

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA POR Nicésio Ronan
Cascone E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 20 / 10 / 92.

Carlos Amadeu Pallerosi
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO

Tese de Mestrado

**METODOLOGIA PARA ANÁLISE E OTIMI-
ZAÇÃO DA CONFIABILIDADE, DA MAN-
TENABILIDADE E DA DISPONIBILIDA-
DE DE UM PROCESSO CONTÍNUO DE
PRODUÇÃO.**

Autor: Nicésio Ronan Cascone

Orientador: Prof. Dr. Carlos Amadeu Pallerosi *ok*

Trabalho apresentado à comissão de Pós-
Graduação da Faculdade de Engenharia
Mecânica como parte dos requisitos para ob-
tenção do título de Mestre em Engenharia
Mecânica.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO

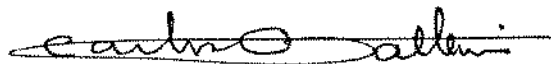
Tese de Mestrado

METODOLOGIA PARA ANÁLISE E OTIMI-
ZAÇÃO DA CONFIABILIDADE, DA MAN-
TENABILIDADE E DA DISPONIBILIDA-
DE DE UM PROCESSO CONTÍNUO DE
PRODUÇÃO.

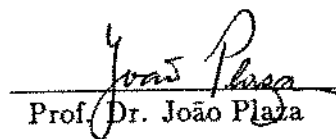
Autor: Nicésio Ronan Cascone

Orientador: Prof. Dr. Carlos Amadeu Pallerosi

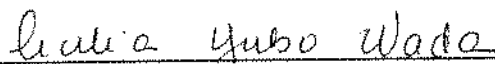
Aprovado por:



Prof. Dr. Carlos Amadeu Pallerosi, presidente



Prof. Dr. João Plaza



Prof. Dra. Cicilia Yuko Wada

Campinas, 20 de Outubro de 1992.

DEDICATÓRIAS

- Àqueles que me trouxeram ao mundo, meus queridos genitores Orlando e Eneida, por todo o suporte e incentivo que sempre me deram.
- À minha adorável Lília, esposa e companheira, pelo apoio, motivação e compreensão.
- Aos meus filhos Vinícius, e Isabella, como exemplo para suas vidas.

AGRADECIMENTOS

- Ao estimado Prof. Carlos Amadeu Pallerosi, pelo entusiasmo total, suporte e dedicação dado a este trabalho.
- Ao Prof. Dino Ferraresi (in-memoriam), pela oportunidade e incentivo à pesquisa científica.
- Ao Eng. Henrique da Costa Fagundes e Eng. Carlos A. Prado Guido, pelo desenvolvimento e elaboração dos programas computacionais.
- A Cláudio Marcolini e Phill Griffin, meus superiores na Du Pont, A. Gregori e Aldo Lordio da Pirelli, que acreditaram no meu trabalho.
- Aos meus companheiros de trabalho, que anonimamente colaboraram para que este trabalho fosse uma realidade.
- A todos que, diretamente ou indiretamente deram o seu apoio, o meu muito obrigado.

Conteúdo

1	MANUTENÇÃO E MANTENABILIDADE	1
1.1	ORIGENS DA MANUTENÇÃO	1
1.2	IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS PARA A MANUTENÇÃO	1
1.3	DEFINIÇÃO DE MANUTENÇÃO E MANTENABILIDADE	2
1.4	OBJETIVOS DA MANUTENÇÃO	3
1.5	FORMAS DE MANUTENÇÃO	4
1.6	EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	5
1.7	FATORES QUE AFETAM A MANTENABILIDADE	6
1.8	CONCEITOS BÁSICOS EM SISTEMAS REPARÁVEIS E NÃO-REPARÁVEIS	7
1.9	PROCEDIMENTO DE ANÁLISE	11
2	CONFIABILIDADE	18
2.1	DEFINIÇÕES DA CONFIABILIDADE	18
2.2	ESTIMATIVA DA CONFIABILIDADE	19
2.3	EQUAÇÕES DA CONFIABILIDADE	19
2.4	TAXA DE FALHA MÉDIA	21
2.5	TEMPO MÉDIO ATÉ FALHA	24
3	MANTENABILIDADE	26
3.1	CONCEITOS BÁSICOS	26
3.2	ESTIMATIVA DA MANTENABILIDADE	26
3.3	EQUAÇÕES DA MANTENABILIDADE	28
3.4	TAXA DE RECOLOCAÇÃO MÉDIA	30
3.5	TEMPO MÉDIO ATÉ RECOLOCAÇÃO	31
4	DISPONIBILIDADE	33
4.1	DEFINIÇÕES DA DISPONIBILIDADE	33
4.2	MUDANÇAS DE ESTADO	35
4.3	EQUAÇÕES BÁSICAS DA DISPONIBILIDADE E DA INDISPONIBILIDADE	36

4.4	FORMAS SIMPLIFICADAS DAS EQUAÇÕES	43
4.5	TEMPO MÉDIO ATÉ INDISPONIBILIDADE	45
5	MODELO CONFIABILÍSTICO	47
5.1	ARRANJOS FUNCIONAIS	47
5.1.1	Arranjo Série	47
5.1.2	Arranjo Paralelo	48
5.1.3	Arranjos Compostos	48
5.2	COMPOSIÇÕES E EQUIVALÊNCIAS	49
5.2.1	Uso de Comutador ou Sensor (SO)	49
5.2.2	Aplicação de Sucessivas Reduções Série/Paralelo	49
5.2.3	Identificação Geral do Componente, Sensor ou Equivalências	50
5.3	EQUAÇÕES DAS CONFIABILIDADES	50
5.3.1	Componentes e Sensores	50
5.3.2	Componente-equivalente	51
5.3.3	Arranjos Série	54
5.3.4	Arranjos Paralelos, com Redundância ativa	54
5.3.5	Arranjos Paralelos com redundância passiva (espera)	56
5.3.6	Arranjos funcionais de Sensores	57
5.4	IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA	57
5.5	IDENTIFICAÇÃO DOS SENSORES OU COMUTADORES	58
6	MODELO MANTENABILÍSTICO	62
6.1	ARRANJOS FUNCIONAIS	62
6.1.1	Arranjo Série	62
6.1.2	Arranjo Paralelo	62
6.1.3	Arranjos Compostos	63
6.2	COMPOSIÇÕES E EQUIVALÊNCIAS	63
6.3	EQUAÇÕES DAS MANTENABILIDADES	64
6.3.1	Componentes e Sensores	64
6.3.2	Componente-equivalente	64
6.3.3	Arranjos Série	66
6.3.4	Arranjos Paralelos, com Redundância ativa	66
6.3.5	Arranjos Paralelos com redundância passiva (espera)	69
6.3.6	Arranjos funcionais de Sensores	70
6.4	IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DA MANTENABILIDADE	70

