8	—	-4.5	-0.767	89	-14.9	-0.227	1.236
	3	8	—	-4.5	-0.753	89	-13.1	-0.216	1.237
6	1	8	—	-6.1	-0.738	89	-11.3	-0.205	1.240
	2	8	—	-6.1	-0.723	89	-9.7	-0.196	1.241
	3	8	—	-6.1	-0.707	89	-8.2	-0.186	1.243
7	1	8	—	-7.8	-0.692	89	-6.8	-0.178	1.245
	2	8	—	-7.8	-0.676	89	-5.5	-0.169	1.247
	3	8	—	-7.8	-0.660	89	-4.2	-0.162	1.249
8	1	8	—	-9.8	-0.644	89	-3.1	-0.154	1.250
	2	8	—	-9.8	-0.628	89	-1.9	-0.148	1.251
	3	8	—	-9.8	-0.612	89	-0.8	-0.139	1.254
9	1	8	—	-12.0	-0.596	89	-0.2	-0.133	1.256
	2	8	—	-12.0	-0.580	89	1.3	-0.127	1.257
	3	8	—	-12.0	-0.564	89	2.3	-0.122	1.259
10	1	8	—	-14.4	-0.548	89	3.3	-0.116	1.260
	2	8	—	-14.4	-0.532	89	4.3	-0.111	1.262
	3	8	—	-14.4	-0.516	89	5.3	-0.106	1.263

Tabela (V.14) - Convergência do estudo reativo com limitação na potência reativa gerada (continuação)

iteração		barro	λ	μ	ΔQ	barro	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton								
11	1	8	—	-17.1	-0.501	89	6.3	-0.101	1.265
	2	8	—	-17.1	-0.485	89	7.4	-0.097	1.266
	3	8	—	-17.1	-0.470	89	8.3	-0.093	1.268
12	1	8	—	-20.0	-0.455	89	9.3	-0.088	1.269
	2	8	—	-20.0	-0.440	89	10.4	-0.084	1.270
	3	8	—	-20.0	-0.425	89	11.8	-0.080	1.271
13	1	8	—	-23.1	-0.411	89	12.4	-0.077	1.273
	2	8	—	-23.1	-0.397	89	13.6	-0.073	1.274
	3	8	—	-23.1	-0.382	89	14.7	-0.070	1.276
14	1	8	—	-26.5	-0.369	89	15.8	-0.067	1.276
	2	8	—	-26.5	-0.355	89	17.1	-0.064	1.277
	3	8	—	-26.5	-0.342	89	18.2	-0.061	1.278
15	1	8	—	-30.2	-0.329	89	19.4	-0.058	1.279
	2	8	—	-30.2	-0.317	89	20.7	-0.055	1.280
	3	8	—	-30.2	-0.304	89	22.1	-0.053	1.281
16	1	8	—	-34.1	-0.292	89	23.4	-0.050	1.282
	2	8	—	-34.1	-0.270	89	24.8	-0.048	1.283
	3	8	—	-34.1	-0.258	89	26.3	-0.046	1.284
17	1	8	—	-38.2	-0.237	89	27.7	-0.044	1.285
	2	8	—	-38.2	-0.226	89	29.3	-0.042	1.286
	3	8	—	-38.2	-0.205	89	31.0	-0.040	1.286
18	1	8	—	-42.6	-0.175	89	32.5	-0.038	1.287
	2	8	—	-42.6	-0.165	89	34.3	-0.036	1.288
	3	59	—	26.3	-0.134	89	36.2	-0.034	1.288
19	1	59	—	31.0	-0.098	89	37.9	-0.033	1.289
	2	59	—	31.0	-0.089	89	39.8	-0.031	1.289
	3	105	—	26.1	-0.081	89	42.0	-0.030	1.290
20	1	105	—	32.2	-0.077	89	43.9	-0.029	1.291
	2	105	—	32.2	-0.068	89	46.1	-0.027	1.291
	3	105	—	32.2	-0.061	89	48.5	-0.026	1.292

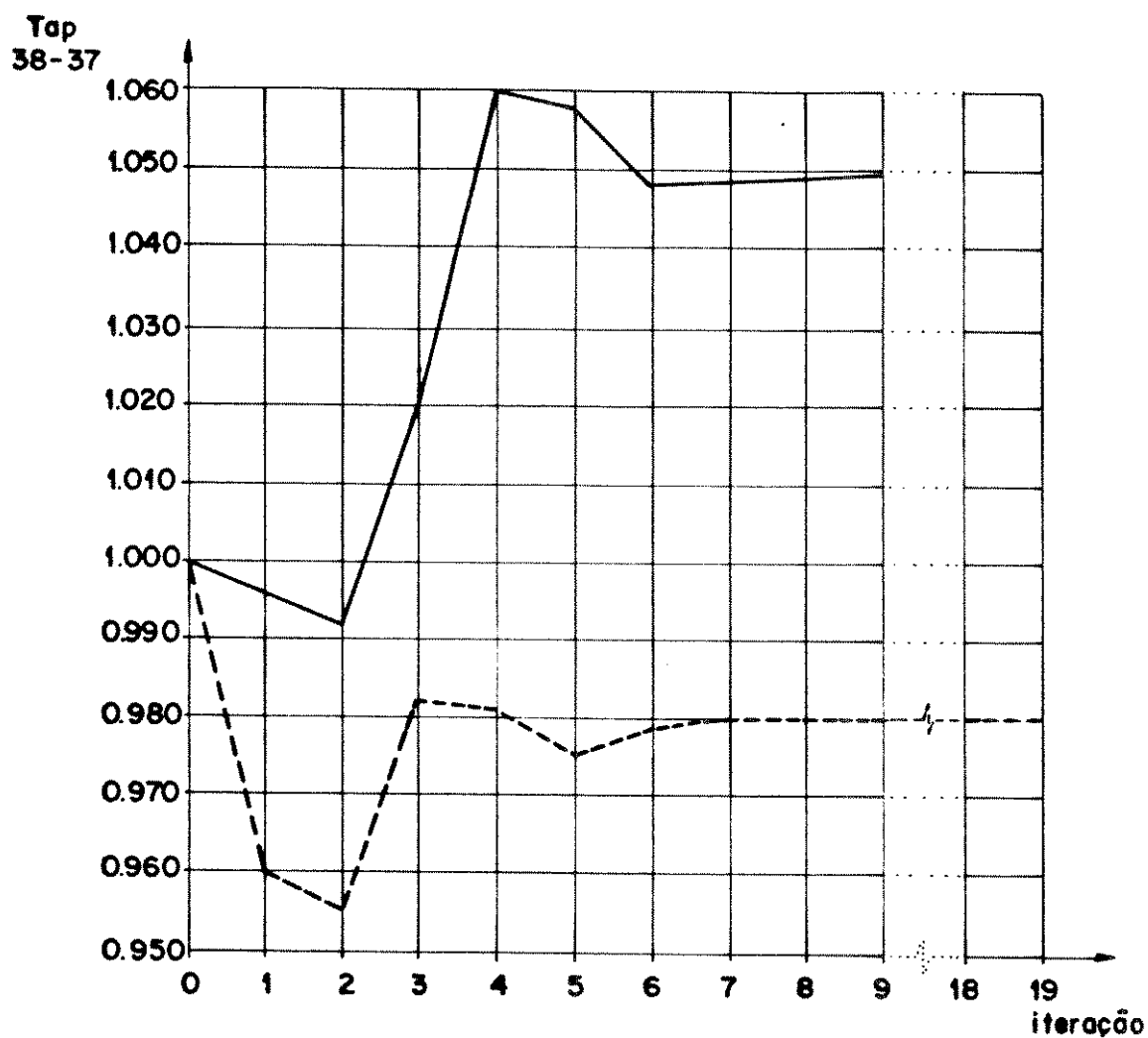
Tabela (V.14) - Convergência do estudo reativo com limitação na potência reativa gerada (continuação)

iteração		barra	λ	μ	ΔQ	barra	λ ou μ	ΔP	perdas
dual	Newton								
21	1	105	—	38.6	0.058	89	50.6	-0.025	1.294
	2	105	—	38.6	0.055	89	53.2	-0.024	1.293
	3	105	—	38.6	0.051	89	55.7	-0.022	1.294
22	1	105	—	46.3	0.046	89	58.2	-0.021	1.294
	2	105	—	46.3	0.042	85	71.5	-0.044	1.294
	3	105	—	46.3	0.038	92	61.3	-0.032	1.295
23	1	105	—	55.5	0.033	89	66.9	-0.027	1.295
	2	105	—	55.5	0.030	85	69.7	-0.030	1.294
	3	105	—	55.5	0.027	92	74.4	-0.024	1.296
24	1	105	—	66.5	0.025	89	77.0	-0.022	1.296
	2	105	—	66.5	0.024	92	84.0	-0.014	1.297
	3	105	—	66.5	0.022	89	84.9	-0.016	1.297
25	1	105	—	79.6	0.019	89	87.3	-0.014	1.297
	2	105	—	79.6	0.018	89	92.0	-0.014	1.297
	3	105	—	79.6	0.017	89	96.1	-0.013	1.298
26	1	105	—	95.2	0.015	89	100.1	-0.012	1.298
	2	105	—	95.2	0.013	89	95.2	-0.012	1.298
	3	105	—	95.2	0.012	89	109.4	-0.011	1.299
27	1	105	—	113.7	0.012	89	114.2	-0.011	1.299
	2	105	—	113.7	0.011	89	119.2	-0.010	1.299
	3	105	—	113.7	0.010	89	124.9	-0.009	1.299
28	1	105	—	135.9	0.010	89	130.0	-0.009	1.299
	2	105	—	135.9	0.010	85	135.1	-0.008	1.300
	3	105	—	135.9	0.009	92	181.6	-0.007	1.301
29	1	105	—	193.7	0.009	89	181.6	-0.007	1.301
	2	105	—	193.7	0.008	89	185.0	-0.004	1.301
	3	105	—	193.7	0.008	89	194.7	-0.005	1.301
30	1	105	—	231.2	0.007	89	200.7	-0.005	1.301
	2	105	—	231.2	0.006	89	210.4	-0.005	1.302
	3	105	—	231.2	0.006	89	219.1	-0.004	1.302

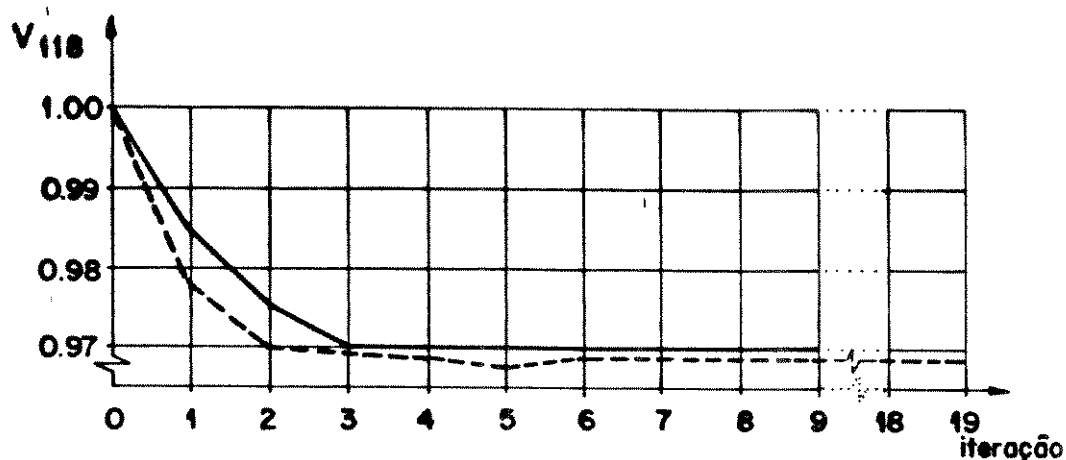
Tabela (V.14) - Convergência do estudo reativo com limitação na potência reativa gerada (continuação)

iteração		barra	λ	μ	ΔQ	barra	λ ou	ΔP	perdas
dual	Newton								
31	1	105	—	275.9	0.006	89	227.3	-0.004	1.302
	2	105	—	275.9	0.006	89	237.1	-0.004	1.302
	3	105	—	275.9	0.007	89	246.6	-0.004	1.302
32	1	105	—	329.1	0.006	89	256.4	-0.004	1.302
	2	105	—	329.1	0.006	89	267.7	-0.003	1.302
	3	105	—	329.1	0.006	89	280.1	-0.003	1.302
33	1	105	—	392.6	0.005	89	290.8	-0.003	1.302
	2	105	—	392.6	0.005	89	304.7	-0.003	1.302
	3	105	—	392.6	0.005	89	317.4	-0.002	1.303
34	1	105	—	468.1	0.005	89	329.9	-0.002	1.303
	2	105	—	468.1	0.005	89	344.9	-0.002	1.303
	3	105	—	468.1	0.004	89	361.5	-0.002	1.303
35	1	105	—	558.2	0.004	92	407.1	-0.002	1.303
	2	105	—	558.2	0.004	89	412.3	-0.002	1.303
	3	105	—	558.2	0.004	89	431.9	-0.001	1.303
36	1	105	—	641.3	0.004	89	442.4	-0.001	1.303
	2	105	—	641.3	0.004	89	451.1	-0.001	1.303
	3	105	—	641.3	0.004	89	462.2	-0.001	1.303

A figura (V.7) mostra a evolução da magnitude de tensão da barra 118 e do tap do transformador entre as barras 38 e 37, para os estudos ativo/reactivo e reativo com folga na potência reativa gerada. Estas variáveis são algumas das que sofrem maior variação durante o processo de convergência.



(a)



(b)

Figura (V.7) - Processo de convergência dos taps e tensões
a) tap do transformador 38/37
b) magnitude de tensão da barra 118

A tabela (V.15) apresenta a comparação do método DUAL-NEWTON com o método da Lagrangeana Aumentada [5] e o cálculo do fluxo de carga. Para as comparações os três métodos utilizaram as mesmas condições iniciais, mas somente o método DUAL-NEWTON trabalhou com o tap dos transformadores.

Para este estudo confirmam-se as reais vantagens do método DUAL-NEWTON. As perdas diminuíram significativamente para o estudo ativo/reativo. Com o despacho de potência ativa obtido pelo método DUAL-NEWTON é possível diminuir em 27,30% as perdas ativas, em relação ao fluxo de carga, com um excelente perfil de tensão.

Tabela (V.15) - Comparação dos métodos para o sistema IEEE118

CARACTERÍSTICAS	SOLUÇÃO DO FLUXO DE CARGA	SOLUÇÃO DO F.C.O. MÉ- TODO LAGRANGEANA AUMENTADA	SOLUÇÃO DO F.C.O. MÉTODO DUAL - NEWTON
PERDAS	1.296	1.083	1.018
TENSÃO MÉDIA	0.9871	1.0266	0.9955
DESVIO PADRÃO DA TENSÃO	0.0234	0.0402	0.0158

CONCLUSÕES

O trabalho que resultou nesta tese foi orientado para o desenvolvimento de uma nova metodologia e um algoritmo que possibilitasse a resolução do fluxo de carga ótimo a.c. visando sua aplicação no planejamento da operação.

A metodologia apresentada, que combinou o método de Newton com o método da Lagrangeana Aumentada, eliminou as dificuldades e aproveitou as melhores características que estes métodos possuem quando utilizados individualmente. A manipulação das restrições de desigualdade através da função Lagrangeana Aumentada permitiu a inclusão dos taps dos transformadores melhorando sensivelmente os resultados associados à parte reativa do problema. A contribuição do método de Newton reside no tratamento das restrições de igualdade acelerando o processo de convergência.

Outros métodos, como os propostos por Sun [7], exigem o uso de estratégias específicas na determinação do conjunto τ (II.34) provocando alterações na estrutura da matriz Hessiana durante o processo de solução. O método da Lagrangeana Aumentada, proposto por Santos [5], apresentou como desvantagem o grande número de iterações para a resolução do problema.

O método DUAL-NEWTON proposto neste trabalho supera as desvantagens destes métodos. A estrutura da matriz

Hessiana é fixa durante o processo de otimização. As restrições de desigualdade são ainda tratadas diretamente pela função Lagrangeana Aumentada. O processo de convergência é acelerado, tendo como consequência um número de iterações menor quando comparado com o método da Lagrangeana Aumentada. A calibração dos fatores de penalidade, os quais influem diretamente no processo de convergência, continuou sendo necessária no método Dual-Newton.

A programação foi o fator decisivo no sucesso da implementação computacional do método proposto. Grandes esforços foram concentrados no desenvolvimento de rotinas de esparsidade. Atenção especial foi dada ao desenvolvimento da estrutura do programa a fim de permitir modificações no curso do processo dessa pesquisa. Estas considerações exigiram um razoável tempo para o desenvolvimento do programa, mas permitiram várias experiências até o resultado final.

Durante os estudos constatou-se que a inicialização do processo de otimização em pontos distantes da factibilidade não comprometeu o desempenho do método. Para os testes realizados escolheu-se uma condição inicial que dificulta o processo de convergência podendo-se assim verificar a robustez do método. Ainda constatou-se o excelente perfil das tensões nos barramentos e uma significativa redução das perdas ativas na transmissão. Ressalta-se ainda a facilidade com que o método trata a parte reativa do problema permitindo a variação dos taps durante todo o processo. Este método tem um bom desempenho para problemas

com poucos recursos.