7	MODELO DISPONIBILÍSTICO	73
7.1	ARRANJOS FUNCIONAIS	73
7.1.1	Arranjos Série	73
7.1.2	Arranjos Paralelos com Redundância Ativa	73
7.1.3	Arranjos Paralelos com Reserva Passiva (Stand-by)	74
7.1.4	Arranjos Compostos	74
7.2	COMPOSIÇÕES E EQUIVALÊNCIAS	75
7.2.1	Uso de Comutador ou Sensor	75
7.2.2	Aplicação de Sucessivas Reduções Série/Paralelo	75
7.2.3	Identificação Geral dos Componentes, Sensores ou Equivalências	75
7.3	EQUAÇÕES DAS DISPONIBILIDADES	76
7.3.1	Componentes e Sensores	76
7.3.2	Componente-Equivalente	83
7.3.3	Arranjo Série	85
7.3.4	Arranjo Paralelos com Redundância Ativa	86
7.3.5	Arranjos Paralelos com redundância passiva (stand-by)	87
7.3.6	Arranjos funcionais de Sensores	87
7.4	IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DA DISPONIBILIDADE	88
7.5	PRECISÃO DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS	88
7.5.1	Arranjo Paralelo com Redundância ativa	88
7.5.2	Arranjo Paralelo com Redundância passiva	90
7.6	DISPONIBILIDADE PARA COMPONENTE-EQUIVALENTE	91
7.6.1	Equação básica das Disponibilidades	91
7.6.2	Funcionamento	92
7.6.3	Disponibilidade do sistema (total)	93
7.6.4	Validade da equação proposta	95
8	MODELO ESTRUTURAL DO SISTEMA	96
8.1	OBJETIVOS	96
8.2	MODELO DOS SUB-SISTEMAS PRINCIPAIS	97
8.2.1	Alimentação e Dosagem de MP1	97
8.2.2	Suprimento de Reagente, MP4, MP5, Água e Vapor	99
8.2.3	Alimentação e Controle do Reagente	100
8.2.4	Misturador	101
8.2.5	Alimentação e Controle de MP4	102
8.2.6	Alimentação e Controle de MP5	102
8.2.7	Reator e Viscosímetro	102
8.2.8	Bomba do Produto	103
8.3	MODELO DOS SUB-SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO	103

8.3.1	Alimentação e Controle de MP1	103
8.3.2	Alimentação de Reagente, MP4, MP5, Água e Vapor	104
8.3.3	Alimentação e Controle de Reagente	104
8.3.4	Alimentação e Controle de MP4 e MP5	104
8.3.5	Reator, Viscosímetro e Bomba de Produto	105
8.4	TOTAL DO SISTEMA (TOP-EVENT)	105
8.5	SISTEMAS PARTICULARES	105
8.5.1	Alimentação, Dosagem e Controle de MP1	105
8.5.2	Alimentação, Dosagem e Controle de Reagente	106
8.5.3	Alimentação, Dosagem e Controle de Reagente	106
9	PROGRAMA COMPUTACIONAL	107
9.1	ESTRUTURA DO PROGRAMA	107
9.2	CONFIABILIDADE DE COMPONENTES	114
9.2.1	Cálculo da Confiabilidade (R) e Desconfiabilidade (F)	114
9.2.2	Cálculo do Tempo Médio até Falha (TMAF)	114
9.2.3	Gráficos da Confiabilidade e Desconfiabilidade	115
9.3	DISPONIBILIDADE DE COMPONENTES	120
9.3.1	Cálculo Disponibilidade (D) e Indisponibilidade (I)	120
9.3.2	Tempo Médio até Indisponibilidade	120
9.3.3	Gráficos da Disponibilidade e Indisponibilidade	120
9.4	MANTENABILIDADE DE COMPONENTES	121
9.4.1	Cálculo da Manutenibilidade (M) e da Não-Manutenibilidade (N)	121
9.4.2	Cálculo do Tempo Médio até Recolocação (TMAR)	121
9.4.3	Gráficos da Manutenibilidade/Não-Manutenibilidade	122
9.5	CONFIABILIDADE DE SISTEMAS	137
9.5.1	Cálculo das Confiabilidades (R_i) e Desconfiabilidades (F_i) dos Componentes	137
9.5.2	Tempo Médio até Falha do Sistema	138
9.5.3	Gráficos para Sistemas	138
9.6	DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS	152
9.6.1	Cálculo dos Valores das Disponibilidades (D_i) e Indisponibilidades (I_i) . .	152
9.6.2	Tempo Médio Até Indisponibilidade do Sistema	153
9.6.3	Gráficos para Disponibilidade e Indisponibilidade de Sistemas	153
9.7	MANTENABILIDADE DE SISTEMAS	154
9.7.1	Cálculo dos Valores das Manutenibilidades (M_i) e Não-Manutenibilidades (N_i)	154
9.7.2	Tempo Médio até Recolocação do Sistema	174
9.7.3	Gráficos da Manutenibilidade e da Não-Manutenibilidade de Sistemas . . .	175

10 OBTENÇÃO DOS DADOS	190
10.1 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES	190
10.2 PROGRAMA COMPUTACIONAL	192
10.3 COLETA DOS DADOS	193
10.4 FORMULÁRIOS	194
10.4.1 Formulário (PdT) para Manutenção Programada	194
10.4.2 Formulário (PdT) para Manutenção de Emergência	202
10.5 CODIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	206
10.6 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES	207
11 CONCLUSÕES	209
12 SUGESTÕES PARA FUTUROS DESENVOLVIMENTOS	212
12.1 MODELO ESTRUTURAL	212
12.2 MODELO OPERACIONAL	212
12.3 GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO	213
12.4 OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE FÁBRICAS, DE CLASSE MUNDIAL . . .	213
13 BIBLIOGRAFIA	214
13.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	214
13.2 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	216
13.3 NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARES	217
13.4 REVISTAS ESPECIALIZADAS	217
13.5 PUBLICAÇÕES ESPECIALIZADAS	218
Bibliografia	219

Lista de Figuras

1.1 Custos anuais de Manutenção, em porcentagem (%) do valor estimado de reposição do ativo [2].	2
1.2 Analogia entre saúde humana e das máquinas [6].	3
1.3 Caracterização dos diferentes tipos de manutenção.	4
1.4 Ocorrência de falha, recolocação e consequente Disponibilidade, durante a vida de um sistema reparável.	8
1.5 Variação típica dos valores da Disponibilidade (D), Manutenibilidade (M) e Confiabilidade (R), em função da vida (tempo de uso) do sistema.	9
1.6 Variação da Disponibilidade $D(t)$ e da Confiabilidade $R(t)$ em sistemas reparáveis, com troca parcial de componentes.	10
1.7 Variação da Disponibilidade $D(t)$ e da Confiabilidade $R(t)$ em sistemas reparáveis, com troca total de componentes.	10
1.8 Procedimento de análise (etapas).	12
1.9 Simbologia básica para os eventos indicados nas “árvores de falhas ”	13
1.10 Modelo Confiabilístico do Sistema (Linha de produto)	14
1.11 Probabilidades associadas às falhas e reparos (recolocações), para os arranjos série e paralelo	15
1.12 Tipos de análise da criticidade, baseados nos efeitos e nos modos de falha	17
2.1 Influência dos valores do coeficiente de forma (β) nos valores da Confiabilidade. .	22
2.2 Variação típica da Confiabilidade $R(t)$ e da Desconfiabilidade $F(t)$ para as distribuições de Weibull e Exponencial, e valor da Taxa de falha característica (λ_0). .	23
2.3 Integração numérica para determinação do Tempo Médio Até Falha (TMAF). . .	25
3.1 Analogias entre a Confiabilidade e a Manutenibilidade.	27
3.2 Variação típica da Manutenibilidade $M(t)$ e da Não- Manutenibilidade $N(t)$, para as distribuições Exponencial e de Weibull.	29
3.3 Aproximação da distribuição de Weibull à distribuição Normal.	30
3.4 Integração numérica para determinação do Tempo Médio até Recolocação em Serviço (TMAR).	31

4.1	Mudanças de estado de funcionamento de um Componente	35
4.2	Variações típicas dos valores da Disponibilidade (D) e da Indisponibilidade (I).	39
4.3	Variação da Disponibilidade $D(t)$ e da Indisponibilidade $I(t)$ em função de diferentes valores (casos 1, 2 e 3) dos Parâmetros de forma β e γ	40
4.4	Variação da Disponibilidade (D_l) e Indisponibilidade Limite (I_l) em função de diferentes valores (casos 1, 2 e 3), dos Parâmetros do forma β e γ (exemplo de aplicação).	42
4.5	Variação da Disponibilidade Complementar D_c em função de diferentes valores (casos 1, 2 e 3) dos Parâmetros de forma β e γ	44
4.6	Correlações entre Taxas de falhas, recolocações e probabilidades.	45
4.7	Integração numérica para a determinação do Tempo Médio até Indisponibilidade (TMAI)	46
5.1	Gráfico de Weibull para o Componente-Equivalente.	52
6.1	Influência de um Sensor sobre a Não-Mantenabilidade do Componente	66
7.1	Valores da Disponibilidade, Confiabilidade e Não-Mantenabilidade, em função do tempo, para a distribuição de Weibull (exemplo prático).	81
7.2	Valores da Disponibilidade, Confiabilidade e Não-Mantenabilidade, em função do tempo, para a distribuição de Exponencial (exemplo prático).	82
7.3	Variação típica da diferença entre os valores calculados das Disponibilidades Limites (valores calculados DCR_l e exatos DCR_l^*).	90
9.1	Estrutura do programa RAMP.	108
9.2	(a) Detalhamento da estrutura do programa RAMP.	109
9.2	(b) Detalhamento da estrutura do programa RAMP (cont.).	110
9.2	(c) Detalhamento da estrutura do programa RAMP (cont.).	111
9.3	Apresentação do programa RAMP.	113
9.4	Abertura do programa (opções básicas de análise).	113
9.5	Escolha do tipo de análise.	116
9.6	Valores dos parâmetros do Componente.	116
9.7	Escolha do tipo de cálculo, para Componentes.	117
9.8	Escolha da aplicação de Sensor no Componente.	117
9.9	Valores dos parâmetros do Sensor.	118
9.10	Valor do período (vida) desejado.	118
9.11	Apresentação dos valores calculados da Confiabilidade e da Desconfiabilidade.	119
9.12	Apresentação do valor calculado do Tempo Médio Até Falha.	119
9.13	Valor do período (Vida) máximo desejado no gráfico.	123
9.14	Escolha do tipo de gráfico desejado, para Componentes.	123

9.15 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Confiabilidade do Componente.	124
9.16 Gráfico (tipo Linear) da variação da Confiabilidade do Componente.	124
9.17 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Desconfiabilidade do Componente.	125
9.18 Gráfico (tipo Linear) da variação da Desconfiabilidade do Componente.	125
9.19 Valores dos Parâmetros (Falha, Recolocação) do Componente.	126
9.20 Escolha do tipo de cálculo da Disponibilidade/Indisponibilidade do Componente.	126
9.21 Valores dos Parâmetros (Falha, Recolocação) do Sensor.	127
9.22 Valor do período (Vida) do Componente.	127
9.23 Valores calculados da Disponibilidade/Indisponibilidade do Componente.	128
9.24 Valor calculado do Tempo Médio Até Indisponibilidade, e dos valores residuais das Disponibilidades.	128
9.25 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Disponibilidade do Componente.	129
9.26 Gráfico (tipo Linear) da variação da Disponibilidade do Componente.	129
9.27 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Indisponibilidade do Componente.	130
9.28 Gráfico (tipo Linear) da variação da Indisponibilidade do Componente.	130
9.29 Valores dos parâmetros do Componente.	131
9.30 Escolha do tipo de cálculo da Manutenibilidade para Componentes.	131
9.31 Valores dos parâmetros da Manutenibilidade do Sensor, para Componentes.	132
9.32 Valores calculados da Manutenibilidade e da Não-Manutenibilidade do Componen- te, Sensor e Componente-Equivalente.	132
9.33 Valor do Tempo Médio Até Recolocação em Serviço, do Componente.	133
9.34 Valor do período máximo (tempo), para os gráficos da Manutenibilidade.	133
9.35 Escolha do tipo de gráfico da variação da Manutenibilidade do Componente.	134
9.36 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Manutenibilidade do Componente.	134
9.37 Gráfico (tipo Linear) da variação da Manutenibilidade do Componente.	135
9.38 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Não-Manutenibilidade do Componente.	135
9.39 Gráfico (tipo Linear) da variação da Não-Manutenibilidade do Componente.	136
9.40 Valores adotados para os parâmetros dos Componentes do Sistema.	140
9.40 Valores adotados para os parâmetros dos Componentes do Sistema (cont.).	140
9.40 Valores adotados para os parâmetros dos Componentes do Sistema (cont.).	141
9.41 Opções de cálculo para Confiabilidade do Sistema.	141
9.42 Valor do período de funcionamento do Sistema.	142
9.43 Valores adotados para os parâmetros dos Sensores do Sistema.	142
9.43 Valores adotados para os parâmetros dos Sensores do Sistema (cont.).	143
9.43 Valores adotados para os parâmetros dos Sensores do Sistema (cont.).	143
9.43 Valores adotados para os parâmetros dos Sensores do Sistema (cont.).	144
9.44 Valores calculados para as Confiabilidades e Desconfiabilidades dos Componentes- equivalentes do Sistema.	144

9.44	Valores calculados para as Confiabilidades e Desconfiabilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema (cont.).	145
9.44	Valores calculados para as Confiabilidades e Desconfiabilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema (cont.).	145
9.45	Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades, na alimentação e dosagem de MP1.	146
9.46	Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades no Suprimento de Reagentes, MP4, MP5 e Água, Alimentação e Controle do Reagente.	146
9.47	Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades para o Misturador, Alimentação e Controle do MP4; Alimentação e Controle do MP5.	147
9.48	Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades do Reator e Viscosímetro; Bomba do produto.	147
9.49	Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades dos Sub-sistemas e do Sistema. .	148
9.50	Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades de Sistemas particulares. . . .	148
9.51	Valor do período máximo (escala horizontal) do gráfico para Confiabilidades e Desconfiabilidades do Sistema.	149
9.52	Valor limite da Confiabilidade do Sistema, para o período máximo desejado. . . .	149
9.53	Gráfico (tipo Weibull) da variação da Confiabilidade do Sistema.	150
9.54	Gráfico (tipo Linear) da variação da Confiabilidade do Sistema.	150
9.55	Gráfico (tipo Weibull) da variação da Desconfiabilidade do Sistema.	151
9.56	Gráfico (tipo Linear) da variação da Desconfiabilidade do Sistema.	151
9.57	Períodos entre manutenções (trocas) dos Componentes do Sistema.	155
9.58	Componentes a serem trocados na 1ª Manutenção do Sistema.	155
9.59	Componentes a serem trocados na 2ª Manutenção do Sistema.	156
9.60	Gráfico (tipo Weibull) da variação da Confiabilidade do Sistema, com troca de Componentes.	156
9.61	Gráfico (tipo Linear) da variação da Confiabilidade do Sistema, com troca de Componentes.	157
9.62	Gráfico (tipo Weibull) da variação da Desconfiabilidade do Sistema, com troca de Componentes.	157
9.63	Gráfico (tipo Linear) da variação da Desconfiabilidade do Sistema, com troca de Componentes.	158
9.64	Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Componentes do Sistema.	158
9.64	Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Componentes do Sistema (Cont.).	159
9.64	Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Componentes do Sistema (Cont.).	159
9.65	Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Sensores do Sistema. . . .	160