Este método fornece uma informação adicional associada às restrições de desigualdade. Os multiplicadores associados às restrições de desigualdade representam a sensibilidade entre a função objetivo e os recursos limitados pelas restrições. Tal fato possibilita a visualização do grau de dificuldade de sustentação das restrições e consequentemente sugere as insuficiências do sistema e os custos de remoção destas violações. Esta característica torna o método atraente para os estudos de planejamento e alocação de fontes de potência reativa.

A perspectiva de continuidade na pesquisa está relacionada à modelagem do sistema, onde é previsto a inclusão de inúmeras alternativas para a função objetivo.

Enfocando a variável dual, existe a possibilidade de se aprimorar os passos nos multiplicadores o que exigirá estudos mais detalhados da metodologia disponível.

Finalmente, o estudo de uma maior eficiência computacional, tal como, exploração de possíveis desacoplamentos, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - H.H.Happ, "Optimal Power Dispatch-A Comprehensive Survey",
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.
96, pp. 841-854, May/June, 1977.

- [2] - J.L.Carpentier, "Contribution a l'etude du Dispatching
Economique", Bull-Soc. Fr.Elec. Ser.B3, pp. 431-447,
1962.

- [3] - H.W.Dommel and W.F.Tinney, "Optimal Power Flow Solutions",
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.87,
pp. 1866-1876, October, 1968.

- [4] - R.Salgado, "Optimal Load Flow Solutions Using the Gradient
Projection Method", PhD thesis,UMIST,1989.

- [5] - A.Santos Jr., " O método da Lagrangeana Aumentada Aplicado
ao Fluxo de Carga ótimo", Tese de Doutorado,
UNICAMP/FEC/ DEE, abril, 1986.

- [6] - A.M.Sasson, F.Viloria and F.Aboytes, "Optimal Load Flow
Solution Using the Hessian Matrix", IEEE Transactions
on Power Apparatus and Systems, vol.92, pp. 31- 41,
January, 1973.

- [7] - D.H.Sun, B.Ashley, B.Brewer, A.Hughes and W.F.Tinney, "Optimal Power Flow by Newton Approach", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, pp. 2684-2880, October, 1984.
- [8] - R.C.Burchett, H.H.Happ and D.R.Vierath, "Quadratically Convergent Optimal Power Flow". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, pp. 3267-3275, November, 1984.
- [9] - C.J.Rehn, J.A.Bubenko and D.Sjølvgren, "Voltage Optimization Using Augmented Lagrangian Functions and Quasi-Newton", apresentado no IEEE Power Engineering Society 1989 Winter Meeting, New York, February, 1989.
- [10] - J.L.Carpentier, "Optimal Power Flows: uses, methods and developments", IFAC Electric Energy Systems, Brasil, Preprints of Symposium Planning and Operation, pp. 11-21, 1985.
- [11] - W.F.Tinney, J.M.Bright, F.D.Demaree and B.A.Hughes, "Some Deficiencies in Optimal Power Flow", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, pp.676-683, May, 1988.
- [12] - D.G.Luenberger, Linear and Nonlinear Programming, Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1984.

- [13] - W.F.Tinney and J.W.Walker, "Discret Solutions of Sparse Network Equations by Optimally Ordered Triangular Factorization", Proceeding of the IEEE, vol.55, pp. 1801-1809, November, 1967.
- [14] - A.Santos Jr., S.Deckmann and S.Soares, "A Dual Augmented Lagrangian Approach for Optimal Power Flow", IEEE Transactions on Power Systems, vol.3, pp. 1020-1025, August, 1988.
- [15] - K.Zollenkopf, "Bi-factorization, Basic Computation Algorithm and Programming Techniques", J.K.Reid ed. - Large sparse sets of linear equations, pp. 75-97, New York Academic Press, 1971.
- [16] - P.E.Gill, W.Murray and M.R.Wright, Practical Optimization, Academic Press, 1981.
- [17] - R.T.Rockafellar, "A Dual Approach to Solving Nonlinear Programming Problems by Unconstrained Optimization", Mathematical Programming, pp. 268-285, 5(1973).
- [18] - R.T.Rockafellar, "Augmented Lagrange Multiplier Functions and Duality in Nonconvex Programming", SIAM J.Control, vol.12, n^o 2, pp. 268-285, May, 1974.

- [19] - R.T.Rockafellar, "The Multiplier Method of Hestenes and Powell Applied to Convex Programming", Journal of optimization theory and applications, vol. 12, n^o 6, pp. 535-562, 1973.
- [20] - L.S.Lasdon, Optimization Theory for Large Systems, Macmillan Publishing, New York, 1970.
- [21] - M.S.Bazaraa and C.M.Shetty, Nonlinear Programming Theory and Algorithms, John Wiley-Sons, New York, 1979.
- [22] - D.P.Bertsekas, "On Penalty and Multiplier Method for Constrained Minimization", SIAM J. Control and Optimization, vol.14, n^o 2, February, 1976.
- [23] - D.P.Bertsekas, "Combined Primal-Dual and Penalty Methods for Constrained Minimization", SIAM J. Control, vol. 13, May, 1975.
- [24] - W.F.Tinney and C.E.Hart, "Power Flow Solution by Newton's Method", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol.86, pp. 1449-1460, November, 1967.
- [25] - O.I.Elgerd, Introdução à Teoria de Sistemas de Energia Elétrica, McGraw-Hill, São Paulo, 1978.

- [26] - B.Stott, "Decoupled Newton load flow", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.91, pp. 859-869, September/October, 1972.
- [27] - B.Stott, "Review of Load-Flow Calculation Methods", Proceeding of the IEEE, vol. 62, pp. 916-929, July, 1974.
- [28] - A.J.Monticelli, "Fluxo de Carga em Redes de Energias Elétrica", Edgard Blücher, São Paulo, 1983.
- [29] - C.A.F.Murari, A.J.Monticelli e A.V.Garcia, "Minimização de Perdas em Sistemas de Energia Elétrica de Grandes Dimensões", Anais do 3º Congresso Brasileiro de Automática, Rio de Janeiro, pp. 269-274, setembro, 1980.
- [30] - A.M.Sasson "Nonlinear Programming Solutions for Load-Flow, Minimum-Loss, and Economic Dispatching Problems", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.88, pp. 399-409, April, 1969.
- [31] - A.M.Sasson and H.M.Merrill, "Some Applications of Optimization Techniques to Power Systems Problems", Proceeding of the IEEE, vol.62, pp.,959-972, July, 1974.

- [32] - M.Morozowski F., Matrizes esparsas em redes de potência ,
L.T.C. Ed., Rio de Janeiro, 1981.
- [33] - B.W.Kort and D.P.Bertsekas, "Combined Primal-Dual and
Penalty Methods for Convex Programming",
SIAM J. Control and Optimization, vol. 14, n^o 2, pp.
268-294, February, 1976.
- [34] - H.W.Dommel, "Economic Dispatch and Optimal Power Flow
Methods for Planning and Operation", University of
British Columbia, 1978.
- [35] - R.B.Squires - "Economic Dispatch of Generation Directly
from Power System Voltages and Admittances", AIEE
Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.79,
part.III, pp. 1235-1244, 1961.
- [36] - B.Stott, O.Alsac and A.J.Monticelli, "Security Analysis
and Optimization", Proceedings of the IEEE, vol.75,
12, December, 1987

APÊNDICE A

EXPRESSÕES DE FLUXOS E PERDAS

Neste apêndice são desenvolvidas as expressões de fluxo de potência ativa, reativa e as perdas ativa em uma linha de transmissão e um transformador, ainda a expressão da potência reativa consumida por um elemento shunt.

A.1 FLUXOS DE POTÊNCIA ATIVA E REATIVA EM LINHA DE TRANSMISSÃO

Uma linha de transmissão em um sistema de energia elétrica em regime permanente é representado pelo seu modelo equivalente como mostra a Figura (A.1).

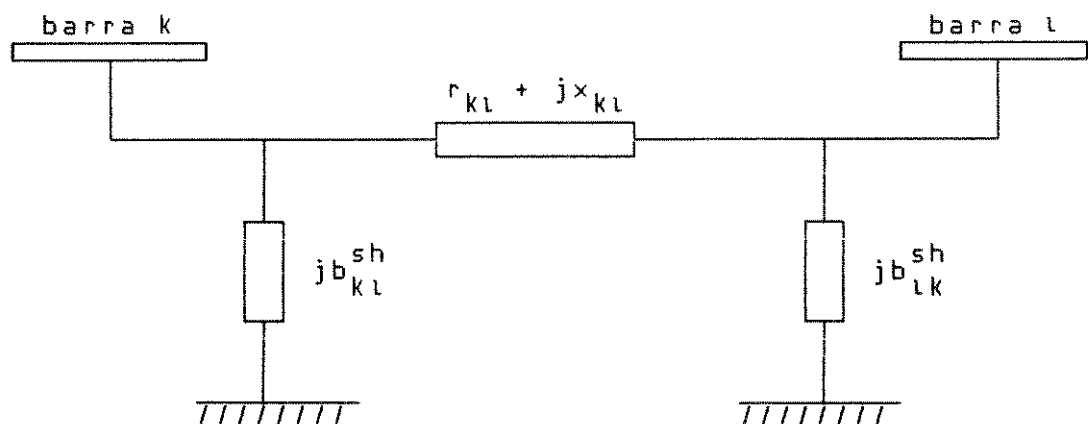


Figura (A.1)

onde:

r_{kl} - resistência série;

x_{kl} - reatância série;

b_{kl}^{sh} - susceptância shunt do lado da barra k.

O fluxo de potência complexa que parte da barra k sobre a ligação (kl) é dado por

$$S_{kl} = \hat{V}_k \left[j b_{kl}^{sh} \hat{V}_k + \frac{\hat{V}_k - \hat{V}_l}{r_{kl} - j x_{kl}} \right]^* \quad (A.1)$$

onde:

$\hat{V}_k$ - fasor associado à tensão da barra k;

* - indica complexo conjugado.

Fazendo

$$\hat{V}_k = V_k e^{j\theta_k}$$

$$\hat{V}_l = V_l e^{j\theta_l}$$

$$g_{kl} = \frac{r_{kl}}{r_{kl}^2 + x_{kl}^2}$$

$$b_{kl} = \frac{-x_{kl}}{r_{kl}^2 + x_{kl}^2}$$

e substituindo-se em (A.1), obtém-se

$$S_{kl} = g_{kl} V_k^2 - V_k V_l \left[g_{kl} \cos \theta_{kl} + b_{kl} \sin \theta_{kl} \right] + \quad (A.2)$$

$$+ j \left\{ - \left[b_{kl}^{sh} + b_{kl} \right] V_k^2 - V_k V_l \left[g_{kl} \sin \theta_{kl} - b_{kl} \cos \theta_k \right] \right\}$$

onde:

$$\theta_{kl} = \theta_k - \theta_l \quad (A.3)$$

Comparando-se (A.2) com

$$S_{kl} = P_{kl} + jQ_{kl} \quad (A.4)$$

obtém-se os fluxos de potência ativa e reativa que partem da barra k sobre a ligação kl que são dados por:

$$P_{kl} = g_{kl} V_k^2 - V_k V_l \left[g_{kl} \cos \theta_{kl} + b_{kl} \sin \theta_{kl} \right] \quad (A.5)$$

$$Q_{kl} = - \left[b_{kl}^{sh} + b_{kl} \right] V_k^2 - V_k V_l \left[g_{kl} \sin \theta_{kl} - b_{kl} \cos \theta_{kl} \right]. \quad (A.6)$$

A.2. FLUXO DE POTÊNCIA ATIVA E REATIVA EM TRANSFORMADOR

A figura A.3 apresenta um transformador em fase e sua admitância série y_{kl} e um auto-transformador ideal com relação 1 : t.

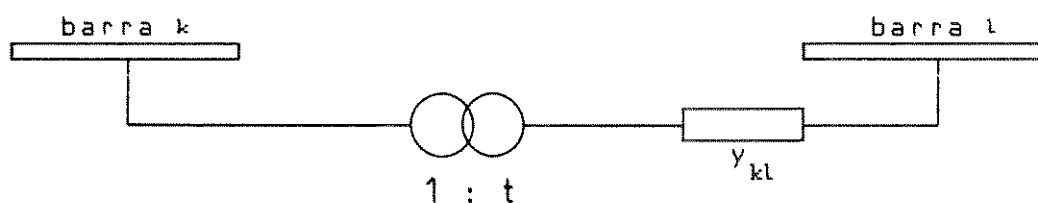


Figura A.2

O transformador em fase pode ser representado por um circuito equivalente do tipo Π , como mostra a figura (A.3).

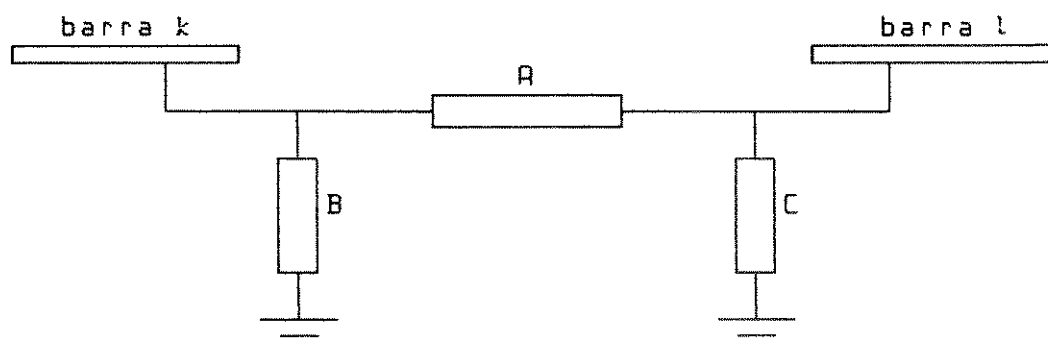


figura (A.3)

As admitâncias A , B e C são dadas por [11]:

$$A = t y_{kl} ; \quad B = t(t-1) y_{kl} ; \quad C = (1-t) y_{kl} \quad (A.7)$$

O fluxo de potência complexa de k para l é dado por

$$S_{kl} = t \hat{V}_k \left[y_{kl} \{ t \hat{V}_k - \hat{V}_l \} \right]^* \quad (A.8)$$

com as mesmas considerações feitas na secção A.1 obtém-se os fluxos de potência ativa e reativa que partem da barra k para l , que são dados por:

$$P_{kl} = (t.V_k)^2 g_{kl} - (t.V_k)V_l g_{kl} \cos \theta_{kl} - (t.V_k)V_l b_{kl} \sin \theta_{kl} \quad (A.9)$$

$$q_{kl} = - (t \cdot V_k)^2 b_{kl} + (t \cdot V_k) V_l b_{kl} \cos \theta_{kl} - (t \cdot V_k) V_l g_{kl} \sin \theta_{kl}. \quad (A.10)$$

A.3. POTÊNCIA REATIVA CONSUMIDA POR UM ELEMENTO SHUNT

Um elemento shunt ligado à uma barra é representado na figura (A.4)

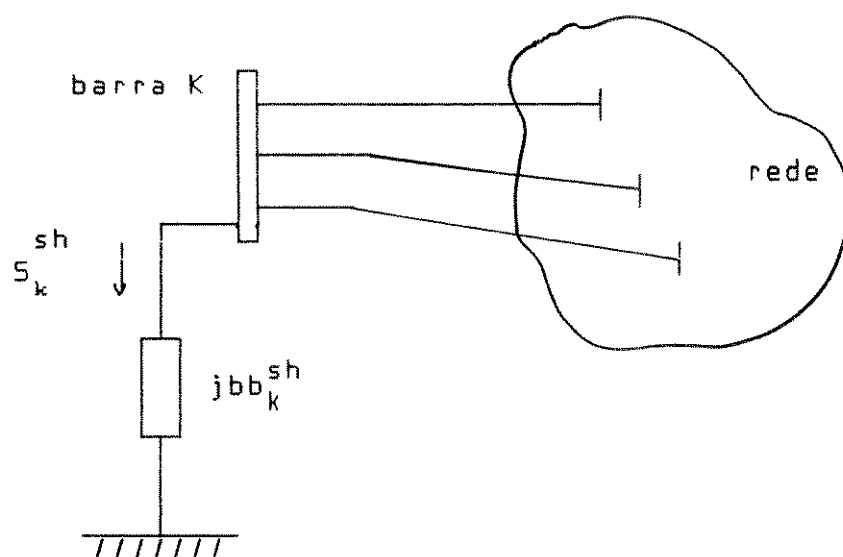


Figura (A.4)

onde:

bb_k^{sh} - susceptância do elemento shunt.

A potência complexa consumida pelo elemento shunt é dado por

$$S_k^{sh} = \hat{V}_k \left[jbb_k^{sh} \hat{V}_k \right]^* , \quad (A.11)$$

que fornece

$$S_k^{sh} = -jbb_k^{sh} V_k^2 \quad (A.12)$$

Comparando-se (A.8) com

$$S_k^{sh} = P_k^{sh} + jq_k^{sh} \quad , \quad (A.13)$$

obtem-se a potência reativa consumida pelo elemento shunt que é dada por:

$$q_k^{sh} = -bb_k^{sh} V_k^2 \quad . \quad (A.14)$$

A.4. PERDA ATIVA EM UMA LIGAÇÃO ELÉTRICA

A perda de potência ativa em uma ligação (kl) é obtida somando-se os fluxos que partem das barras k e l, sobre a ligação (kl), ou seja,

$$L_{kl} = P_{kl} + P_{lk} \quad (A.15)$$

que fornece

$$L_{kl} = g_{kl} \left[V_k^2 + V_l^2 - 2V_k V_l \cos \phi_{kl} \right] \quad (A.16)$$

Como para os transformadores a condutância é muito pequena em relação a susceptância, esta é normalmente considerada igual a zero, tornando portanto a perda de potência ativa no transformador igual a zero.

APÊNDICE B

FUNÇÃO OBJETIVO E SUAS DERIVADAS

Neste apêndice são apresentadas as expressões da perda de potência ativa, das componentes de seu gradiente e dos elementos da sua matriz hessiana.

B.1. FUNÇÃO OBJETIVO E ELEMENTOS DO VETOR GRADIENTE E DA MATRIZ HESSIANA

A expressão da perda de potência ativa ocorrida na transmissão é obtida de (A.15) e é dada por

$$L = \sum_{i,j \in \Omega} g_{ij} \left[V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij} \right] \quad (B.1)$$

As expressões para as componentes do vetor gradiente, obtidas de (A.1), são dadas por:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_i} = \sum_{j \in \Omega_i} 2g_{ij} V_i V_j \sin \theta_{ij} \quad (B.2)$$

e

$$\frac{\partial}{\partial V_i} L = \sum_{j \in \Omega_i} 2g_{ij} [V_i - V_j \cos \theta_{ij}] \quad (B.3)$$

As expressões para os elementos da matriz hessiana, obtidas de (B.2) e (B.3), são dadas por:

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta_i \partial \theta_j} L = \begin{cases} \sum_{l \in \Omega_i} 2g_{il} V_l \cos \theta_{il}, & j = i \\ -2g_{ij} V_i \cos \theta_{ij}, & j \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (B.4)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta_i \partial V_j} L = \begin{cases} \sum_{l \in \Omega_i} 2g_{il} V_l \cos \theta_{il}, & j = i \\ -2g_{ij} V_i \sin \theta_{ij}, & j \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (B.5)$$

e

$$\frac{\partial^2}{\partial V_i \partial V_j} L = \begin{cases} \sum_{l \in \Omega_i} 2g_{il}, & j = i \\ -2g_{ij} \cos \theta_{ij}, & j \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (B.6)$$

APÊNDICE C

RESTRIÇÕES E SUAS DERIVADAS

Neste apêndice são apresentadas as expressões das injeções nodais de potência, de suas respectivas derivadas e das derivadas dos fluxos de potência ativa e reativa nas ligações elétricas. Todas as expressões são colocadas em função das derivadas primeiras das injeções nodais de potência ativa.

C.1. INJEÇÕES NODAIS DE POTÊNCIA ATIVA E REATIVA

As expressões das injeções nodais e de potência ativa e reativa em uma barra, como ilustrada na figura (C.1), são obtidas somando-se os fluxos

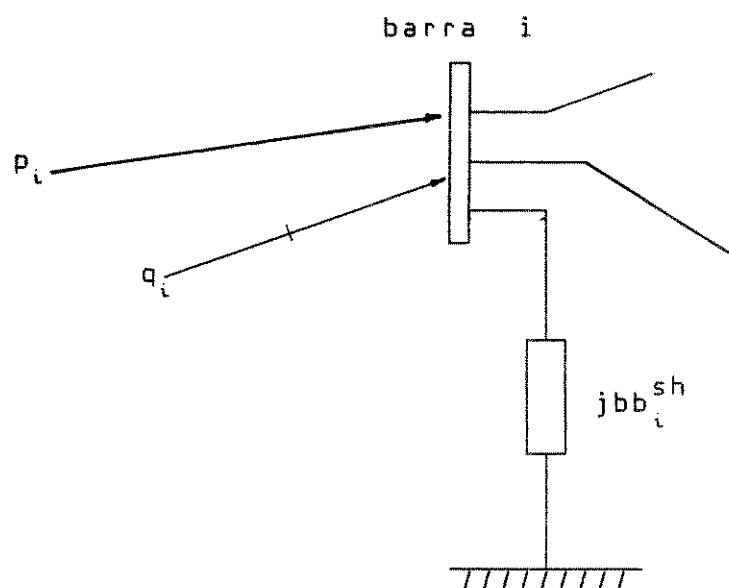


Figura (C.1)

dados pelas expressões (A.5) e (A.6) que fornecem

$$P_i = G_i V_i^2 - V_i \sum_{l \in \Omega_i} V_l \left[tq_{li} \cos \theta_{il} + tb_{li} \sin \theta_{il} \right], \quad (C.1)$$

$$q_i = -B_i V_i^2 - V_i \sum_{l \in \Omega_i} V_l \left[tq_{li} \sin \theta_{il} - tb_{li} \cos \theta_{il} \right], \quad (C.2)$$

onde:

$$G_i = \sum_{l \in \Omega_i} t^2 g_{il} \quad (C.3)$$

$$B_i = b b_i^{sh} + \sum_{l \in \Omega_i} (b_{il}^{sh} + t^2 b_{il})$$

para as linhas de transmissão $t = 1$.

C.2. DERIVADAS PRIMEIRAS DAS INJEÇÕES DE POTÊNCIA E DOS FLUXOS DE POTÊNCIA ATIVA E REATIVA

As derivadas primeiras de p são calculadas de (C.1) como:

$$\frac{\partial}{\partial t_n} p_i = \begin{cases} -V_i V_l b_{il} \sin \theta_{il} & , t_n \in \Omega_i \text{ e } \Omega_l \\ 0 & , t_n \notin \Omega_i \text{ e } \Omega_l \end{cases} \quad (C.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta_l} p_i = \begin{cases} -q_i - B_i V_i^2 & , l = i \\ -V_i V_l [g_{il} \sin \theta_{il} - b_{il} \cos \theta_{il}] & , l \in \Omega_i \\ 0 & , l \neq i \text{ e } l \notin \Omega_i \end{cases} \quad (C.5)$$

e

$$\frac{\partial}{\partial V_l} p_i = \begin{cases} \frac{1}{V_i} p_i + G_i V_i & , \quad l = i \\ - V_i \left[g_{il} \cos \Theta_{il} + b_{il} \sin \Theta_{il} \right] & , \quad l \in \Omega_i \\ 0 & , \quad l \neq i \text{ e } l \notin \Omega_i \end{cases} \quad (C.6)$$

As derivadas primeiras de q_i são calculadas de (C.2) como:

$$\frac{\partial}{\partial t_n} q_i = \begin{cases} - 2 t_n V_i^2 b_{il} + V_i V_l b_{il} \cos \Theta_{il} & , \quad t_n \in \Omega_i \text{ e } \Omega_l \\ 0 & , \quad t_n \notin \Omega_i \text{ e } \Omega_l \end{cases} \quad (C.7)$$

$$\frac{\partial}{\partial \omega_l} q_i = \begin{cases} p_i - G_i V_i^2 & , \quad l = i \\ - V_l \frac{\partial}{\partial V_l} p_i & , \quad l \in \Omega_i \\ 0 & , \quad l \neq i \text{ e } l \notin \Omega_i \end{cases} \quad (C.8)$$

e

$$\frac{\partial}{\partial V_l} q_i = \begin{cases} \frac{1}{V_i} q_i - B_i V_i & , \quad l = i \\ \frac{1}{V_l} \frac{\partial}{\partial q_l} p_i & , \quad l \in \Omega_i \\ 0 & , \quad l \neq i \text{ e } l \notin \Omega_i \end{cases} \quad (C.9)$$

As derivadas primeiras dos fluxos de potência ativa sobre as ligações elétricas ij são dadas por:

$$\frac{\partial}{\partial t_n} P_{ij} = \frac{\partial}{\partial t_n} P_i \quad (C.10)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta_l} P_{ij} = \begin{cases} - \frac{\partial}{\partial \theta_j} P_i & , \quad l = i \\ \frac{\partial}{\partial \theta_j} P_i & , \quad l = j \\ 0 & , \quad l \neq i \text{ e } l \neq j \end{cases} \quad (C.11)$$

e

$$\frac{\partial}{\partial V_l} p_{ij} = \begin{cases} 2g_{ij} V_i + \frac{V_j}{V_i} \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = i \\ \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = j \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \neq j. \end{cases} \quad (C.12)$$

As derivadas primeiras dos fluxos de potência reativa sobre as ligações elétricas ij são dadas por:

$$\frac{\partial}{\partial t_n} q_{ij} = \frac{\partial}{\partial t_n} q_i \quad (C.13)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta_l} q_{ij} = \begin{cases} V_j \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = i \\ -V_j \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = j \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \neq j \end{cases} \quad (C.14)$$

$$\frac{\partial}{\partial V_l} q_{ij} = \begin{cases} -2 \left[b_{ij}^{sh} + b_{ij} \right] V_i + \frac{1}{V_i} \frac{\partial}{\partial \theta_j} p_i, & l = i \\ \frac{1}{V_j} \frac{\partial}{\partial \theta_j} p_i, & l = j \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \neq j. \end{cases} \quad (C.15)$$

C.3. DERIVADAS SEGUNDAS DAS INJEÇÕES DE POTÊNCIA

As derivadas segundas de P_i são calculadas de (C.5) e (C.6) como:

$$\frac{\partial^2}{\partial e_l \partial t_n} P_i = \begin{cases} V_j \frac{\partial^2}{\partial V_j \partial t_n} P_i, & l = i \\ -V_j \frac{\partial^2}{\partial V_j \partial t_n} P_i, & l = j \\ 0, & l = i \text{ e } l = j \end{cases} \quad (C.16)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial e_l \partial e_m} P_i = \begin{cases} -P_i + G_i V_i^2, & l = m = i \\ -V_m \frac{\partial}{\partial V_m} P_i, & l = i \text{ e } m \in \Omega_i \\ -V_m \frac{\partial}{\partial V_m} P_i, & l = m \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (C.17)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta_l \partial V_m} p_i = \begin{cases} -\frac{1}{V_i} q_i - B_i V_i, & l = m = i \\ -\frac{1}{V_m} \frac{\partial}{\partial \theta_m} p_i, & l = i \text{ e } m \in \Omega_i \\ \frac{1}{V_m} \frac{\partial}{\partial \theta_m} p_i, & l \in \Omega_i \text{ e } m = i \\ \frac{1}{V_m} \frac{\partial}{\partial \theta_m} p_i, & l = m \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (C.18)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial V_l \partial t_n} p_i = \begin{cases} \frac{1}{V_i} \frac{\partial}{\partial t_n} + V_i \frac{\partial G_i}{\partial t_n}, & l = i \\ -V (g_{il} \cos \theta_{il} + b_{il} \sin \theta_{il}), & l \in \Omega_i \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \in \Omega_i \end{cases} \quad (C.19)$$

e

$$\frac{\partial^2}{\partial V_l \partial V_m} p_i = \begin{cases} 2G_i, & l = m = i \\ \frac{1}{V_l} \frac{\partial}{\partial V_m} p_i, & l = i \text{ e } m \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos.} \end{cases} \quad (C.20)$$

As derivadas segundas de q_i são calculadas das expressões (C.7), (C.8) e (C.9) como:

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta_l \partial t_n} q_i = \begin{cases} \frac{\partial}{\partial t_n} p_i, & l = i \\ -V_i \frac{\partial^2}{\partial V_l \partial t_n} p_i, & l \in \Omega_i \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \notin \Omega_i \end{cases} \quad (\text{C.21})$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta_l \partial \theta_m} q_i = \begin{cases} q_i - B_i V_i^2, & l = m = i \\ \frac{\partial}{\partial \theta_m} p_i, & l = i \text{ e } m \in \Omega_i \\ -\frac{\partial}{\partial \theta_m} p_i, & l = m \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (\text{C.22})$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \Theta_l \partial V_m} q_i = \begin{cases} \frac{1}{V_i} p_i - G_i V_i, & l = m = i \\ \frac{\partial}{\partial V_m} p_i, & l = i \text{ e } m \in \Omega_i \\ - \frac{V_l}{V_m} \frac{\partial}{\partial V_l} p_i, & l \in \Omega_i \text{ e } m = i \\ - \frac{\partial}{\partial V_m} p_i, & l = m \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (C.23)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial V_l \partial t_n} q_i = \begin{cases} \frac{1}{V_i} \frac{\partial}{\partial t_n} q_i + V_i \frac{\partial B_i}{\partial t_n}, & l = i \\ - \frac{1}{V_l} \frac{\partial^2}{\partial \Theta_l \partial t_n} p_i, & l \in \Omega_i \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \in \Omega_i \end{cases} \quad (C.24)$$

e

$$\frac{\partial^2}{\partial V_l \partial V_m} q_i = \begin{cases} - 2B_i, & l = m = i \\ \frac{1}{V_l V_m} \frac{\partial}{\partial \Theta_m} p_i, & l = i \text{ e } m \in \Omega_i \\ 0, & \text{nos outros casos.} \end{cases} \quad (C.25)$$

C.4. DERIVADAS SEGUNDAS DOS FLUXOS DE POTÊNCIA ATIVA E REATIVA

As derivadas segundas dos fluxos de potência ativa sobre as ligações ij são calculadas das expressões (C.10), (C.11) e (C.12) como:

$$\frac{\partial^2}{\partial e_l \partial t_n} p_{ij} = \begin{cases} - \frac{\partial^2}{\partial e_j \partial t_n} p_i, & l = i \\ \frac{\partial^2}{\partial e_j \partial t_n} p_i, & l = j \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \neq j \end{cases} \quad (\text{C.26})$$

$$\frac{\partial^2}{\partial e_l \partial e_m} p_{ij} = \begin{cases} - V_j \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = m = i \\ - V_j \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = m = j \\ - V_j \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = i \text{ e } m = j \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (\text{C.27})$$

$$\frac{\partial^2}{\partial e_l \partial V_m} p_{ij} = \begin{cases} -\frac{1}{V_i} \frac{\partial}{\partial e_j} p_i, & l = m = i \\ -\frac{1}{V_j} \frac{\partial}{\partial e_j} p_i, & l = m = j \\ -\frac{1}{V_j} \frac{\partial}{\partial e_j} p_i, & l = i \text{ e } m = j \\ -\frac{1}{V_i} \frac{\partial}{\partial e_j} p_i, & l = j \text{ e } m = i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (C.28)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial V_l \partial t_n} p_{ij} = \begin{cases} 2V_i \frac{\partial g_{ij}}{\partial t_n} + \frac{V_j}{V_i} \frac{\partial}{\partial V_j \partial t_n} p_i, & l = i \\ \frac{\partial^2}{\partial V_j \partial t_n} p_i, & l = j \\ 0 & \text{se } l \neq i \text{ e } l \neq j \end{cases} \quad (C.29)$$

e

$$\frac{\partial^2}{\partial V_l \partial V_m} p_{ij} = \begin{cases} 2g_{ij}, & l = m = i \\ -\frac{1}{V_i} \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = i \text{ e } m = j \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (C.30)$$

As derivadas segundas dos fluxos de potência

reativa sobre as ligações ij são calculadas das expressões (C.13) (C.14) e (C.15) como:

$$\frac{\partial^2}{\partial e_l \partial t_n} q_{ij} = \begin{cases} V_i \frac{\partial^2}{\partial V_j \partial t_n} p_i, & l = i \\ - V_i \frac{\partial^2}{\partial V_j \partial t_n} p_i, & l = i \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \neq j \end{cases} \quad (\text{C.31})$$

$$\frac{\partial^2}{\partial e_l \partial e_m} q_{ij} = \begin{cases} \frac{\partial}{\partial e_j} p_i, & l = m = i \\ \frac{\partial}{\partial e_j} p_i, & l = m = j \\ \frac{\partial}{\partial e_j} p_i, & l = i \text{ e } m = j \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (\text{C.32})$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \Theta_l \partial V_m} q_{ij} = \begin{cases} \frac{V_i}{V_j} \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = m = i \\ - \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = m = j \\ \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = i \text{ e } m = j \\ - \frac{V_j}{V_i} \frac{\partial}{\partial V_j} p_i, & l = j \text{ e } m = i \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (C.33)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial V_l \partial t_n} p_{ij} = \begin{cases} - 2V_i \frac{\partial b_{ij}}{\partial t_n} + \frac{1}{V_i} \cdot \frac{\partial}{\partial \Theta_j \partial t_n} p_i, & l = i \\ V_i \frac{\partial^2}{\partial \Theta_j \partial t_n} p_i, & l = j \\ 0, & l \neq i \text{ e } l \neq j \end{cases} \quad (C.34)$$

e

$$\frac{\partial^2}{\partial V_l \partial V_m} q_{ij} = \begin{cases} - 2 \left[b_{ij}^{sh} + b_{ij} \right], & l = m = i \\ \frac{1}{V_i V_j} \frac{\partial}{\partial \Theta_j} p_i, & l = i \text{ e } m = j \\ 0, & \text{nos outros casos} . \end{cases} \quad (C.35)$$