9.65	Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Sensores do Sistema (Cont.).	160
9.65	Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Sensores do Sistema (Cont.).	161
9.65	Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Sensores do Sistema (Cont.).	161
9.66	Opções de cálculo e gráficos para a Disponibilidade/Indisponibilidade do Sistema.	162
9.67	Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Componentes-Equivalentes do Sistema.	163
9.67	Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Componentes-Equivalentes do Sistema (Cont.).	163
9.67	Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Componentes-Equivalentes do Sistema (Cont.).	164
9.68	Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades para a alimentação e dosagem de MP1.	164
9.69	Valores calculados para as Disponibilidades e Indisponibilidades do Suprimento de reagentes MP4, MP5 e Água; Alimentação e Controle do reagente.	165
9.70	Valores calculados para as Disponibilidades e Indisponibilidades do Misturador, Alimentação e Controle de MP4; Alimentação e Controle de MP5.	165
9.71	Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades do Reator e Viscosímetro; Bomba do produto.	166
9.72	Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Sub-Sistemas e Sistema Total.	166
9.73	Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades de Sistemas particulares.	167
9.74	Valores calculados do Tempo Médio até Indisponibilidade do Sistema.	167
9.75	Período desejado para a escala horizontal do gráfico e opções para sistemas (com ou sem troca de Componentes).	168
9.76	Processo iterativo para geração dos pontos nos gráficos.	168
9.77	Tipos de gráficos para Disponibilidades e Indisponibilidades do Sistema.	169
9.78	Gráfico (tipo Weibull) da variação da Disponibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	169
9.79	Gráfico (tipo Linear) da variação da Disponibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	170
9.80	Gráfico (tipo Weibull) da variação da Indisponibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	170
9.81	Gráfico (tipo Linear) da variação da Indisponibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	171
9.82	Períodos entre manutenções do Sistema.	171
9.83	Gráfico (tipo Weibull) da variação da Disponibilidade do Sistema, com troca de Componentes.	172

9.84 Gráfico (tipo Linear) da variação da Disponibilidade do Sistema, com troca de Componentes.	172
9.85 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Indisponibilidade do Sistema, com troca de Componentes.	173
9.86 Gráfico (tipo Linear) da variação da Indisponibilidade do Sistema, com troca de Componentes.	173
9.87 Opções de cálculo e gráfico para a Manutenibilidade e Não-Manutenibilidade. . . .	176
9.88 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema.	177
9.88 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema (cont.).	177
9.88 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema (cont.).	178
9.89 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades da Alimentação e dosagem de MP1.	178
9.90 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades do Suprimento de reagentes, MP4, MP5 e Água; Alimentação e Controle do Reagente.	179
9.91 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades do Misturador, Alimentação e Controle de MP4; Alimentação e Controle de MP5.	179
9.92 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades do Reator e Viscosímetro; Bomba do Produto.	180
9.93 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades dos Sub-Sistemas e Sistema total.	180
9.94 Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades de Sistemas particulares.	181
9.95 Valor calculado do Tempo Médio até Recolocação do Sistema.	181
9.96 Período máximo (escala Horizontal) para os gráficos da Manutenibilidade e Não-Manutenibilidade do Sistema.	182
9.97 Cálculo iterativo dos valores para geração dos gráficos da Manutenibilidade e Não-Manutenibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	182
9.98 Escolha do tipo de gráfico das Manutenibilidade e Não-Manutenibilidade do Sistema.	183
9.99 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Manutenibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	183
9.100 Gráfico (tipo Linear) da variação da Manutenibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	184
9.101 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Não-Manutenibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	184

9.102 Gráfico (tipo Linear) da variação da Não-Mantenabilidade do Sistema, sem troca de Componentes.	185
9.103 Período entre Manutenções (trocas) do Sistema para os gráficos das Manutenbilities e Não-Mantenabilidades.	185
9.104 Componentes a serem trocados na 1ª Manutenção do Sistema.	186
9.105 Componentes a serem trocados na 1ª Manutenção do Sistema.	186
9.106 Cálculo iterativo dos valores para geração dos gráficos da Manutenibilidade e Não-Mantenabilidade, com troca de Componentes.	187
9.107 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Manutenibilidade do Sistema, com troca de Componentes.	187
9.108 Gráfico (tipo Linear) da variação da Manutenibilidade do Sistema, com troca de Componentes.	188
9.109 Gráfico (tipo Weibull) da variação da Não-Mantenabilidade do Sistema, com troca de Componentes.	188
9.110 Gráfico (tipo Linear) da variação da Não-Mantenabilidade do Sistema, com troca de Componentes.	189
10.1 Formulário (PdT) para Manutenção Programada (S) e Serviço Capitalizado (C). . .	195
10.2 Fluxograma de gerenciamento das ações de Manutenção Programada (S).	196
10.3 Formulário (PdT) para Manutenção de Emergência (E).	197
10.4 Verso do formulário (PdT) para Manutenção de Emergência (E).	198
10.5 Fluxograma de gerenciamento das ações de Manutenção de Emergência (E).	199
11.1 Aumento do Tempo de bom funcionamento ao longo do período de aplicação da metodologia adotada.	210
11.2 Aumentos obtidos quanto ao valor dos equipamentos (a) e da quantidade de PdT, por Mecânico, ao longo do período de aplicação da metodologia adotada.	210

Lista de Tabelas

5.1	Identificação dos Componentes do Sistema e valores das Taxas de falhas e Parâmetros de forma	59
5.2	Identificação dos Componentes do Sistema e valores das Taxas de falhas e Parâmetros de forma (cont.)	60
5.3	Identificação dos Sensores utilizados no Sistema e valores das Taxas de falhas e Parâmetros de forma	61
6.1	Identificação dos Componentes e valores das Taxas de recolocação em serviço e Parâmetros de forma	71
6.2	Identificação dos Sensores (ou Comutadores) e valores das Taxas de recolocação em serviço e Parâmetros de forma	72
7.1	Influência do valor da relação μ/λ nas Disponibilidades Limites para arranjo paralelo [1/2], com redundância ativa.	89
7.2	Influência da quantidade de grupos em Série no valor do erro calculado das Disponibilidades Limites.	89
7.3	Influência do valor da relação μ/λ nas Disponibilidades Limites para arranjo paralelo [1/2], com redundância passiva(stand-by).	91
7.4	Influência da quantidade de grupos em Série no valor do erro calculado das Disponibilidades Limites.	91
10.1	Código de Identificação de Componentes (Campo 16)	204
10.2	Código de Identificação dos Trabalhos Executados (Campo 16)	205
10.3	Código das Especialidades (Campo 17)	206
10.4	Código das Seções (Campo 25)	206

Sumário

Nova metodologia para gerenciamento da função Manutenção, pela análise da Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade dos Componentes e Sistemas, objetivando uma melhoria da qualidade e da produtividade. Aplicação dos conceitos de “Componente-Equivalente” quando são aplicados Sensores ou Comutadores, e de “Componente-Reduzido” nos arranjos Série ou Paralelo por aplicação da teoria Bayesiana ao invés da Markoviana. Apresentação do programa computacional “RAMP” para cálculos, geração de gráficos simulações de casos práticos, inclusive com troca total ou parcial dos Componentes do sistema analisado (Linha de produto). Apresentação e análise do programa GAMA (Gerenciamento e Aperfeiçoamento da Manutenção).