APENDICE D

ESTADOS INICIAL E FINAL DOS SISTEMAS AEP30 E IEEE118

ESTADO INICIAL DO SISTEMA AEP30 - CASO RELATIVO

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.500	1.060	1.118	0.00	-9.000	0.000	5.000	-9.000	0.000	9.000
2	.900	1.045	1.118	0.00	0.261	0.000	0.261	-9.127	0.000	8.873
3	.900	1.000	1.118	0.00	-0.024	0.000	-0.024	-0.012	0.000	-0.012
4	.500	1.000	1.118	0.00	-0.076	0.000	-0.076	-0.016	0.000	-0.016
5	.500	1.010	1.118	0.00	-0.042	0.000	-0.042	-9.190	0.000	8.810
6	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	.900	1.000	1.118	0.00	-0.228	0.000	-0.228	-0.109	0.000	-0.109
8	.500	1.010	1.118	0.00	-0.300	0.000	-0.300	-9.200	0.000	8.700
9	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	.500	1.000	1.118	0.00	-0.058	0.000	-0.058	-0.020	0.000	-0.020
11	.900	1.082	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	-9.000	0.000	9.000
12	.500	1.000	1.118	0.00	-0.112	0.000	-0.112	-0.075	0.000	-0.075
13	.900	1.071	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	-9.000	0.000	9.000
14	.500	1.000	1.118	0.00	-0.062	0.000	-0.062	-0.016	0.000	-0.016
15	.500	1.000	1.118	0.00	-0.082	0.000	-0.082	-0.025	0.000	-0.025
16	.900	1.000	1.118	0.00	-0.035	0.000	-0.035	-0.018	0.000	-0.018
17	.900	1.000	1.118	0.00	-0.090	0.000	-0.090	-0.058	0.000	-0.058
18	.500	1.000	1.118	0.00	-0.032	0.000	-0.032	-0.009	0.000	-0.009
19	.900	1.000	1.118	0.00	-0.055	0.000	-0.055	-0.034	0.000	-0.034
20	.500	1.000	1.118	0.00	-0.022	0.000	-0.022	-0.007	0.000	-0.007
21	.500	1.000	1.118	0.00	-0.175	0.000	-0.175	-0.112	0.000	-0.112
22	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	.500	1.000	1.118	0.00	-0.032	0.000	-0.032	-0.016	0.000	-0.016
24	.500	1.000	1.118	0.00	-0.087	0.000	-0.087	-0.067	0.000	-0.067
25	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	.900	1.000	1.118	0.00	-0.035	0.000	-0.035	-0.023	0.000	-0.023
27	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	.500	1.000	1.118	0.00	-0.024	0.000	-0.024	-0.009	0.000	-0.009
30	.500	1.000	1.118	0.00	-0.106	0.000	-0.106	-0.019	0.000	-0.019

(CONTINUACAO)

TRANSFORMADORES			
BARRAS	TPMIN	TAP(I)	TPMAX
6- 9	0.950	C.990	1.050
6-10	0.950	C.990	1.050
4-12	C.950	C.990	1.050
29-27	C.950	C.990	1.050

ESTADO FINAL DO SISTEMA AEP30 - CASO RELATIVO

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.500	1.053	1.118	0.00	0.000	2.530	9.000	-9.000	-0.079	9.000
2	.500	1.032	1.118	-0.09	0.261	0.261	0.261	-9.127	0.194	8.873
3	.500	1.018	1.118	-0.14	-0.024	-0.024	-0.024	-0.012	-0.012	-0.012
4	.500	1.010	1.118	-0.17	-0.076	-0.076	-0.076	-0.016	-0.016	-0.016
5	.500	1.010	1.118	-0.25	-0.542	-0.542	-0.542	-9.190	0.287	8.810
6	.500	1.004	1.118	-0.20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	.500	0.998	1.118	-0.23	-0.228	-0.228	-0.228	-0.109	-0.109	-0.109
8	.500	1.000	1.118	-0.21	-0.300	-0.300	-0.300	-0.016	0.016	8.700
9	.500	1.017	1.118	-0.26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
10	.500	1.015	1.118	-0.29	-0.058	-0.058	-0.058	-0.020	-0.020	-0.020
11	.500	1.072	1.118	-0.26	0.000	0.000	0.000	-9.000	0.283	9.000
12	.500	1.019	1.118	-0.27	-0.112	-0.112	-0.112	-0.075	-0.075	-0.075
13	.500	1.057	1.118	-0.27	0.000	0.000	0.000	-9.000	0.287	9.000
14	.500	1.005	1.118	-0.29	-0.062	-0.062	-0.062	-0.016	-0.016	-0.016
15	.500	1.001	1.118	-0.29	-0.082	-0.082	-0.082	-0.025	-0.025	-0.025
16	.500	1.010	1.118	-0.29	-0.035	-0.035	-0.035	-0.018	-0.018	-0.018
17	.500	1.008	1.118	-0.29	-0.090	-0.090	-0.090	-0.058	-0.058	-0.058
18	.500	0.994	1.118	-0.30	-0.022	-0.022	-0.022	-0.009	-0.009	-0.009
19	.500	0.992	1.118	-0.31	-0.095	-0.095	-0.095	-0.034	-0.034	-0.034
20	.500	0.997	1.118	-0.30	-0.022	-0.022	-0.022	-0.007	-0.007	-0.007
21	.500	1.003	1.118	-0.30	-0.175	-0.175	-0.175	-0.112	-0.112	-0.112
22	.500	1.004	1.118	-0.29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	.500	0.994	1.118	-0.30	-0.022	-0.022	-0.022	-0.016	-0.016	-0.016
24	.500	0.994	1.118	-0.30	-0.087	-0.087	-0.087	-0.067	-0.067	-0.067
25	.500	1.001	1.118	-0.29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	.500	0.983	1.118	-0.30	-0.035	-0.035	-0.035	-0.023	-0.023	-0.023
27	.500	1.013	1.118	-0.28	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.000
28	.500	0.997	1.118	-0.21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	.500	0.993	1.118	-0.31	-0.024	-0.024	-0.024	-0.009	-0.009	-0.009
30	.500	0.982	1.118	-0.32	-0.106	-0.106	-0.106	-0.019	-0.019	-0.019

(CONTINUACAO)

TRANSFORMADORES			
BARRAS	TPMIN	TAP(1)	TPMAX
6- 9	0.950	1.038	1.050
6-10	0.950	0.956	1.050
4-12	0.950	1.015	1.050
28-27	0.950	0.958	1.050

ESTADO INICIAL DO SISTEMA APP30 - CASO REATIVO (RECURSOS LIMITADOS)

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.900	1.060	1.118	0.00	-9.000	0.0000	9.000	-0.400	0.0000	0.500
2	.900	1.045	1.118	0.00	0.261	0.0000	0.261	-0.527	0.0000	0.373
3	.900	1.000	1.118	0.00	-0.024	0.0000	-0.024	-0.012	0.0000	-0.012
4	.900	1.000	1.118	0.00	-0.076	0.0000	-0.076	-0.016	0.0000	-0.016
5	.900	1.010	1.118	0.00	-0.042	0.0000	-0.042	-0.590	0.0000	0.210
6	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000
7	.900	1.000	1.118	0.00	-0.228	0.0000	-0.228	-0.109	0.0000	-0.109
8	.900	1.010	1.118	0.00	-0.300	0.0000	-0.300	-0.400	0.0000	0.100
9	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000
10	.900	1.000	1.118	0.00	-0.058	0.0000	-0.058	-0.020	0.0000	-0.020
11	.900	1.082	1.118	0.00	0.000	0.0000	0.000	-0.060	0.0000	0.240
12	.900	1.000	1.118	0.00	-0.112	0.0000	-0.112	-0.075	0.0000	0.075
13	.900	1.071	1.118	0.00	0.000	0.0000	0.000	-0.060	0.0000	0.240
14	.900	1.000	1.118	0.00	-0.062	0.0000	-0.062	-0.016	0.0000	-0.016
15	.900	1.000	1.118	0.00	-0.082	0.0000	-0.082	-0.025	0.0000	-0.025
16	.900	1.000	1.118	0.00	-0.035	0.0000	-0.035	-0.018	0.0000	-0.018
17	.900	1.000	1.118	0.00	-0.090	0.0000	-0.090	-0.058	0.0000	-0.058
18	.900	1.000	1.118	0.00	-0.032	0.0000	-0.032	-0.009	0.0000	-0.009
19	.900	1.000	1.118	0.00	-0.095	0.0000	-0.095	-0.034	0.0000	-0.034
20	.900	1.000	1.118	0.00	-0.022	0.0000	-0.022	-0.007	0.0000	-0.007
21	.900	1.000	1.118	0.00	-0.175	0.0000	-0.175	-0.112	0.0000	-0.112
22	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000
23	.900	1.000	1.118	0.00	-0.032	0.0000	-0.032	-0.015	0.0000	-0.015
24	.900	1.000	1.118	0.00	-0.087	0.0000	-0.087	-0.067	0.0000	-0.067
25	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000
26	.900	1.000	1.118	0.00	-0.035	0.0000	-0.035	-0.023	0.0000	-0.023
27	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000
28	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000
29	.900	1.000	1.118	0.00	-0.024	0.0000	-0.024	-0.009	0.0000	-0.009
30	.900	1.000	1.118	0.00	-0.106	0.0000	-0.106	-0.019	0.0000	-0.019

(CONTINUACION)

TRANSFORMADORES			
BARRAS	TPMIN	TAP(1)	TPMAX
6-9	0.950	0.990	1.050
6-10	0.950	0.990	1.050
4-12	0.950	0.990	1.050
28-27	0.950	0.990	1.050

ESTADO FINAL DO SISTEMA AFP30 - CASO REATIVO (RECURSOS LIMITADOS)

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	900	1.081	1.118	0.009	-9.000	2.522	5.000	-0.402	0.019	0.500
2	900	1.057	1.118	-0.013	-0.261	6.224	0.261	-0.527	0.341	0.373
3	900	1.037	1.118	-0.016	-0.024	-0.024	-0.024	-0.012	-0.012	-0.012
4	900	1.014	1.118	-0.019	-0.942	-9.422	-0.942	-0.590	0.111	0.210
5	900	1.021	1.118	-0.022	-0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000
6	900	1.010	1.118	-0.020	-0.228	-2.282	-0.228	-0.109	-0.109	-0.109
7	900	1.015	1.118	-0.024	-0.300	-3.000	-0.300	-0.400	-0.400	-0.400
8	900	1.072	1.118	-0.027	-0.058	-0.582	-0.058	-0.020	0.000	0.000
9	900	1.064	1.118	-0.024	-0.000	0.000	0.000	-0.060	0.238	0.200
10	900	1.174	1.118	-0.026	-0.112	-1.122	-0.112	-0.075	-0.074	-0.075
11	900	1.029	1.118	-0.027	-0.062	-0.622	-0.062	-0.016	-0.233	-0.240
12	900	1.055	1.118	-0.027	-0.082	-0.822	-0.082	-0.025	-0.016	-0.016
13	900	1.053	1.118	-0.027	-0.090	-0.902	-0.090	-0.035	-0.025	-0.025
14	900	1.069	1.118	-0.028	-0.032	-0.322	-0.032	-0.058	-0.058	-0.058
15	900	1.046	1.118	-0.028	-0.032	-0.322	-0.032	-0.032	-0.032	-0.032
16	900	1.044	1.118	-0.027	-0.022	-0.222	-0.022	-0.034	-0.034	-0.034
17	900	1.051	1.118	-0.027	-0.175	-1.752	-0.175	-0.112	-0.112	-0.112
18	900	1.052	1.118	-0.027	-0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000
19	900	1.044	1.118	-0.028	-0.032	-0.322	-0.032	-0.016	-0.016	-0.016
20	900	1.037	1.118	-0.028	-0.087	-0.872	-0.087	-0.067	-0.067	-0.067
21	900	1.026	1.118	-0.028	-0.035	-0.352	-0.035	-0.000	0.000	0.000
22	900	1.008	1.118	-0.026	-0.000	0.000	0.000	-0.023	-0.023	-0.023
23	900	1.027	1.118	-0.020	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	900	1.017	1.118	-0.028	-0.024	-0.242	-0.024	0.000	0.000	0.000
25	900	1.008	1.118	-0.028	-0.106	-1.062	-0.106	-0.009	-0.009	-0.009
26	900	0.996	1.118	-0.023	-0.106	-1.062	-0.106	-0.019	-0.019	-0.019

(CONTINUACAO)

TRANSFORMADORES			
BAR RAS	TPMIN	TAP(1)	TPMAX
6- 9	0.950	0.978	1.050
6-10	0.950	0.963	1.050
4-12	0.950	0.958	1.050
28-27	0.950	0.980	1.050

ESTADO INICIAL DO SISTEMA AEP30 - CASO ATIVO/REATIVO

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.500	1.060	1.118	0.00	1.000	2.530	9.000	-0.900	-0.079	0.900
2	.500	1.045	1.118	0.00	0.587	0.261	1.000	-1.027	0.194	0.773
3	.900	1.000	1.118	0.00	-0.024	-0.024	-0.024	-0.012	-0.012	-0.012
4	.500	1.000	1.118	0.00	-0.076	-0.076	-0.076	-0.016	-0.016	-0.016
5	.900	1.010	1.118	0.00	-0.942	-0.942	-0.942	-1.090	0.287	0.710
6	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	.500	1.000	1.118	0.00	-0.228	-0.228	-0.228	-0.109	-0.109	-0.109
8	.500	1.010	1.118	0.00	-0.300	-0.300	-0.300	-1.200	-0.016	0.600
9	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
10	.500	1.000	1.118	0.00	-0.058	-0.058	-0.058	-0.020	-0.020	-0.020
11	.900	1.082	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	-0.900	0.283	0.900
12	.900	1.000	1.118	0.00	-0.112	-0.112	-0.112	-0.075	-0.075	-0.075
13	.900	1.071	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	-0.900	0.287	0.900
14	.500	1.000	1.118	0.00	-0.062	-0.062	-0.062	-0.016	-0.016	-0.016
15	.500	1.000	1.118	0.00	-0.082	-0.082	-0.082	-0.025	-0.025	-0.025
16	.500	1.000	1.118	0.00	-0.035	-0.035	-0.035	-0.018	-0.018	-0.018
17	.500	1.000	1.118	0.00	-0.090	-0.090	-0.090	-0.058	-0.058	-0.058
18	.500	1.000	1.118	0.00	-0.032	-0.032	-0.032	-0.009	-0.009	-0.009
19	.900	1.000	1.118	0.00	-0.095	-0.095	-0.095	-0.024	-0.024	-0.024
20	.900	1.000	1.118	0.00	-0.022	-0.022	-0.022	-0.007	-0.007	-0.007
21	.900	1.000	1.118	0.00	-0.175	-0.175	-0.175	-0.112	-0.112	-0.112
22	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	.500	1.000	1.118	0.00	-0.032	-0.032	-0.032	-0.016	-0.016	-0.016
24	.500	1.000	1.118	0.00	-0.087	-0.087	-0.087	-0.067	-0.067	-0.067
25	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	.500	1.000	1.118	0.00	-0.035	-0.035	-0.035	-0.023	-0.023	-0.023
27	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000
28	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	.900	1.000	1.118	0.00	-0.024	-0.024	-0.024	-0.009	-0.009	-0.009
30	.900	1.000	1.118	0.00	-0.106	-0.106	-0.106	-0.019	-0.019	-0.019

(CONTINUACAO)

TRANSFORMADORES

BARRAS	TPMIN	TAP (I)	TPMAX
6- 9	0.950	0.978	1.050
6-10	0.950	0.969	1.050
4-12	0.950	0.932	1.050
28-27	0.950	0.968	1.050

ESTADO FINAL DO SISTEMA AEP30 - CASC ATIVO/REATIVO

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.500	1.073	1.118	0.00	1.000	1.782	5.000	-0.900	0.867	0.900
2	.500	1.018	1.118	-0.04	0.587	0.987	1.000	-1.027	-0.832	0.773
3	.500	1.013	1.118	-0.11	-0.024	-0.024	-0.024	-0.012	-0.012	-0.012
4	.500	1.000	1.118	-0.13	-0.076	-0.076	-0.076	-0.016	-0.016	-0.016
5	.500	1.016	1.118	-0.22	-0.942	-0.942	-0.942	-1.090	0.485	0.710
6	.500	0.994	1.118	-0.16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	.500	0.995	1.118	-0.15	-0.228	-0.228	-0.228	-0.109	-0.109	-0.109
8	.500	0.988	1.118	-0.17	-0.300	-0.300	-0.300	-0.065	-0.065	0.600
9	.500	1.019	1.118	-0.22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	.500	1.016	1.118	-0.25	-0.058	-0.058	-0.058	-0.020	-0.020	-0.020
11	.500	1.067	1.118	-0.22	0.000	0.000	0.000	-0.900	0.246	0.900
12	.500	1.026	1.118	-0.24	-0.112	-0.112	-0.112	-0.075	-0.075	-0.075
13	.500	1.049	1.118	-0.24	0.000	0.000	0.000	-0.900	0.170	0.900
14	.500	1.011	1.118	-0.25	-0.062	-0.062	-0.062	-0.016	-0.016	-0.016
15	.500	1.007	1.118	-0.25	-0.082	-0.082	-0.082	-0.025	-0.025	-0.025
16	.500	1.014	1.118	-0.25	-0.035	-0.035	-0.035	-0.018	-0.018	-0.018
17	.500	1.010	1.118	-0.25	-0.090	-0.090	-0.090	-0.058	-0.058	-0.058
18	.500	0.998	1.118	-0.27	-0.032	-0.032	-0.032	-0.009	-0.009	-0.009
19	.500	0.995	1.118	-0.27	-0.095	-0.095	-0.095	-0.034	-0.034	-0.034
20	.500	1.000	1.118	-0.26	-0.022	-0.022	-0.022	-0.007	-0.007	-0.007
21	.500	1.004	1.118	-0.26	-0.175	-0.175	-0.175	-0.112	-0.112	-0.112
22	.500	1.004	1.118	-0.26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	.500	0.998	1.118	-0.26	-0.032	-0.032	-0.032	-0.016	-0.016	-0.016
24	.500	0.995	1.118	-0.26	-0.087	-0.087	-0.087	-0.067	-0.067	-0.067
25	.500	0.999	1.118	-0.26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	.500	0.981	1.118	-0.26	-0.035	-0.035	-0.035	-0.023	-0.023	-0.023
27	.500	1.011	1.118	-0.25	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000
28	.500	0.987	1.118	-0.17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	.500	0.991	1.118	-0.27	-0.024	-0.024	-0.024	-0.009	-0.009	-0.009
30	.500	0.979	1.118	-0.28	-0.106	-0.106	-0.106	-0.019	-0.019	-0.019

(CENTINUACAO)

	TRANSFORMADORES			
BARRAS	TPMIN	TAP(1)	TFMAX	
6- 9	0.950	1.014	1.050	
6-10	0.950	0.967	1.050	
4-12	0.950	0.962	1.050	
28-27	0.950	0.952	1.050	

ESTADO INICIAL DO SISTEMA IEEE118 - CASO RELATIVO

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.500	0.955	1.118	0.00	-0.510	0.000	-0.510	-9.270	0.000	8.730
2	.500	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.050	0.000	-0.050
3	.500	1.000	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-0.100	0.000	-0.100
4	.500	0.598	1.118	0.00	-0.250	0.000	-0.390	-9.170	0.000	8.880
5	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	.500	0.990	1.118	0.00	-0.520	0.000	-0.520	-9.220	0.000	8.780
7	.500	1.000	1.118	0.00	-0.190	0.000	-0.190	-0.020	0.000	-0.020
8	.500	1.015	1.118	0.00	-0.280	0.000	-0.280	-9.000	0.000	9.000
9	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	.500	1.050	1.118	0.00	4.500	0.000	4.500	-9.000	0.000	9.000
11	.500	1.000	1.118	0.00	-0.700	0.000	-0.700	-0.230	0.000	-0.230
12	.500	0.590	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	-9.000	0.000	9.000
13	.500	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-0.340	-0.160	0.000	-0.160
14	.500	1.000	1.118	0.00	-0.140	0.000	-0.140	-0.010	0.000	-0.010
15	.500	0.970	1.118	0.00	-0.900	0.000	-0.900	-9.300	0.000	8.700
16	.500	1.000	1.118	0.00	-0.250	0.000	-0.250	-0.100	0.000	-0.100
17	.500	1.000	1.118	0.00	-0.110	0.000	-0.110	-0.030	0.000	-0.030
18	.500	0.973	1.118	0.00	-0.600	0.000	-0.600	-9.340	0.000	8.660
19	.500	0.962	1.118	0.00	-0.450	0.000	-0.450	-9.250	0.000	8.750
20	.500	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.020	0.000	-0.020
21	.500	1.000	1.118	0.00	-0.140	0.000	-0.140	-0.080	0.000	-0.080
22	.500	1.000	1.118	0.00	-0.100	0.000	-0.100	-0.050	0.000	-0.050
23	.500	1.000	1.118	0.00	-0.070	0.000	-0.070	-0.030	0.000	-0.030
24	.500	0.992	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.130	-9.000	0.000	9.000
25	.500	1.050	1.118	0.00	2.200	0.000	2.200	-9.000	0.000	9.000
26	.500	1.015	1.118	0.00	3.140	0.000	3.140	-9.000	0.000	9.000
27	.500	0.968	1.118	0.00	-0.710	0.000	-0.710	-9.130	0.000	8.870
28	.500	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-0.170	-0.070	0.000	-0.070
29	.500	1.000	1.118	0.00	-0.240	0.000	-0.240	-0.040	0.000	-0.040
30	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	.500	0.967	1.118	0.00	-0.360	0.000	-0.360	-9.270	0.000	8.730
32	.500	0.963	1.118	0.00	-0.590	0.000	-0.590	-9.230	0.000	8.770
33	.500	1.000	1.118	0.00	-0.230	0.000	-0.230	-0.090	0.000	-0.090
34	.500	0.984	1.118	0.00	-0.550	0.000	-0.550	-9.260	0.000	8.740
35	.500	1.000	1.118	0.00	-0.330	0.000	-0.330	-0.090	0.000	-0.090

(CONTINUACAO)

36	.900	0.980	1.118	0.00	-0.310	0.000	-0.310	-9.170	0.000	8.830
37	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
38	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	.900	1.000	1.118	0.00	-0.270	0.000	-0.270	-0.110	0.000	-0.110
40	.900	0.970	1.118	0.00	-0.660	0.000	-0.660	-9.230	0.000	8.770
41	.900	1.000	1.118	0.00	-0.370	0.000	-0.370	-0.100	0.000	-0.100
42	.900	0.985	1.118	0.00	-0.560	0.000	-0.560	-9.230	0.000	8.770
43	.900	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.070	0.000	-0.070
44	.900	1.000	1.118	0.00	-0.160	0.000	-0.160	-0.080	0.000	-0.080
45	.900	1.000	1.118	0.00	-0.530	0.000	-0.530	-0.220	0.000	-0.220
46	.900	1.005	1.118	0.00	-0.090	0.000	-0.090	-9.100	0.000	8.900
47	.900	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-0.340	0.000	0.000	0.000
48	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.110	0.000	-0.110
49	.900	1.025	1.118	0.00	1.170	0.000	1.170	-9.300	0.000	8.700
50	.900	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-0.170	-0.040	0.000	-0.040
51	.900	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-0.170	-0.080	0.000	-0.080
52	.900	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.050	0.000	-0.050
53	.900	1.000	1.118	0.00	-0.230	0.000	-0.230	-0.110	0.000	-0.110
54	.900	0.955	1.118	0.00	-0.650	0.000	-0.650	-9.320	0.000	8.680
55	.900	0.952	1.118	0.00	-0.630	0.000	-0.630	-9.220	0.000	8.780
56	.900	0.954	1.118	0.00	-0.840	0.000	-0.840	-9.180	0.000	8.820
57	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.030	0.000	-0.030
58	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.030	0.000	-0.030
59	.900	0.985	1.118	0.00	-1.220	0.000	-1.220	-9.350	0.000	7.870
60	.900	1.000	1.118	0.00	-0.780	0.000	-0.780	-0.030	0.000	-0.030
61	.900	0.995	1.118	0.00	1.600	0.000	1.600	-9.000	0.000	9.000
62	.900	0.998	1.118	0.00	-0.770	0.000	-0.770	-9.140	0.000	8.860
63	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
64	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65	.900	1.005	1.118	0.00	3.910	0.000	3.910	-9.000	0.000	9.000
66	.900	1.050	1.118	0.00	3.530	0.000	3.530	-9.180	0.000	8.820
67	.900	1.000	1.118	0.00	-0.280	0.000	-0.280	-0.070	0.000	-0.070
68	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69	.900	1.035	1.118	0.00	5.160	0.000	5.160	-9.000	0.000	9.000
70	.900	0.984	1.118	0.00	-0.660	0.000	-0.660	-9.200	0.000	8.800
71	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72	.900	0.980	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-9.000	0.000	9.000
73	.900	0.991	1.118	0.00	-0.060	0.000	-0.060	-9.000	0.000	9.000
74	.900	0.958	1.118	0.00	-0.680	0.000	-0.680	-9.270	0.000	8.730
75	.900	1.000	1.118	0.00	-0.470	0.000	-0.470	-0.110	0.000	-0.110
76	.900	0.943	1.118	0.00	-0.680	0.000	-0.680	-9.360	0.000	8.640
77	.900	1.006	1.118	0.00	-0.610	0.000	-0.610	-9.280	0.000	8.720

(CONTINUACAO)

78	.500	1.000	1.118	0.00	-0.710	0.000	-0.710	-0.260	0.000	-0.260
79	.900	1.000	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-0.320	0.000	-0.320
80	.900	1.040	1.118	0.00	3.470	0.000	3.470	-9.260	0.000	8.740
81	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82	.900	1.000	1.118	0.00	-0.540	0.000	-0.540	-0.270	0.000	-0.270
83	.500	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.100	0.000	-0.100
84	.500	1.000	1.118	0.00	-0.110	0.000	-0.110	-0.070	0.000	-0.070
85	.900	0.985	1.118	0.00	-0.240	0.000	-0.240	-9.150	0.000	8.850
86	.500	1.000	1.118	0.00	-0.210	0.000	-0.210	-0.100	0.000	-0.100
87	.500	1.015	1.118	0.00	0.040	0.000	0.040	-9.000	0.000	9.000
88	.500	1.000	1.118	0.00	-0.480	0.000	-0.480	-0.100	0.000	-0.100
89	.500	1.005	1.118	0.00	6.070	0.000	6.070	-9.000	0.000	9.000
90	.900	0.985	1.118	0.00	-1.630	0.000	-1.630	-9.420	0.000	8.580
91	.500	0.980	1.118	0.00	-0.100	0.000	-0.100	-9.000	0.000	9.000
92	.900	0.990	1.118	0.00	-0.650	0.000	-0.650	-9.100	0.000	8.900
93	.500	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.070	0.000	-0.070
94	.500	1.000	1.118	0.00	-0.300	0.000	-0.300	-0.160	0.000	-0.160
95	.900	1.000	1.118	0.00	-0.420	0.000	-0.420	-0.310	0.000	-0.310
96	.900	1.000	1.118	0.00	-0.380	0.000	-0.380	-0.150	0.000	-0.150
97	.900	1.000	1.118	0.00	-0.150	0.000	-0.150	-0.090	0.000	-0.090
98	.500	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-0.340	-0.080	0.000	-0.080
99	.900	1.010	1.118	0.00	-0.420	0.000	-0.420	-9.000	0.000	9.000
100	.900	1.017	1.118	0.00	2.150	0.000	2.150	-9.180	0.000	8.820
101	.900	1.000	1.118	0.00	-0.220	0.000	-0.220	-0.150	0.000	-0.150
102	.900	1.000	1.118	0.00	-0.050	0.000	-0.050	-0.030	0.000	-0.030
103	.500	1.010	1.118	0.00	0.170	0.000	0.170	-9.160	0.000	8.840
104	.500	0.971	1.118	0.00	-0.380	0.000	-0.380	-9.250	0.000	8.750
105	.900	0.965	1.118	0.00	-0.310	0.000	-0.310	-9.260	0.000	8.740
106	.900	1.000	1.118	0.00	-0.430	0.000	-0.430	-0.160	0.000	-0.160
107	.500	0.952	1.118	0.00	-0.500	0.000	-0.500	-9.120	0.000	8.880
108	.500	1.000	1.118	0.00	-0.020	0.000	-0.020	-0.010	0.000	-0.010
109	.900	1.000	1.118	0.00	-0.080	0.000	-0.080	-0.030	0.000	-0.030
110	.900	0.973	1.118	0.00	-0.350	0.000	-0.350	-9.300	0.000	8.700
111	.900	0.980	1.118	0.00	0.360	0.000	0.360	-9.000	0.000	9.000
112	.900	0.975	1.118	0.00	-0.680	0.000	-0.680	-9.130	0.000	8.870
113	.500	0.993	1.118	0.00	-0.060	0.000	-0.060	-9.000	0.000	9.000
114	.500	1.000	1.118	0.00	-0.080	0.000	-0.080	-0.030	0.000	-0.030
115	.900	1.000	1.118	0.00	-0.220	0.000	-0.220	-0.070	0.000	-0.070
116	.900	1.005	1.118	0.00	-1.840	0.000	-1.840	-9.000	0.000	9.000
117	.500	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.080	0.000	-0.080
118	.500	1.000	1.118	0.00	-0.230	0.000	-0.230	-0.150	0.000	-0.150

(CONTINUACAO)

TRANSFORMADORES

BARRAS	TPMIN	TAP(I)	TPMAX
8- 5	0.950	1.000	1.050
26-25	0.960	1.000	1.050
30-17	0.950	1.000	1.050
38-37	0.950	1.000	1.050
62-59	0.950	1.000	1.050
64-61	0.950	1.000	1.050
65-66	0.950	1.000	1.050
68-69	0.950	1.000	1.050
81-80	0.950	1.000	1.050

ESTADO FINAL DO SISTEMA IEEE118 - CASO RELATIVO

ESTADO FINAL DO SISTEMA IEEE118 - CASO RELATIVO

ESTADO FINAL DO SISTEMA IEEE118 - CASO RELATIVO

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.900	0.970	1.118	-0.02	-.510	-0.510	-.510	-9.270	-0.302	8.730
2	.900	0.991	1.118	-0.02	-.200	-0.200	-.200	-0.090	-0.090	-.090
3	.900	0.981	1.118	-0.01	-.390	-0.390	-.390	-0.100	-0.100	-.100
4	.900	1.002	1.118	0.06	-.390	-0.390	-.390	-9.120	-0.082	8.880
5	.900	1.003	1.118	0.07	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	.900	0.991	1.118	0.02	-.520	-0.520	-.520	-9.220	-0.429	8.780
7	.900	0.999	1.118	0.01	-.190	-0.190	-.190	-0.020	-0.020	-.020
8	.900	1.000	1.118	0.16	-.230	-0.280	-.280	-9.000	-0.556	9.000
9	.900	1.026	1.118	0.29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	.900	1.034	1.118	0.42	4.500	4.500	4.500	-9.000	-0.483	9.000
11	.900	1.000	1.118	0.01	-.700	-0.700	-.700	-0.230	-0.230	-.230
12	.900	1.012	1.118	0.00	0.000	0.365	9.000	-9.000	1.788	9.000
13	.900	0.983	1.118	-0.01	-.340	-0.340	-.340	-0.160	-0.160	-.160
14	.900	1.003	1.118	-0.01	-.140	-0.140	-.140	-0.010	-0.010	-.010
15	.900	0.984	1.118	-0.01	-.900	-0.900	-.900	-9.300	-0.448	8.700
16	.900	1.000	1.118	0.00	-.250	-0.250	-.250	-0.100	-0.100	-.100
17	.900	0.997	1.118	0.03	-.110	-0.110	-.110	-0.030	-0.030	-.030
18	.900	0.975	1.118	-0.01	-.600	-0.600	-.600	-9.340	-0.632	8.660
19	.900	0.993	1.118	-0.02	-.450	-0.450	-.450	-9.250	0.717	8.750
20	.900	0.983	1.118	0.00	-.180	-0.180	-.180	-0.030	-0.030	-.030
21	.900	0.979	1.118	0.02	-.140	-0.140	-.140	-0.080	-0.080	-.080
22	.900	0.986	1.118	0.07	-.100	-0.100	-.100	-0.050	-0.050	-.050
23	.900	1.008	1.118	0.15	-.070	-0.070	-.070	-0.030	-0.030	-.030
24	.900	0.999	1.118	0.15	-.130	-0.130	-.130	-9.000	-0.137	9.000
25	.900	1.048	1.118	0.28	2.200	2.200	2.200	-9.000	0.471	9.000
26	.900	1.008	1.118	0.31	3.140	3.140	3.140	-9.000	-0.443	9.000
27	.900	0.995	1.118	0.05	-.710	-0.710	-.710	-9.130	0.231	8.870
28	.900	0.986	1.118	0.03	-.170	-0.170	-.170	-0.070	-0.070	-.070
29	.900	0.984	1.118	0.01	-.240	-0.240	-.240	-0.040	-0.040	-.040
30	.900	1.000	1.118	0.12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	.900	0.987	1.118	0.01	-.260	-0.360	-.360	-9.270	0.122	8.730
32	.900	0.984	1.118	0.05	-.590	-0.590	-.590	-9.230	-0.324	8.770
33	.900	0.985	1.118	-0.02	-.230	-0.230	-.230	-0.090	-0.090	-.090
34	.900	1.003	1.118	-0.01	-.590	-0.590	-.590	-9.260	0.410	8.740
35	.900	0.991	1.118	-0.02	-.330	-0.330	-.330	-0.090	-0.090	-.090
36	.900	0.990	1.118	-0.02	-.310	-0.310	-.310	-9.170	-0.508	8.830

(CONTINUACAO)