Abstract

This Work is a new methodology for Maintenance Function Management and Maintainability, Availability (Up-Time) and Reliability analysis for a continuous manufacturing process and it aims improvements on Quality, Productivity and Gamma Project Development (Maintenance Management Excellence).

The main innovations presented, besides the gamma system, are the concepts of equivalent component, reduced component, calculations simplifications on availability by use of the "Bayesian" theory, average concept of failure rates and relocation in service, as well as the software "RAMP" for calculations of Availability, Reliability and Maintainability.

Capítulo 1

MANUTENÇÃO E MANTENABILIDADE

1.1 ORIGENS DA MANUTENÇÃO

Desde os primórdios da civilização antiga, o homem utiliza seus conhecimentos, transmitidos às sucessivas gerações, para a construção de implementos agrícolas, meios de defesa, veículos de transporte, edifícios, transporte de água, e muitos outros recursos, para tornar sua vida mais confortável e segura. Como na natureza tudo sofre a ação do tempo ou do uso, a vida útil de todos os bens gerados não é infinita, mas pode ser aumentada através de ações corretivas, preventivas ou preditivas, denominadas de **Manutenção**. Embora sua origem remonte aos primeiros tempos e os esforços de manutenção tenham sido incrementados através dos séculos, foi somente após a segunda grande guerra (1939-1945), com os sucessivos avanços da engenharia e da tecnologia, que uma maior atenção foi dada às ações de manutenção, em função dos significativos gastos na manutenção de complexos industriais e de defesa.

1.2 IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS PARA A MANUTENÇÃO

Estimando-se o ativo patrimonial das 500 maiores empresas brasileiras em U\$ 200 bilhões de dólares [1], as despesas anuais de manutenção (materiais, mão de obra, etc.), segundo os estudos comparativos desenvolvidos pela A.T. Kearney [2], estão na faixa de 4%, como mostrado na Figura 1.1. Com base nisto, pode-se concluir que somente nestas 500 empresas brasileiras se ao dispendidos mais de U\$ 8 bilhões de dólares em atividades de manutenção. Uma redução para a faixa de 2%, igualando-se aos níveis alcançados no Japão e Europa, conduziria a uma redução de custos da ordem de U\$ 4 bilhões de dólares. Neste valor não estariam incluídos os benefícios decorrentes da redução das paradas nos processos produtivos (processamento) e do aumento do

potencial da capacidade instalada, que superam em larga margem o valor estimado de U\$ 4 bilhões de dólares.

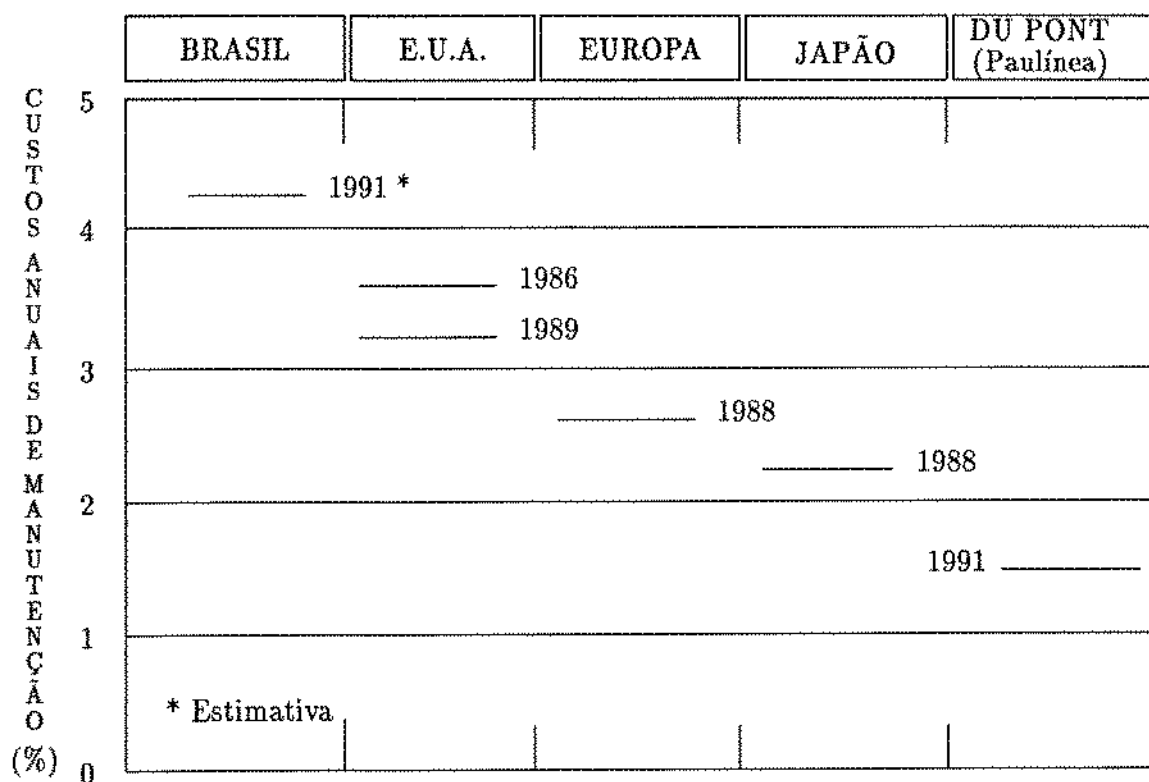


Figura 1.1: Custos anuais de Manutenção, em porcentagem (%) do valor estimado de reposição do ativo [2]

1.3 DEFINIÇÃO DE MANUTENÇÃO E MANTENABILIDADE

Dentre as várias definições existentes nas Normas Técnicas e bibliografia disponível, destacam-se as seguintes:

a) Norma Brasileira ABNT-NBR-5462/1981 [3]

Manutenção: conjunto de ações destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual ele pode executar a função requerida.

Mantenabilidade: facilidade de um item em ser mantido ou recolocado no estado no qual ele pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a

manutenção é executada sob condições determinadas e mediante os procedimentos e meios prescritos.

b) **Norma Inglesa BS-3811/1974 [4]**

Manutenção: é a combinação de qualquer ação para reter um item ou restaurá-lo, de acordo com um padrão aceitável.

Mantenabilidade: é a qualidade de combinar características de um equipamento projetado, o qual possibilita a execução de manutenção por pessoal de média habilidade.

1.4 OBJETIVOS DA MANUTENÇÃO

A manutenção é a “medicina das máquinas” , utilizando uma comparação de François Monchy [6], onde é feita uma comparação entre a saúde humana e a “saúde da máquina” , apresentada na Figura 1.2. Baseado nisto podemos definir como objetivos da manutenção:

Saúde Humana	ANALOGIA		Saúde da Máquina
Conhecimento do homem	Nascimento	Início da operação	Conhecimento tecnológico
Conhecimento das doenças			Conhecimento dos modos de falha
Ficha médica			Histórico
Dossiê médico	Longevidade	Durabilidade	Dossiê da máquina
Diagnóstico, exame			Diagnóstico, perícia
Visita médica			Inspeção
Conhecimento dos tratamentos	Boa saúde	Confiabilidade	Conhecimento das ações curativas
Tratamento curativo			Retirada do estado de pane, reparo
Cirurgia			Renovação, modernização, substituição
	Assistência médica	Mantenabilidade	
	Morte	Sucateamento	
Medicina			Manutenção

Figura 1.2: Analogia entre saúde humana e das máquinas [6].

- Assegurar a disponibilidade dos equipamentos instalados para a produção e obter o máximo retorno possível dos investimentos.
- Extender a vida das instalações industriais, particularmente importante nos países em desenvolvimento devido à falta de recursos e à não-disponibilidade de peças de reposição.

- c) Garantir a operacionalidade de todos os equipamentos requeridos em emergências, como sistemas de combate a incêndio, equipamentos reservas, etc..
- d) Garantir a segurança do pessoal que utiliza as instalações.

1.5 FORMAS DE MANUTENÇÃO

Os trabalhos de manutenção podem ser planejados ou não, como mostrado na Figura 1.3.

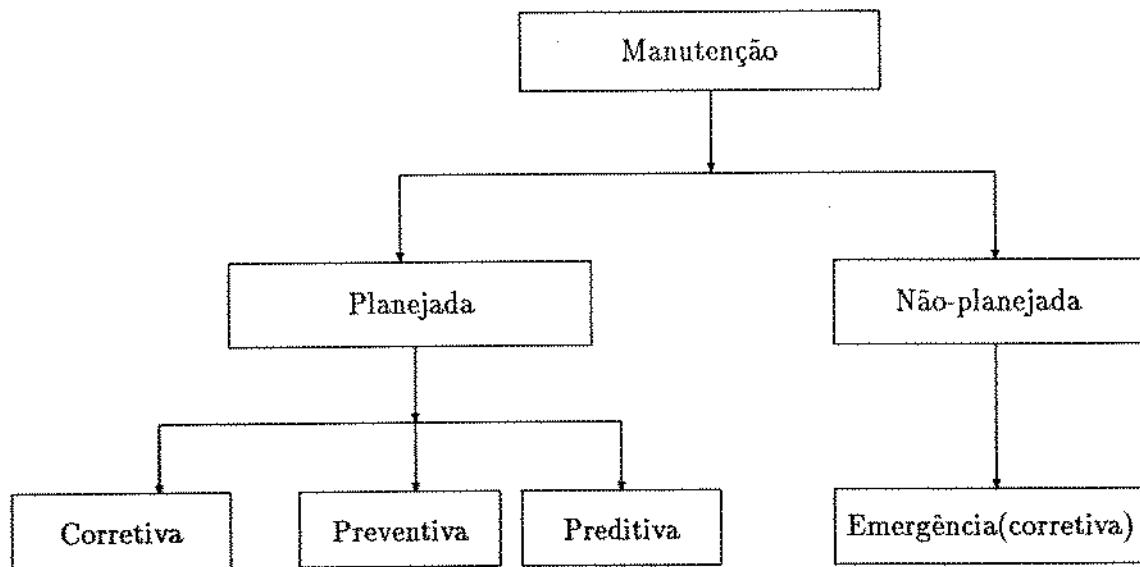


Figura 1.3: Caracterização dos diferentes tipos de manutenção

a) Manutenção Planejada Corretiva

São os casos que embora tenha sido feito a manutenção preventiva regularmente, partes do equipamento atingiram a sua vida final e se faz necessário substituir todo o componente, complemento residual da manutenção preventiva.

b) Manutenção Planejada Preventiva

Manutenção efetuada para se reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do serviço prestado pela mesma.

É uma intervenção de manutenção programada com regularidade antes do possível aparecimento da falha.

Exemplo: lubrificação, limpeza, ajustamento, alinhamento, substituição de componentes menores.

c) Manutenção Preditiva (ou Diagnóstica)

A manutenção preditiva tem por enfoque, o monitoramento em operação dos equipamentos de forma a serem detectados quaisquer sintomas de anomalias.

Os modos de manutenção preditiva são:

- Inspeção visual;
- Medição de níveis de ruído;
- Medição de vibrações;
- Termografia;
- Ferrografia;
- Medição de espessuras.

isto é, diagnosticar uma eventual probabilidade de falha por um sintoma mensurável ou sensível, ao invés da substituição do componente por tempo de vida, ou seja, pelo comportamento.

d) Manutenção de Emergência

É na realidade uma correção. O que a difere das demais, é que a falha já ocorreu, não houve uma programação. É a que mais danos traz aos equipamentos e ao processo de produção. Se efetuada imediatamente, dependendo da manutenibilidade, reduz-se o impacto da mesma.

1.6 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

Como toda ciência, a manutenção tem evoluído significativamente com a adição de tecnologias e da migração do simples papel de **conservar** (consertar ou reparar, a fim de garantir a continuidade da produção) para o de **manter** (escolher os meios de prevenir, corrigir ou de renovar, segundo a utilização de materiais e técnicas, afim de otimizar os custos e benefícios).

Conservar é submeter-se ao **acaso**.

Manter é dominar o **acaso**.

Podemos então, classificar a manutenção em 4 fases progressivas:

I - Manutenção de Crises : Reparar quando falhar;

II - Manutenção Preventiva : Reparar antes que falhe;

III - Manutenção Preditiva : Monitorar o momento da falha e reparar somente na eminência de falha;

IV - Manutenção como parte integrante da vantagem competitiva de manufatura.

1.7 FATORES QUE AFETAM A MANTENABILIDADE

Agrupamos os fatores que afetam a manutenibilidade em dois grandes títulos : projeto e instalação.

Os fatores relacionados com o **projeto** são:

- confiabilidade;
- complexidade;
- intercambiabilidade;
- substituíbilidade;
- compatibilidade;
- visibilidade;
- reparabilidade;
- acesso e configuração.

Cada um destes fatores são complexos na natureza e requerem especiais discussões e estudos.

Os fatores relacionados com a **instalação** são os fatores que se relacionam com o fator humano, que é responsável pelo equipamento, como também aos associados com o ambiente.

Resumidamente eles podem ser listados como:

- experiência;
- treinamento;
- especialidade;
- supervisão de manutenção;
- tecnologia de manutenção;
- suporte logístico.

Outros fatores incluem ambiente, manuais, reforma de equipamentos, programação de manutenção, testes de disponibilidade e técnicas de calibração.

Em função desta complexidade e variedade de parâmetros, a otimização deve ser iniciada desde o projeto inicial, segundo A. K. Govil [7], para se conseguir uma ótima manutenibilidade:

- a) Projetar para um mínimo de especializações de manutenção;
- b) Projetar para o mínimo de ferramentas;

- c) Projetar para o mínimo de ajustes;
- d) Utilizar partes intercambiáveis e padronizadas;
- e) Agrupar em subsistemas, de forma que eles podem ser facilmente localizados e visíveis;
- f) Providenciar para que as inspeções possam ser visuais;
- g) Providenciar dispositivos indicadores de problemas tais como painéis indicadores;
- h) Utilizar código de cores para fiações;
- i) Utilizar conexões tipo plug ao invés de conexões soldadas;
- j) Planejar para módulos de reposição;
- k) Utilizar indicadores de sobrecarga, alarme e fusíveis luminosos;
- l) Projetar para segurança, utilizar interruptores, tampas de segurança;
- m) Fazer recuperação automática de programação em caso de falhas (computadores digitais);
- n) Prever componentes e partes de fácil acesso.