37	.900	1.005	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
38	.900	0.994	1.118	0.09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	.900	0.989	1.118	-0.06	-0.270	-0.270	-0.270	-0.270	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110
40	.900	0.991	1.118	-0.08	-0.660	-0.660	-0.660	-0.660	-9.230	0.300	8.770	0.300	8.770
41	.900	0.984	1.118	-0.09	-0.370	-0.370	-0.370	-0.370	-0.100	-0.100	-0.100	-0.100	-0.100
42	.900	0.991	1.118	-0.06	-0.560	-0.560	-0.560	-0.560	-9.230	0.055	8.770	0.055	8.770
43	.900	0.991	1.118	-0.01	-0.180	-0.180	-0.180	-0.180	-0.070	-0.070	-0.070	-0.070	-0.070
44	.900	0.991	1.118	0.03	-0.160	-0.160	-0.160	-0.160	-0.080	-0.080	-0.080	-0.080	-0.080
45	.900	0.990	1.118	0.06	-0.530	-0.530	-0.530	-0.530	-0.220	-0.220	-0.220	-0.220	-0.220
46	.900	1.007	1.118	0.11	-0.090	-0.090	-0.090	-0.090	-9.100	-0.133	8.900	-0.133	8.900
47	.900	1.017	1.118	0.15	-0.340	-0.340	-0.340	-0.340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
48	.900	1.020	1.118	0.14	-0.200	-0.200	-0.200	-0.200	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110
49	.900	1.024	1.118	0.15	1.170	1.170	1.169	1.170	-9.300	0.540	8.700	-9.300	0.540
50	.900	1.018	1.118	0.12	-0.170	-0.170	-0.170	-0.170	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040
51	.900	0.984	1.118	0.07	-0.170	-0.170	-0.170	-0.170	-0.080	-0.080	-0.080	-0.080	-0.080
52	.900	0.977	1.118	0.05	-0.180	-0.180	-0.180	-0.180	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050
53	.900	0.973	1.118	0.03	-0.230	-0.230	-0.230	-0.230	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110
54	.900	0.987	1.118	0.05	-0.650	-0.650	-0.650	-0.650	-9.320	0.483	8.680	-9.320	0.483
55	.900	0.953	1.118	0.05	-0.630	-0.630	-0.630	-0.630	-9.220	-2.520	8.780	-9.220	-2.520
56	.900	0.986	1.118	0.04	-0.840	-0.840	-0.840	-0.840	-9.180	2.235	8.820	-9.180	2.235
57	.900	0.992	1.118	0.07	-0.120	-0.120	-0.120	-0.120	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030
58	.900	0.983	1.118	0.05	-0.120	-0.120	-0.120	-0.120	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030
59	.900	0.988	1.118	0.13	-1.22	-1.22	-1.220	-1.22	-9.350	0.019	7.870	-9.350	0.019
60	.900	0.995	1.118	0.19	-0.730	-0.730	-0.730	-0.730	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030
61	.900	0.998	1.118	0.21	1.600	1.600	1.600	1.600	-9.000	-0.274	9.000	-9.000	-0.274
62	.900	0.994	1.118	0.20	-0.770	-0.770	-0.770	-0.770	-9.140	-0.318	8.800	-9.140	-0.318
63	.900	0.999	1.118	0.19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
64	.900	0.999	1.118	0.22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65	.900	1.001	1.118	0.27	3.910	3.910	3.910	3.910	-9.000	-0.844	9.000	-9.000	-0.844
66	.900	1.039	1.118	0.27	3.530	3.530	3.530	3.530	-9.180	-0.203	8.820	-9.180	-0.203
67	.900	1.012	1.118	0.22	-0.280	-0.280	-0.280	-0.280	-0.070	-0.070	-0.070	-0.070	-0.070
68	.900	1.004	1.118	0.27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
69	.900	1.033	1.118	0.31	5.160	5.160	5.160	5.160	-9.000	-0.650	9.000	-9.000	-0.650
70	.900	0.993	1.118	0.18	-0.660	-0.660	-0.660	-0.660	-9.200	-0.029	8.800	-9.200	-0.029
71	.900	0.993	1.118	0.18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72	.900	0.981	1.118	0.16	-0.120	-0.120	-0.120	-0.120	-9.000	-0.169	9.000	-9.000	-0.169
73	.900	0.994	1.118	0.17	-0.060	-0.060	-0.060	-0.060	-9.000	0.032	9.000	-9.000	0.032
74	.900	0.975	1.118	0.16	-0.680	-0.680	-0.680	-0.680	-9.270	-0.174	8.730	-9.270	-0.174
75	.900	0.980	1.118	0.19	-0.470	-0.470	-0.470	-0.470	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110
76	.900	0.965	1.118	0.16	-0.680	-0.680	-0.680	-0.680	-9.360	-0.107	8.640	-9.360	-0.107
77	.900	1.009	1.118	0.25	-0.610	-0.610	-0.610	-0.610	-9.280	0.314	8.720	-9.280	0.314

(CONTINUACIÓN)

78	.900	1.005	1.118	0.25	-710	-0.710	-710	-0.260	-0.260	-260
79	.900	1.007	1.118	0.25	-390	-0.390	-290	-0.320	-0.320	-320
80	.900	1.028	1.118	0.30	3.470	3.469	3.470	-9.260	0.048	8.740
81	.900	1.001	1.118	0.28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82	.900	0.994	1.118	0.26	-540	-0.540	-540	-0.270	-0.270	-270
83	.900	0.993	1.118	0.28	-200	-0.200	-200	-0.100	-0.100	-100
84	.900	0.993	1.118	0.32	-110	-0.110	-110	-0.070	-0.070	-070
85	.900	1.001	1.118	0.35	-240	-0.240	-240	-9.150	0.062	8.850
86	.900	0.997	1.118	0.33	-210	-0.210	-210	-0.100	-0.100	-100
87	.900	1.016	1.118	0.33	0.040	0.040	0.040	-9.000	0.063	9.000
88	.900	0.996	1.118	0.40	-480	-0.480	-480	-0.100	-0.100	-100
89	.900	1.008	1.118	0.48	6.070	6.068	6.070	-9.000	-0.361	9.000
90	.900	0.985	1.118	0.37	-1.63	-1.630	-1.63	-9.420	0.117	8.580
91	.900	0.980	1.118	0.37	-100	-0.100	-100	-9.000	-0.213	9.000
92	.900	1.001	1.118	0.37	-650	-0.651	-650	-9.100	0.122	8.900
93	.900	0.994	1.118	0.32	-120	-0.120	-120	-0.070	-0.070	-070
94	.900	0.996	1.118	0.29	-300	-0.300	-300	-0.160	-0.160	-160
95	.900	0.985	1.118	0.27	-420	-0.420	-420	-0.310	-0.310	-310
96	.900	0.994	1.118	0.27	-380	-0.380	-380	-0.150	-0.150	-150
97	.900	1.006	1.118	0.28	-150	-0.150	-150	-0.090	-0.090	-090
98	.900	1.018	1.118	0.27	-340	-0.340	-340	-0.080	-0.080	-080
99	.900	1.010	1.118	0.26	-420	-0.420	-420	-9.000	-0.201	9.000
100	.900	1.024	1.118	0.27	2.150	2.150	2.150	-9.180	1.010	8.820
101	.900	1.000	1.118	0.30	-220	-0.220	-220	-0.150	-0.150	-150
102	.900	0.999	1.118	0.35	-0.050	-0.050	-0.050	-0.030	-0.030	-030
103	.900	1.010	1.118	0.21	0.170	0.170	0.170	-9.160	0.237	8.840
104	.900	0.971	1.118	0.17	-380	-0.380	-380	-9.250	-0.922	8.750
105	.900	0.991	1.118	0.14	-310	-0.310	-310	-9.260	0.695	8.740
106	.900	0.980	1.118	0.14	-430	-0.430	-430	-0.160	-0.160	-160
107	.900	0.956	1.118	0.10	-500	-0.500	-500	-9.120	-0.255	8.880
108	.900	0.987	1.118	0.12	-0.020	-0.020	-0.020	-0.010	-0.010	-010
109	.900	0.986	1.118	0.12	-0.080	-0.080	-0.080	-0.030	-0.030	-030
110	.900	0.986	1.118	0.10	-390	-0.390	-390	-9.300	0.067	8.700
111	.900	0.980	1.118	0.14	0.360	0.360	0.360	-9.000	-0.185	9.000
112	.900	0.975	1.118	0.06	-680	-0.680	-680	-9.130	0.075	8.870
113	.900	0.994	1.118	0.03	-0.060	-0.060	-0.060	-9.000	-0.045	9.000
114	.900	0.984	1.118	0.04	-0.080	-0.080	-0.080	-0.030	-0.030	-030
115	.900	0.984	1.118	0.04	-220	-0.220	-220	-0.070	-0.070	-070
116	.900	1.003	1.118	0.26	-1.84	-1.840	-1.84	-9.000	0.071	9.000
117	.900	0.996	1.118	-0.03	-200	-0.200	-200	-0.080	-0.080	-080
118	.900	0.967	1.118	0.17	-330	-0.330	-330	-0.150	-0.150	-150

(CONTINUACAO)

TRANSFORMADORES

BARRAS	TPMIN	TAP(1)	TPMAX
8-5	0.950	0.986	1.050
26-25	0.960	0.964	1.050
30-17	0.950	0.988	1.050
38-37	0.950	0.979	1.050
63-59	0.950	1.016	1.050
64-61	0.950	0.994	1.050
65-66	0.950	0.950	1.050
68-69	0.950	0.951	1.050
81-80	0.950	0.955	1.050

ESTADO INICIAL DO SISTEMA IFEELR - CASO RELATIVO (RECURSOS LIMITADOS)

BARRA VMIN V VMAX ANG PMIN P PMAX QMIN Q QMAX

1	.900	1.000	1.118	0.00	-0.510	0.000	-0.510	-0.770	0.000	1.230
2	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.090	0.000	-0.090
3	.900	1.000	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-0.100	0.000	-0.100
4	.900	1.000	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-0.920	0.000	1.680
5	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	.900	1.000	1.118	0.00	-0.520	0.000	-0.520	-0.720	0.000	1.280
7	.900	1.000	1.118	0.00	-0.190	0.000	-0.190	-0.020	0.000	-0.020
8	.900	1.000	1.118	0.00	-0.280	0.000	-0.280	-0.500	0.000	1.000
9	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	.900	1.000	1.118	0.00	4.500	0.000	4.500	-2.500	0.000	2.500
11	.900	1.000	1.118	0.00	-0.700	0.000	-0.700	-0.230	0.000	-0.230
12	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	-9.000	0.000	9.000
13	.900	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-0.340	-0.160	0.000	-0.160
14	.900	1.000	1.118	0.00	-0.140	0.000	-0.140	-0.010	0.000	-0.010
15	.900	1.000	1.118	0.00	-0.900	0.000	-0.900	-0.800	0.000	1.200
16	.900	1.000	1.118	0.00	-0.250	0.000	-0.250	-0.100	0.000	-0.100
17	.900	1.000	1.118	0.00	-0.110	0.000	-0.110	-0.030	0.000	-0.030
18	.900	1.000	1.118	0.00	-0.600	0.000	-0.600	-0.840	0.000	1.160
19	.900	1.000	1.118	0.00	-0.450	0.000	-0.450	-0.750	0.000	0.900
20	.900	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.030	0.000	-0.030
21	.900	1.000	1.118	0.00	-0.140	0.000	-0.140	-0.080	0.000	-0.080
22	.900	1.000	1.118	0.00	-0.100	0.000	-0.100	-0.050	0.000	-0.050
23	.900	1.000	1.118	0.00	-0.070	0.000	-0.070	-0.030	0.000	-0.030
24	.900	1.000	1.118	0.00	-0.130	0.000	-0.130	0.000	0.000	0.000
25	.900	1.000	1.118	0.00	2.200	0.000	2.200	-2.500	0.000	2.500
26	.900	1.000	1.118	0.00	3.140	0.000	3.140	-2.500	0.000	2.500
27	.900	1.000	1.118	0.00	-0.710	0.000	-0.710	-0.630	0.000	1.370
28	.900	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-0.170	-0.070	0.000	-0.070
29	.900	1.000	1.118	0.00	-0.240	0.000	-0.240	-0.040	0.000	-0.040
30	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	.900	1.000	1.118	0.00	-0.360	0.000	-0.360	-0.770	0.000	1.230
32	.900	1.000	1.118	0.00	-0.590	0.000	-0.590	-0.730	0.000	0.770
33	.900	1.000	1.118	0.00	-0.230	0.000	-0.230	-0.090	0.000	-0.090
34	.900	1.000	1.118	0.00	-0.590	0.000	-0.590	-0.260	0.000	-0.260
35	.900	1.000	1.118	0.00	-0.330	0.000	-0.330	-0.090	0.000	-0.090

(CONTINUACAO)

36	.900	1.000	1.118	0.00	-0.310	0.000	-0.310	-0.670	0.000	1.330
37	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
38	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	.900	1.000	1.118	0.00	-0.270	0.000	-0.270	-0.110	0.000	-0.110
40	.900	1.000	1.118	0.00	-0.660	0.000	-0.660	-0.730	0.000	1.270
41	.900	1.000	1.118	0.00	-0.370	0.000	-0.370	-0.100	0.000	-0.100
42	.900	1.000	1.118	0.00	-0.960	0.000	-0.960	-0.730	0.000	1.270
43	.900	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.070	0.000	-0.070
44	.500	1.000	1.118	0.00	-0.160	0.000	-0.160	-0.080	0.000	-0.080
45	.900	1.000	1.118	0.00	-0.530	0.000	-0.530	-0.220	0.000	-0.220
46	.900	1.000	1.118	0.00	-0.090	0.000	-0.090	-0.600	0.000	1.410
47	.900	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-0.340	0.000	0.000	0.000
48	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.110	0.000	-0.110
49	.900	1.000	1.118	0.00	1.170	0.000	1.170	-2.800	0.000	2.200
50	.900	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-0.170	-0.040	0.000	-0.040
51	.900	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-0.170	-0.080	0.000	-0.080
52	.900	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.050	0.000	-0.050
53	.900	1.000	1.118	0.00	-0.220	0.000	-0.220	-0.110	0.000	-0.110
54	.900	1.000	1.118	0.00	-0.650	0.000	-0.650	-0.820	0.000	1.180
55	.900	1.000	1.118	0.00	-0.630	0.000	-0.630	-0.720	0.000	1.280
56	.900	1.000	1.118	0.00	-0.840	0.000	-0.840	-0.680	0.000	1.320
57	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.030	0.000	-0.030
58	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.030	0.000	-0.030
59	.900	1.000	1.118	0.00	-1.220	0.000	-1.220	-1.620	0.000	0.370
60	.900	1.000	1.118	0.00	-0.780	0.000	-0.780	-0.030	0.000	-0.030
61	.900	1.000	1.118	0.00	1.600	0.000	1.600	-2.500	0.000	2.500
62	.900	1.000	1.118	0.00	-0.770	0.000	-0.770	-0.640	0.000	1.360
63	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
64	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65	.900	1.000	1.118	0.00	3.910	0.000	3.910	-2.500	0.000	2.500
66	.900	1.000	1.118	0.00	3.520	0.000	3.520	-2.680	0.000	2.320
67	.900	1.000	1.118	0.00	-0.280	0.000	-0.280	-0.070	0.000	-0.070
68	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69	.900	1.000	1.118	0.00	3.290	0.000	3.290	-2.500	0.000	2.500
70	.900	1.000	1.118	0.00	-0.660	0.000	-0.660	-0.700	0.000	1.300
71	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.500	0.000	1.500
73	.900	1.000	1.118	0.00	-0.060	0.000	-0.060	-0.500	0.000	1.500
74	.900	1.000	1.118	0.00	-0.680	0.000	-0.680	-0.770	0.000	1.530
75	.900	1.000	1.118	0.00	-0.470	0.000	-0.470	-0.110	0.000	-0.110
76	.900	1.000	1.118	0.00	-0.680	0.000	-0.680	-0.060	0.000	0.640
77	.500	1.000	1.118	0.00	-0.610	0.000	-0.610	-1.180	0.000	1.520

(CONTINUACION)

78	.900	1.000	1.118	0.00	-0.710	0.000	-0.710	-0.260	0.000	-0.260
79	.900	1.000	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-0.320	0.000	-0.320
80	.900	1.000	1.118	0.00	3.470	0.000	3.470	-2.760	0.000	2.240
81	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82	.900	1.000	1.118	0.00	-0.540	0.000	-0.540	-0.270	0.000	-0.270
83	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.100	0.000	-0.100
84	.900	1.000	1.118	0.00	-0.110	0.000	-0.110	-0.070	0.000	-0.070
85	.900	1.000	1.118	0.00	-0.240	0.000	-0.240	-0.650	0.000	1.650
86	.900	1.000	1.118	0.00	-0.210	0.000	-0.210	-0.100	0.000	-0.100
87	.900	1.000	1.118	0.00	0.040	0.000	0.040	-2.500	0.000	2.500
88	.900	1.000	1.118	0.00	-0.480	0.000	-0.480	-0.100	0.000	-0.100
89	.900	1.000	1.118	0.00	6.070	0.000	6.070	-2.500	0.000	2.500
90	.900	1.000	1.118	0.00	-1.630	0.000	-1.630	-0.920	0.000	0.580
91	.900	1.000	1.118	0.00	-0.100	0.000	-0.100	-0.500	0.000	1.500
92	.900	1.000	1.118	0.00	-0.650	0.000	-0.650	-0.600	0.000	0.900
93	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.070	0.000	-0.070
94	.900	1.000	1.118	0.00	-0.300	0.000	-0.300	-0.160	0.000	-0.160
95	.900	1.000	1.118	0.00	-0.420	0.000	-0.420	-0.310	0.000	-0.310
96	.900	1.000	1.118	0.00	-0.380	0.000	-0.380	-0.150	0.000	-0.150
97	.900	1.000	1.118	0.00	-0.150	0.000	-0.150	-0.090	0.000	-0.090
98	.900	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-0.340	-0.080	0.000	-0.080
99	.900	1.000	1.118	0.00	-0.420	0.000	-0.420	-0.500	0.000	1.500
100	.900	1.000	1.118	0.00	2.150	0.000	2.150	-2.680	0.000	2.320
101	.900	1.000	1.118	0.00	-0.220	0.000	-0.220	-0.150	0.000	-0.150
102	.900	1.000	1.118	0.00	-0.050	0.000	-0.050	-0.030	0.000	-0.030
103	.900	1.000	1.118	0.00	0.170	0.000	0.170	-2.660	0.000	2.340
104	.900	1.000	1.118	0.00	-0.380	0.000	-0.380	-0.750	0.000	-0.250
105	.900	1.000	1.118	0.00	-0.310	0.000	-0.310	-1.160	0.000	0.640
106	.900	1.000	1.118	0.00	-0.430	0.000	-0.430	-0.160	0.000	-0.160
107	.900	1.000	1.118	0.00	-0.500	0.000	-0.500	-0.620	0.000	0.480
108	.900	1.000	1.118	0.00	-0.020	0.000	-0.020	-0.010	0.000	-0.010
109	.900	1.000	1.118	0.00	-0.080	0.000	-0.080	-0.030	0.000	-0.030
110	.900	1.000	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-0.800	0.000	-0.300
111	.900	1.000	1.118	0.00	0.360	0.000	0.360	-2.500	0.000	0.000
112	.900	1.000	1.118	0.00	-0.680	0.000	-0.680	-0.630	0.000	0.370
113	.900	1.000	1.118	0.00	-0.060	0.000	-0.060	-0.500	0.000	0.700
114	.900	1.000	1.118	0.00	-0.080	0.000	-0.080	-0.030	0.000	-0.030
115	.900	1.000	1.118	0.00	-0.220	0.000	-0.220	-0.070	0.000	-0.070
116	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.500
117	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.080	0.000	-0.080
118	.900	1.000	1.118	0.00	-0.330	0.000	-0.330	-0.150	0.000	-0.150