1.8 CONCEITOS BÁSICOS EM SISTEMAS REPARÁVEIS E NÃO-REPARÁVEIS

Um sistema (ou equipamento, componente) reparável, simplificadaamente, é aquele que permite a sua recolocação em serviço (**Mantenabilidade**), após uma falha (**Confiabilidade**), resultando em uma **Disponibilidade** operacional de uso. A Figura 1.4 resume a correlação da qualidade de um sistema, referida aos três aspectos básicos da trilogia Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade:

1. Ser Confiável

Apresentar poucas falhas (admissíveis). Nenhum produto é a prova de falhas, ou seja, sempre podem ocorrer falhas.

2. Possibilitar sua Manutenção

Após uma dada falha o sistema pode ser recolocado em operação , com uma maior ou menor facilidade de reativação para o estado de bom funcionamento.

3. Ser Disponível

Embora ocorram falhas, as recolocações em serviço permitem uma continuidade de operação. O uso de equipamentos em redundâncias ativas (por exemplo 1 bom em 2) ou

passivas (espera ou “stand-by”) implicam em aumento da Disponibilidade, ou seja, um equipamento que falha não implica em falha do sistema.

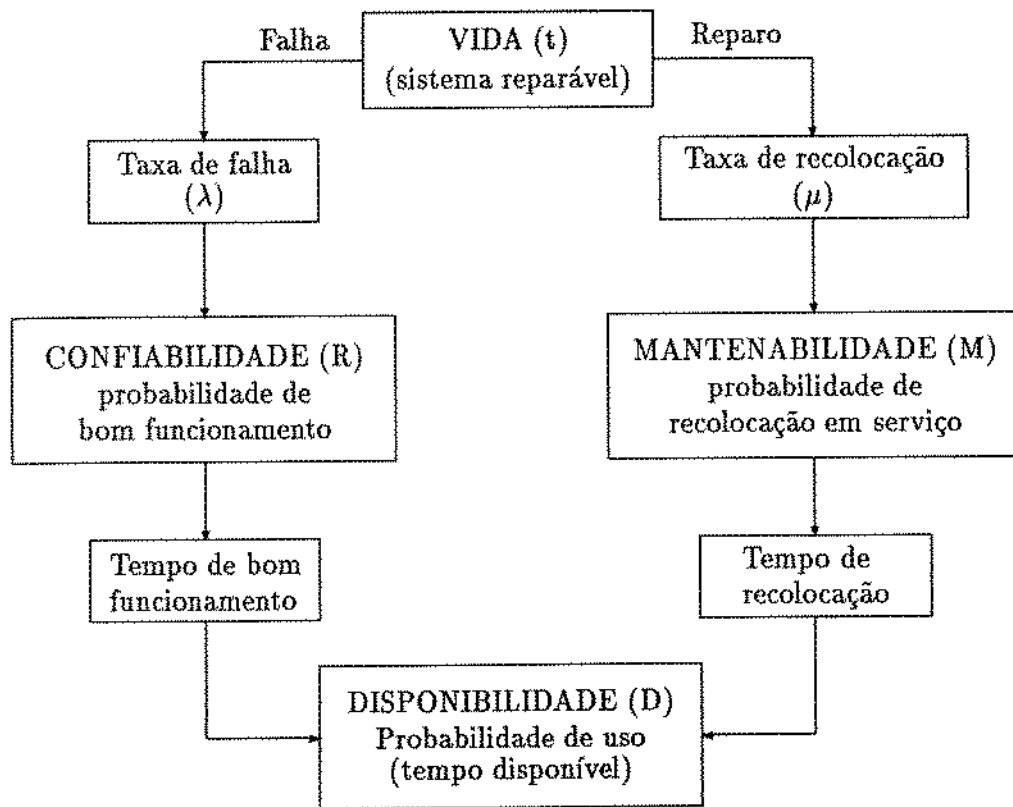


Figura 1.4: Ocorrência de falha, recolocação e consequente Disponibilidade, durante a vida de um sistema reparável.

A Figura 1.5 mostra uma variação típica das Probabilidades associadas à Disponibilidade (D), Manutenibilidade (M) e Confiabilidade (R). Quando o sistema não é reparável (sem manutenção), resulta $D(t) = R(t)$ pois tem-se $\mu = 0$ (Taxa de recolocação em serviço). Se a manutenção é instantânea, resulta $D(t) = 1$, para qualquer tempo (t) de uso, ou seja, quando o sistema falha ele é imediatamente recolocado em uso. O caso $R(t) = D(t)$ significa que após a falha, o sistema aguardaria um tempo infinito para recolocação em serviço. Quanto menor o tempo de recolocação em serviço, maior a Disponibilidade do sistema, que se aproximaria mais do valor limite $D(t) = 1$.

Como mostrado na Figura 1.5, os valores de $D(t)$ e $R(t)$ são decrescentes e os valores de $M(t)$ são crescentes em função do tempo (t), como será demonstrado. Para que o sistema mantenha uma dada Disponibilidade (valor mínimo admissível) são necessárias trocas (substituição), de

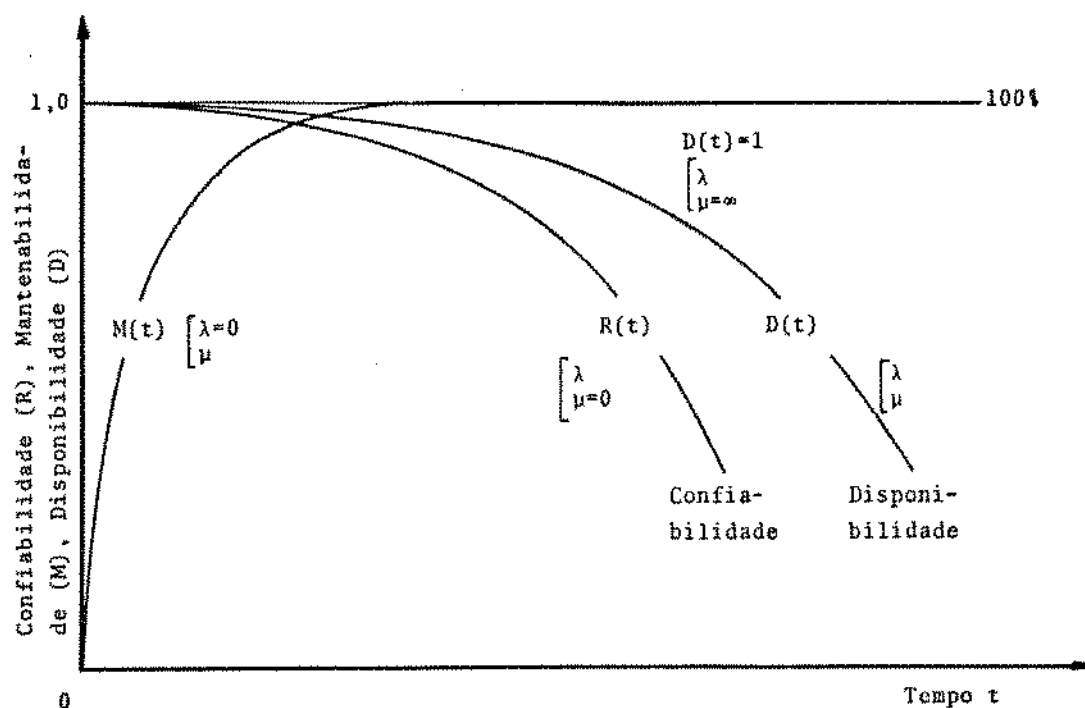


Figura 1.5: Variação típica dos valores da Disponibilidade (D), Manutenibilidade (M) e Confiabilidade (R), em função da vida (tempo de uso) do sistema.