(CONTINUACIÓ)

TRANSFORMADORS

BARRAS	TPMIN	TAP(I)	TPMAX
8- 5	0.950	1.000	1.050
26-25	0.960	1.000	1.050
30-17	0.950	1.000	1.050
38-37	0.950	1.000	1.050
63-59	0.950	1.000	1.050
64-61	0.950	1.000	1.050
65-66	0.950	1.000	1.050
68-69	0.950	1.000	1.050
81-80	0.950	1.000	1.050

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.900	1.000	1.118	-0.03	-.510	-0.510	-.510	-0.770	0.189	1.230
2	.900	1.000	1.118	-0.02	-.200	-0.200	-.200	-0.090	-0.090	-.090
3	.900	0.998	1.118	-0.01	-.390	-0.390	-.390	-0.100	-0.109	-.100
4	.900	0.997	1.118	0.06	-.390	-0.390	-.390	-0.920	-0.754	1.680
5	.900	1.003	1.118	0.07	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	.900	0.998	1.118	0.02	-.520	-0.520	-.520	-0.720	-0.126	1.280
7	.900	1.001	1.118	0.01	-.190	-0.190	-.190	-0.020	-0.020	-.020
8	.900	1.000	1.118	0.16	-.280	-0.280	-.280	-0.500	-0.485	1.000
9	.900	1.007	1.118	0.29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	.900	0.996	1.118	0.44	4.500	4.500	4.500	-2.500	-0.979	2.500
11	.900	0.998	1.118	0.01	-.700	-0.700	-.700	-0.230	-0.230	-.230
12	.900	1.009	1.118	0.00	0.000	0.368	99.00	-9.000	1.065	9.000
13	.900	0.985	1.118	-0.01	-.340	-0.340	-.340	-0.160	-0.160	-.160
14	.900	1.006	1.118	-0.01	-.140	-0.140	-.140	-0.010	-0.010	-.010
15	.900	1.001	1.118	-0.02	-.900	-0.900	-.900	-0.800	-0.155	1.200
16	.900	1.000	1.118	0.00	-.250	-0.250	-.250	-0.100	-0.100	-.100
17	.900	1.005	1.118	0.03	-.110	-0.110	-.110	-0.030	-0.030	-.030
18	.900	0.998	1.118	-0.01	-.600	-0.600	-.600	-0.840	-0.318	1.160
19	.900	1.013	1.118	-0.03	-.450	-0.450	-.450	-0.750	0.895	0.900
20	.900	0.997	1.118	-0.01	-.180	-0.180	-.180	-0.030	-0.030	-.030
21	.900	0.988	1.118	0.01	-.140	-0.140	-.140	-0.080	-0.080	-.080
22	.900	0.989	1.118	0.06	-.100	-0.100	-.100	-0.050	-0.050	-.050
23	.900	1.002	1.118	0.14	-.070	-0.070	-.070	-0.020	-0.020	-.020
24	.900	1.004	1.118	0.13	-.130	-0.130	-.130	0.000	0.000	0.000
25	.900	1.003	1.118	0.28	2.200	2.200	2.200	-2.500	-0.592	2.500
26	.900	0.997	1.118	0.31	3.140	3.140	3.140	-2.500	-0.381	2.500
27	.900	1.003	1.118	0.04	-.710	-0.710	-.710	-0.630	0.298	1.370
28	.900	0.997	1.118	0.01	-.170	-0.170	-.170	-0.070	-0.070	-.070
29	.900	0.998	1.118	0.00	-.240	-0.240	-.240	-0.040	-0.040	-.040
30	.900	1.008	1.118	0.12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	.900	1.002	1.118	0.00	-.360	-0.360	-.360	-0.770	0.143	1.230
32	.900	1.004	1.118	0.03	-.590	-0.590	-.590	-0.730	0.273	0.770
33	.900	0.996	1.118	-0.03	-.230	-0.230	-.230	-0.090	-0.090	-.090
34	.900	1.004	1.118	-0.01	-.590	-0.590	-.590	-0.260	-0.260	-.260
35	.900	0.998	1.118	-0.02	-.330	-0.330	-.330	-0.090	-0.090	-.090
36	.900	0.997	1.118	-0.02	-.310	-0.310	-.310	-0.670	-0.263	1.330

(CONTINUACION)

37	.900	1.009	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
38	.900	1.009	1.118	0.09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	.900	0.998	1.118	-0.07	-0.270	-0.270	-0.270	-0.270	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110
40	.900	1.003	1.118	-0.09	-0.660	-0.660	-0.660	-0.660	-0.730	-0.730	-0.730	-0.730
41	.900	0.996	1.118	-0.09	-0.370	-0.370	-0.370	-0.370	-0.100	-0.100	-0.100	-0.100
42	.900	1.001	1.118	-0.07	-0.560	-0.560	-0.560	-0.560	-0.730	-0.730	-0.730	-0.730
43	.900	0.991	1.118	-0.02	-0.180	-0.180	-0.180	-0.180	-0.070	-0.070	-0.070	-0.070
44	.900	0.988	1.118	0.02	-0.160	-0.160	-0.160	-0.160	-0.080	-0.080	-0.080	-0.080
45	.900	0.986	1.118	0.05	-0.530	-0.530	-0.530	-0.530	-0.220	-0.220	-0.220	-0.220
46	.900	1.010	1.118	0.10	-0.090	-0.090	-0.090	-0.090	-0.600	-0.600	-0.600	-0.600
47	.900	1.005	1.118	0.14	-0.340	-0.340	-0.340	-0.340	0.000	0.000	0.000	0.000
48	.900	1.008	1.118	0.13	-0.200	-0.200	-0.200	-0.200	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110
49	.900	1.008	1.118	0.15	1.170	1.170	1.170	1.170	-2.800	-2.800	-2.800	-2.800
50	.900	1.002	1.118	0.11	-0.170	-0.170	-0.170	-0.170	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040
51	.900	0.990	1.118	0.06	-0.170	-0.170	-0.170	-0.170	-0.080	-0.080	-0.080	-0.080
52	.900	0.986	1.118	0.05	-0.180	-0.180	-0.180	-0.180	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050
53	.900	0.992	1.118	0.03	-0.230	-0.230	-0.230	-0.230	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110
54	.900	1.012	1.118	0.04	-0.650	-0.650	-0.650	-0.650	-0.820	-0.820	-0.820	-0.820
55	.900	1.000	1.118	0.04	-0.630	-0.630	-0.630	-0.630	-0.720	-0.720	-0.720	-0.720
56	.900	1.008	1.118	0.04	-0.840	-0.840	-0.840	-0.840	-0.680	-0.680	-0.680	-0.680
57	.900	1.002	1.118	0.06	-0.120	-0.120	-0.120	-0.120	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030
58	.900	0.996	1.118	0.05	-0.120	-0.120	-0.120	-0.120	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030
59	.900	0.999	1.118	0.13	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.630	-1.630	-1.630	-1.630
60	.900	0.999	1.118	0.20	-0.780	-0.780	-0.780	-0.780	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030
61	.900	1.001	1.118	0.21	1.600	1.600	1.600	1.600	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500
62	.900	1.000	1.118	0.20	-0.770	-0.770	-0.770	-0.770	-0.640	-0.640	-0.640	-0.640
63	.900	0.998	1.118	0.19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
64	.900	1.000	1.118	0.22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65	.900	0.999	1.118	0.28	3.910	3.910	3.910	3.910	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500
66	.900	1.005	1.118	0.28	3.530	3.530	3.530	3.530	-2.680	-2.680	-2.680	-2.680
67	.900	0.996	1.118	0.22	-0.280	-0.280	-0.280	-0.280	-0.070	-0.070	-0.070	-0.070
68	.900	0.999	1.118	0.28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69	.900	1.005	1.118	0.28	3.290	3.290	3.290	3.290	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500
70	.900	1.000	1.118	0.15	-0.660	-0.660	-0.660	-0.660	-0.700	-0.700	-0.700	-0.700
71	.900	1.000	1.118	0.14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72	.900	1.000	1.118	0.13	-0.120	-0.120	-0.120	-0.120	-0.500	-0.500	-0.500	-0.500
73	.900	1.000	1.118	0.14	-0.060	-0.060	-0.060	-0.060	-0.500	-0.500	-0.500	-0.500
74	.900	1.002	1.118	0.13	-0.680	-0.680	-0.680	-0.680	-0.770	-0.770	-0.770	-0.770
75	.900	0.996	1.118	0.15	-0.470	-0.470	-0.470	-0.470	-0.110	-0.110	-0.110	-0.110
76	.900	1.003	1.118	0.13	-0.680	-0.680	-0.680	-0.680	-0.860	-0.860	-0.860	-0.860
77	.900	1.006	1.118	0.24	-0.610	-0.610	-0.610	-0.610	-1.180	-1.180	-1.180	-1.180

(CONTINUACION)

78	.900	1.000	1.118	0.23	- .710	- 0.710	- .710	- 0.260	- 0.260	- 0.260	- .260
79	.900	1.000	1.118	0.24	- .390	- 0.390	- .390	- 0.320	- 0.320	- 0.320	- .320
80	.900	1.013	1.118	0.29	3.470	3.469	3.470	- 2.760	- 0.454	2.240	
81	.900	1.000	1.118	0.29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82	.900	0.992	1.118	0.25	- .540	- 0.540	- .540	- 0.270	- 0.270	- 0.270	- .270
83	.900	0.995	1.118	0.27	- .200	- 0.200	- .200	- 0.100	- 0.100	- 0.100	- .100
84	.900	1.000	1.118	0.31	- .110	- 0.110	- .110	- 0.070	- 0.070	- 0.070	- .070
85	.900	1.010	1.118	0.34	- .240	- 0.240	- .240	- 0.650	0.349	1.650	
86	.900	0.997	1.118	0.32	- .210	- 0.210	- .210	- 0.100	- 0.100	- 0.100	- .100
87	.900	1.001	1.118	0.32	0.040	0.040	0.040	- 2.500	- 0.009	2.500	
88	.900	0.998	1.118	0.39	- .480	- 0.480	- .480	- 0.100	- 0.100	- 0.100	- .100
89	.900	1.006	1.118	0.46	6.070	6.069	6.070	- 2.500	- 1.005	2.500	
90	.900	0.999	1.118	0.35	- 1.63	- 1.630	- 1.63	- 0.920	0.298	0.580	
91	.900	1.000	1.118	0.35	- .100	- 0.100	- .100	- 0.500	- 0.055	1.500	
92	.900	1.009	1.118	0.36	- .650	- 0.651	- .650	- 0.600	0.566	0.900	
93	.900	0.996	1.118	0.31	- .120	- 0.120	- .120	- 0.070	- 0.070	- 0.070	- .070
94	.900	0.992	1.118	0.28	- .300	- 0.300	- .300	- 0.160	- 0.160	- 0.160	- .160
95	.900	0.980	1.118	0.26	- .420	- 0.420	- .420	- 0.310	- 0.310	- 0.310	- .310
96	.900	0.989	1.118	0.26	- .380	- 0.380	- .380	- 0.150	- 0.150	- 0.150	- .150
97	.900	0.996	1.118	0.27	- .150	- 0.150	- .150	- 0.090	- 0.090	- 0.090	- .090
98	.900	1.005	1.118	0.26	- .340	- 0.340	- .340	- 0.090	- 0.080	- 0.080	- .080
99	.900	1.000	1.118	0.25	- .420	- 0.420	- .420	- 0.500	- 0.181	1.500	
100	.900	1.014	1.118	0.27	2.150	2.150	2.150	- 2.680	0.493	2.320	
101	.900	0.998	1.118	0.29	- .220	- 0.220	- .220	- 0.150	- 0.150	- 0.150	- .150
102	.900	1.004	1.118	0.34	- .050	- 0.050	- .050	- 0.030	- 0.030	- 0.030	- .030
103	.900	1.000	1.118	0.20	0.170	0.170	0.170	- 2.660	- 0.235	2.340	
104	.900	0.997	1.118	0.15	- .380	- 0.380	- .380	- 0.750	- 0.252	- 2.250	
105	.900	1.005	1.118	0.13	- .310	- 0.310	- .310	- 1.160	0.644	0.640	
106	.900	0.996	1.118	0.13	- .430	- 0.430	- .430	- 0.160	- 0.160	- 0.160	- .160
107	.900	1.000	1.118	0.08	- .500	- 0.500	- .500	- 0.620	0.048	0.480	
108	.900	1.000	1.118	0.11	- .020	- 0.020	- .020	- 0.010	- 0.010	- 0.010	- .010
109	.900	0.998	1.118	0.10	- .080	- 0.080	- .080	- 0.030	- 0.030	- 0.030	- .030
110	.900	0.997	1.118	0.09	- .390	- 0.390	- .390	- 0.800	- 0.338	- 3.00	
111	.900	1.001	1.118	0.12	0.360	0.360	0.360	- 2.500	- 0.044	0.000	
112	.900	1.001	1.118	0.04	- .680	- 0.680	- .680	- 0.630	0.330	0.370	
113	.900	0.996	1.118	0.03	- .060	- 0.060	- .060	- 0.500	- 0.364	0.000	
114	.900	0.999	1.118	0.03	- .080	- 0.080	- .080	- 0.030	- 0.030	- 0.030	- .030
115	.900	0.998	1.118	0.03	- .220	- 0.220	- .220	- 0.070	- 0.070	- 0.070	- .070
116	.900	0.998	1.118	0.28	0.000	0.000	0.000	- 0.500	- 0.275	0.500	
117	.900	0.993	1.118	- 0.03	- .200	- 0.200	- .200	- 0.080	- 0.080	- 0.080	- .080
118	.900	0.993	1.118	0.13	- .330	- 0.330	- .330	- 0.150	- 0.150	- 0.150	- .150

(CONTINUACAO)

TRANSFORMADORES

BARRAS	TPMIN	TAP(I)	TPMAX
8-5	0.950	0.996	1.050
26-25	0.960	0.987	1.050
30-17	0.950	0.998	1.050
38-37	0.950	0.995	1.050
63-59	0.950	1.000	1.050
64-61	0.950	0.997	1.050
65-66	0.950	0.965	1.050
68-69	0.950	0.969	1.050
81-80	0.950	0.975	1.050

ESTADO INICIAL DO SISTEMA IEEE118 - CASO ATIVO/REATIVO

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	PMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.900	0.955	1.118	0.00	-0.510	0.000	-0.510	-9.270	0.000	8.730
2	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.090	0.000	-0.090
3	.900	1.000	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-0.100	0.000	-0.100
4	.500	0.598	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-9.120	0.000	8.880
5	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	.900	0.990	1.118	0.00	-0.520	0.000	-0.520	-9.220	0.000	8.780
7	.900	1.000	1.118	0.00	-0.190	0.000	-0.190	-0.020	0.000	-0.020
8	.900	1.015	1.118	0.00	-0.280	0.000	-0.280	-9.000	0.000	9.000
9	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	.900	1.050	1.118	0.00	1.500	0.000	1.500	-9.000	0.000	9.000
11	.900	1.000	1.118	0.00	-0.700	0.000	-0.700	-0.230	0.000	-0.230
12	.900	0.990	1.118	0.00	-0.470	0.000	-0.470	-9.100	0.000	8.900
13	.900	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-0.340	-0.160	0.000	-0.160
14	.500	1.000	1.118	0.00	-0.140	0.000	-0.140	-0.010	0.000	-0.010
15	.900	0.970	1.118	0.00	-0.900	0.000	-0.900	-9.300	0.000	8.700
16	.900	1.000	1.118	0.00	-0.250	0.000	-0.250	-0.100	0.000	-0.100
17	.900	1.000	1.118	0.00	-0.110	0.000	-0.110	-0.030	0.000	-0.030
18	.900	0.973	1.118	0.00	-0.600	0.000	-0.600	-9.340	0.000	8.660
19	.500	0.962	1.118	0.00	-0.450	0.000	-0.450	-9.250	0.000	8.750
20	.500	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.030	0.000	-0.030
21	.900	1.000	1.118	0.00	-0.140	0.000	-0.140	-0.080	0.000	-0.080
22	.900	1.000	1.118	0.00	-0.100	0.000	-0.100	-0.050	0.000	-0.050
23	.500	1.000	1.118	0.00	-0.070	0.000	-0.070	-0.030	0.000	-0.030
24	.500	0.992	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-9.000	0.000	9.000
25	.900	1.050	1.118	0.00	0.800	0.000	0.800	-9.000	0.000	9.000
26	.900	1.015	1.118	0.00	1.800	0.000	1.800	-9.000	0.000	9.000
27	.500	0.968	1.118	0.00	-0.710	0.000	-0.710	-9.130	0.000	8.870
28	.500	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-0.170	-0.070	0.000	-0.070
29	.500	1.000	1.118	0.00	-0.240	0.000	-0.240	-0.040	0.000	-0.040
30	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	.900	0.967	1.118	0.00	-0.420	0.000	-0.420	-9.270	0.000	8.730
32	.900	0.962	1.118	0.00	-0.590	0.000	-0.590	-9.230	0.000	8.770
33	.500	1.000	1.118	0.00	-0.230	0.000	-0.230	-0.090	0.000	-0.090
34	.500	0.984	1.118	0.00	-0.590	0.000	-0.590	-9.260	0.000	8.740
35	.500	1.000	1.118	0.00	-0.330	0.000	-0.330	-0.090	0.000	-0.090

(CONTINUACAO)

36	.900	C.980	1.118	0.00	-0.310	0.000	-C.310	-9.170	0.000	8.830
37	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	C.000	0.000	0.000	0.000
38	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	.900	1.000	1.118	0.00	-0.270	0.000	-0.270	-0.110	0.000	-0.110
40	.900	C.970	1.118	0.00	-0.660	0.000	-C.660	-9.230	0.000	8.770
41	.900	1.000	1.118	0.00	-0.370	0.000	-C.370	-0.100	0.000	-0.100
42	.900	0.985	1.118	0.00	-0.560	0.000	-C.960	-9.230	0.000	8.770
43	.900	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.070	0.000	-0.070
44	.500	1.000	1.118	0.00	-0.160	0.000	-0.160	-0.080	0.000	-0.080
45	.500	1.000	1.118	0.00	-0.520	0.000	-C.530	-0.220	0.000	-0.220
46	.500	1.005	1.118	0.00	-0.280	0.000	C.170	-9.100	0.000	8.900
47	.900	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-C.340	0.000	0.000	0.000
48	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.110	0.000	-0.110
49	.500	1.025	1.118	0.00	-0.070	0.000	2.330	-9.300	0.000	8.700
50	.500	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-C.170	-0.040	0.000	-0.040
51	.900	1.000	1.118	0.00	-0.170	0.000	-0.170	-0.080	0.000	-0.080
52	.900	1.000	1.118	0.00	-0.180	0.000	-0.180	-0.050	0.000	-0.050
53	.900	1.000	1.118	0.00	-0.230	0.000	-0.230	-0.110	0.000	-0.110
54	.500	0.955	1.118	0.00	-1.130	0.000	-0.230	-9.320	0.000	8.680
55	.500	0.952	1.118	0.00	-0.620	0.000	-C.630	-9.220	0.000	8.780
56	.500	0.954	1.118	0.00	-0.840	0.000	-C.840	-9.180	0.000	8.820
57	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-C.120	-0.030	0.000	-0.030
58	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.030	0.000	-0.030
59	.900	0.985	1.118	0.00	-1.970	0.000	-0.070	-9.350	0.000	7.870
60	.900	1.000	1.118	0.00	-0.780	0.000	-C.780	-0.030	0.000	-0.030
61	.500	0.995	1.118	0.00	0.900	0.000	2.800	-9.000	0.000	9.000
62	.900	0.998	1.118	0.00	-0.770	0.000	-0.770	-9.140	0.000	8.860
63	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
64	.500	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65	.500	1.005	1.118	0.00	2.200	0.000	5.000	-9.000	0.000	9.000
66	.500	1.050	1.118	0.00	1.810	0.000	4.610	-9.180	0.000	8.820
67	.900	1.000	1.118	0.00	-0.280	0.000	-0.280	-0.070	0.000	-0.070
68	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
69	.500	1.035	1.118	0.00	3.000	0.000	6.300	-9.000	0.000	9.000
70	.500	0.984	1.118	0.00	-0.660	0.000	-C.660	-9.200	0.000	8.800
71	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	C.000	0.000	0.000	0.000
72	.900	C.980	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-9.000	0.000	9.000
73	.900	0.991	1.118	0.00	-0.060	0.000	-0.060	-9.000	0.000	9.000
74	.500	0.958	1.118	0.00	-0.680	0.000	-C.680	-9.270	0.000	8.730
75	.900	1.000	1.118	0.00	-0.470	0.000	-C.470	-0.110	0.000	-0.110
76	.900	0.943	1.118	0.00	-0.680	0.000	-C.680	-9.360	0.000	8.640
77	.500	1.006	1.118	0.00	-0.610	0.000	-0.610	-9.280	0.000	8.720

{CCNT INUACAO}

78	.900	1.000	1.118	0.00	-0.710	0.000	-0.710	-0.260	0.000	-0.260
79	.900	1.000	1.118	0.00	-0.350	0.000	-0.390	-0.320	0.000	-0.320
80	.900	1.040	1.118	0.00	1.200	0.000	4.700	-9.260	0.000	8.740
81	.900	1.000	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
82	.900	1.000	1.118	0.00	-0.540	0.000	-0.540	-0.270	0.000	-0.270
83	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.100	0.000	-0.100
84	.900	1.000	1.118	0.00	-0.110	0.000	-0.110	-0.070	0.000	-0.070
85	.900	0.985	1.118	0.00	-0.240	0.000	-0.240	-9.150	0.000	8.850
86	.900	1.000	1.118	0.00	-0.210	0.000	-0.210	-0.100	0.000	-0.100
87	.900	1.015	1.118	0.00	0.000	0.000	0.150	-9.000	0.000	9.000
88	.900	1.000	1.118	0.00	-0.480	0.000	-0.480	-0.100	0.000	-0.100
89	.900	1.005	1.118	0.00	3.800	0.000	7.200	-9.000	0.000	9.000
90	.900	0.985	1.118	0.00	-1.630	0.000	-1.630	-9.420	0.000	8.580
91	.900	0.980	1.118	0.00	-0.100	0.000	-0.100	-9.000	0.000	9.000
92	.900	0.990	1.118	0.00	-0.650	0.000	-0.650	-9.100	0.000	8.900
93	.900	1.000	1.118	0.00	-0.120	0.000	-0.120	-0.070	0.000	-0.070
94	.900	1.000	1.118	0.00	-0.300	0.000	-0.300	-0.160	0.000	-0.160
95	.900	1.000	1.118	0.00	-0.420	0.000	-0.420	-0.310	0.000	-0.310
96	.900	1.000	1.118	0.00	-0.380	0.000	-0.380	-0.150	0.000	-0.150
97	.900	1.000	1.118	0.00	-0.150	0.000	-0.150	-0.090	0.000	-0.090
98	.900	1.000	1.118	0.00	-0.340	0.000	-0.340	-0.080	0.000	-0.080
99	.900	1.010	1.118	0.00	-0.420	0.000	-0.420	-9.000	0.000	9.000
100	.900	1.017	1.118	0.00	0.630	0.000	3.330	-9.180	0.000	8.820
101	.900	1.000	1.118	0.00	-0.220	0.000	-0.220	-0.150	0.000	-0.150
102	.900	1.000	1.118	0.00	-0.050	0.000	-0.050	-0.030	0.000	-0.030
103	.900	1.010	1.118	0.00	-0.230	0.000	0.570	-9.160	0.000	8.840
104	.900	0.971	1.118	0.00	-0.380	0.000	-0.380	-9.250	0.000	8.750
105	.900	0.965	1.118	0.00	-0.310	0.000	-0.310	-9.260	0.000	8.740
106	.900	1.000	1.118	0.00	-0.420	0.000	-0.420	-0.160	0.000	-0.160
107	.900	0.952	1.118	0.00	-0.500	0.000	-0.500	-9.120	0.000	8.880
108	.900	1.000	1.118	0.00	-0.020	0.000	-0.020	-0.010	0.000	-0.010
109	.900	1.000	1.118	0.00	-0.080	0.000	-0.080	-0.020	0.000	-0.020
110	.900	0.973	1.118	0.00	-0.390	0.000	-0.390	-9.300	0.000	8.700
111	.900	0.980	1.118	0.00	0.000	0.000	0.950	-9.000	0.000	9.000
112	.900	0.975	1.118	0.00	-0.680	0.000	-0.680	-9.130	0.000	8.870
113	.900	0.993	1.118	0.00	-0.060	0.000	-0.060	-9.000	0.000	9.000
114	.900	1.000	1.118	0.00	-0.080	0.000	-0.080	-0.030	0.000	-0.030
115	.900	1.000	1.118	0.00	-0.220	0.000	-0.220	-0.070	0.000	-0.070
116	.900	1.005	1.118	0.00	-1.840	0.000	-1.840	-9.000	0.000	9.000
117	.900	1.000	1.118	0.00	-0.200	0.000	-0.200	-0.080	0.000	-0.080
118	.900	1.000	1.118	0.00	-0.330	0.000	-0.330	-0.150	0.000	-0.150

(CONTINUACAO)

TRANSFORMADORES			
BARRAS	TPMIN	TAP (I)	TPMAX
8- 5	0.950	0.990	1.050
26-25	0.950	0.990	1.050
30-17	0.950	0.990	1.050
38-37	0.950	0.990	1.050
63-59	0.950	0.990	1.050
64-61	0.950	0.990	1.050
65-66	0.950	0.990	1.050
68-69	0.950	0.990	1.050
81-80	0.950	0.990	1.050

ESTADO FINAL DC SISTEMA IEEE118 - CASO ATIVO/REATIVO

BARRA	VMIN	V	VMAX	ANG	PMIN	P	FMAX	QMIN	Q	QMAX
1	.900	0.971	1.118	-0.05	-.510	-0.510	-.510	-9.270	-0.290	8.730
2	.900	0.991	1.118	-0.02	-.200	-0.200	-.200	-0.090	-0.090	-.090
3	.900	0.981	1.118	-0.04	-.390	-0.390	-.390	-0.100	-0.100	-.100
4	.900	1.002	1.118	-0.01	-.290	-0.390	-.390	-9.120	-0.003	8.880
5	.900	1.003	1.118	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
6	.900	0.992	1.118	-0.02	-.520	-0.520	-.520	-9.220	-0.420	8.780
7	.900	0.999	1.118	-0.01	-.190	-0.190	-.190	-0.020	-0.020	-.020
8	.900	0.990	1.118	0.03	-.280	-0.280	-.280	-9.000	-1.284	9.000
9	.900	1.029	1.118	0.10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	.900	1.034	1.118	0.16	1.500	2.196	7.500	-9.000	-0.594	9.000
11	.900	1.000	1.118	-0.02	-.700	-0.700	-.700	-0.230	-0.230	-.230
12	.900	1.012	1.118	0.00	-.470	3.164	8.530	-9.100	1.016	8.900
13	.900	0.983	1.118	-0.05	-.240	-0.340	-.240	-0.160	-0.160	-.160
14	.900	1.003	1.118	-0.02	-.140	-0.140	-.140	-0.010	-0.010	-.010
15	.900	0.984	1.118	-0.10	-.900	-0.900	-.900	-9.300	-0.556	8.700
16	.900	1.001	1.118	-0.02	-.250	-0.250	-.250	-0.100	-0.100	-.100
17	.900	1.001	1.118	-0.06	-.110	-0.110	-.110	-0.030	-0.030	-.030
18	.900	0.972	1.118	-0.10	-.600	-0.600	-.600	-9.340	-0.818	8.660
19	.900	0.994	1.118	-0.11	-.450	-0.450	-.450	-9.250	0.755	8.750
20	.900	0.982	1.118	-0.10	-.180	-0.180	-.180	-0.030	-0.030	-.030
21	.900	0.978	1.118	-0.07	-.140	-0.140	-.140	-0.080	-0.080	-.080
22	.900	0.984	1.118	-0.02	-.100	-0.100	-.100	-0.050	-0.050	-.050
23	.900	1.004	1.118	0.05	-.070	-0.070	-.070	-0.030	-0.030	-.030
24	.900	0.999	1.118	0.03	-.130	-0.130	-.130	-9.000	-0.038	9.000
25	.900	1.045	1.118	0.20	0.800	3.027	3.800	-9.000	1.819	9.000
26	.900	0.994	1.118	0.21	1.800	2.727	4.800	-9.000	-1.755	9.000
27	.900	0.984	1.118	-0.02	-.710	-0.710	-.710	-9.130	0.192	8.870
28	.900	0.982	1.118	-0.06	-.170	-0.170	-.170	-0.070	-0.070	-.070
29	.900	0.990	1.118	-0.08	-.240	-0.240	-.240	-0.040	-0.040	-.040
30	.900	0.994	1.118	0.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	.900	0.995	1.118	-0.08	-.420	-0.249	-.230	-9.270	0.449	8.730
32	.900	0.968	1.118	-0.04	-.590	-0.590	-.590	-9.230	-0.798	8.770
33	.900	0.987	1.118	-0.13	-.230	-0.230	-.230	-0.090	-0.090	-.090
34	.900	1.019	1.118	-0.15	-.590	-0.590	-.590	-9.260	1.741	8.740
35	.900	1.002	1.118	-0.15	-.320	-0.330	-.330	-0.090	-0.090	-.090
36	.900	1.002	1.118	-0.15	-.310	-0.310	-.310	-9.170	-0.563	8.830

(CONTINUAÇÃO)

37	.900	1.010	1.118	-0.14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
38	.900	1.031	1.118	-0.05	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	.900	0.998	1.118	-0.20	-0.270	-0.270	-0.270	-0.110	-0.110	-0.110
40	.900	1.002	1.118	-0.22	-0.660	-0.660	-0.660	-0.230	0.465	8.770
41	.900	0.993	1.118	-0.23	-0.370	-0.370	-0.370	-0.100	-0.100	-0.100
42	.900	0.992	1.118	-0.20	-0.960	-0.959	-0.960	-0.220	-0.015	8.770
43	.900	1.001	1.118	-0.15	-0.180	-0.180	-0.180	-0.070	-0.070	-0.070
44	.900	0.991	1.118	-0.11	-0.160	-0.160	-0.160	-0.080	-0.080	-0.080
45	.900	0.986	1.118	-0.08	-0.530	-0.530	-0.530	-0.220	-0.220	-0.220
46	.900	0.999	1.118	-0.02	-0.280	-0.066	0.170	-0.100	-0.222	8.900
47	.900	1.014	1.118	0.00	-0.340	-0.340	-0.340	0.000	0.000	0.000
48	.900	1.014	1.118	-0.01	-0.200	-0.200	-0.200	-0.110	-0.110	-0.110
49	.900	1.015	1.118	0.01	-0.070	2.115	2.330	-0.300	-0.278	8.700
50	.900	1.007	1.118	-0.02	-0.170	-0.170	-0.170	-0.040	-0.040	-0.040
51	.900	0.988	1.118	-0.08	-0.170	-0.170	-0.170	-0.080	-0.080	-0.080
52	.900	0.982	1.118	-0.09	-0.180	-0.180	-0.180	-0.050	-0.050	-0.050
53	.900	0.981	1.118	-0.11	-0.230	-0.230	-0.230	-0.110	-0.110	-0.110
54	.900	0.997	1.118	-0.10	-0.13	-0.055	-0.230	-0.320	0.120	8.680
55	.900	0.996	1.118	-0.10	-0.630	-0.630	-0.630	-0.220	0.049	8.780
56	.900	0.997	1.118	-0.10	-0.840	-0.839	-0.840	-0.180	0.497	8.820
57	.900	0.998	1.118	-0.07	-0.120	-0.120	-0.120	-0.030	-0.030	-0.030
58	.900	0.989	1.118	-0.09	-0.120	-0.120	-0.120	-0.030	-0.030	-0.030
59	.900	0.991	1.118	0.00	-0.57	-0.302	-0.70	-0.350	-0.279	7.870
60	.900	0.987	1.118	0.06	-0.780	-0.780	-0.780	-0.030	-0.030	-0.030
61	.900	0.985	1.118	0.07	0.900	2.588	2.800	-0.000	-0.642	9.000
62	.900	0.990	1.118	0.05	-0.770	-0.770	-0.770	-0.140	-0.210	8.860
63	.900	0.991	1.118	0.04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
64	.900	0.991	1.118	0.06	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65	.900	0.989	1.118	0.07	2.200	2.228	5.000	-0.000	-3.244	9.000
66	.900	1.040	1.118	0.10	1.810	3.298	4.610	-0.180	1.960	8.820
67	.900	1.011	1.118	0.06	-0.280	-0.280	-0.280	-0.070	-0.070	-0.070
68	.900	0.992	1.118	0.05	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000
69	.900	1.041	1.118	0.09	2.000	4.852	6.200	-0.000	0.166	9.000
70	.900	0.994	1.118	-0.02	-0.660	-0.660	-0.660	-0.200	-0.089	8.800
71	.900	0.993	1.118	-0.02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72	.900	0.980	1.118	-0.01	-0.120	-0.120	-0.120	-0.000	-0.168	9.000
73	.900	0.993	1.118	-0.03	-0.060	-0.060	-0.060	-0.000	0.013	9.000
74	.900	0.975	1.118	-0.06	-0.680	-0.680	-0.680	-0.270	-0.212	8.730
75	.900	0.982	1.118	-0.04	-0.470	-0.470	-0.470	-0.110	-0.110	-0.110
76	.900	0.966	1.118	-0.08	-0.680	-0.680	-0.680	-0.360	-0.106	8.640
77	.900	1.008	1.118	-0.01	-0.610	-0.609	-0.610	-0.280	0.009	8.720

(CONTINUED)

[illegible]

(CONTINUACAO)

BARRAS	TRANSFORMADORES		
	TPMIN	TAP(I)	TPMAX
8-5	0.950	0.971	1.050
26-25	0.950	0.998	1.050
30-17	0.950	0.957	1.050
38-37	0.950	1.048	1.050
63-59	0.950	1.001	1.050
64-61	0.950	0.995	1.050
65-66	0.950	1.001	1.050
68-69	0.950	0.950	1.050
81-80	0.950	0.951	1.050