componentes, como mostrado na Figura 1.6, referida a um sistema com vários componentes. Os períodos de troca estão representados pelos pontos 1 a 3, referidos à 1ª, 2ª e 3ª troca de Componentes, a duração de cada período por t_1, t_2, t_3 e a duração de cada troca por t_{r1}, t_{r2} e t_{r3} . Nota-se, neste caso, que após cada parada para troca, a Disponibilidade é aumentada, para depois decrescer em função do tempo. Para retornar à Disponibilidade inicial $D(t) = 1$ seria necessária a troca de todos os componentes, ou seja, um novo sistema.

Nota-se uma progressiva redução dos períodos de uso (t_1, t_2, t_3), para um dado valor mínimo operacional de $D(t)$, devido a progressiva perda da disponibilidade dos componentes do sistema, não substituídos nas paradas para troca. Este caso corresponde a **Sistemas Reparáveis, com troca parcial de componentes**, ou seja, nem todos os componentes do sistema são reparados (substituídos) em cada parada.

Na Figura 1.7 é apresentado um Sistema Reparável, com troca total de todos os seus componentes, ou seja, um novo sistema é colocado em funcionamento, a cada parada. Neste caso, os períodos de uso (tempo t) são iguais, e após cada parada (tempo t_r) para troca (manutenção, o sistema retorna com Disponibilidade $D(t) = 1$).

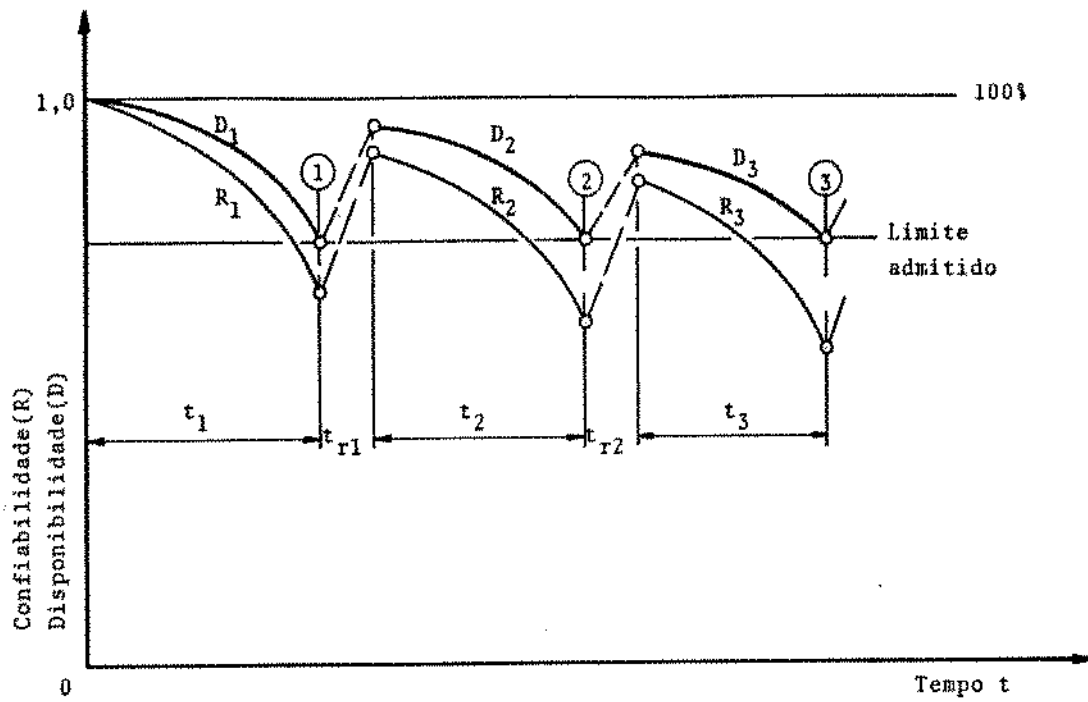


Figura 1.6: Variação da Disponibilidade $D(t)$ e da Confiabilidade $R(t)$ em sistemas reparáveis, com troca parcial de componentes.

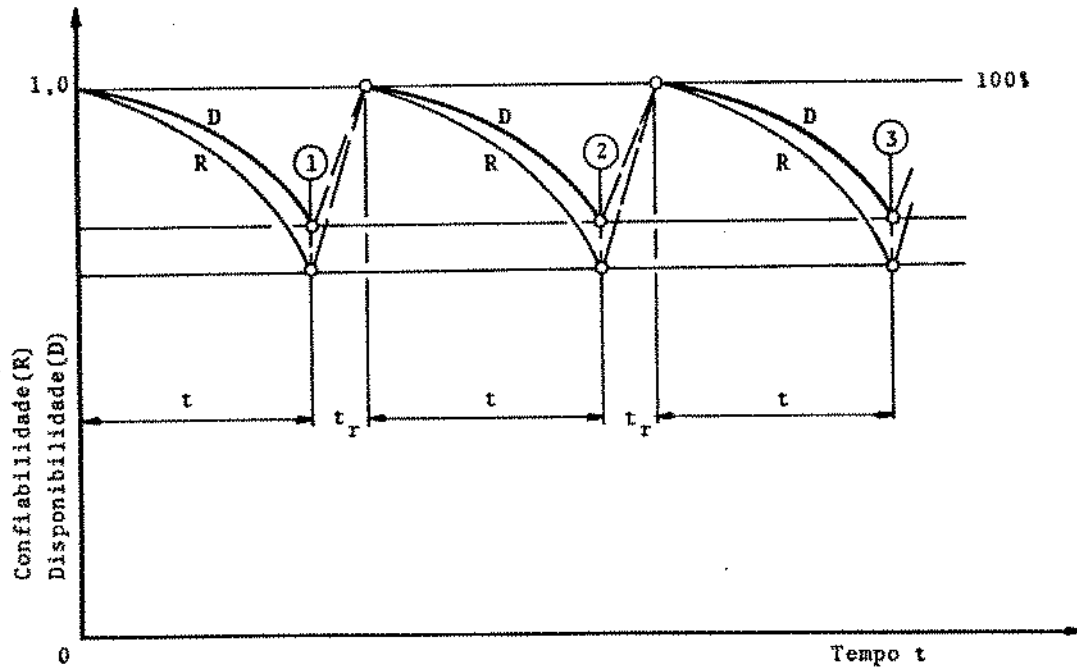


Figura 1.7: Variação da Disponibilidade $D(t)$ e da Confiabilidade $R(t)$ em sistemas reparáveis, com troca total de componentes.

1.9 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

A Análise geral de um sistema (equipamento, linha de produção, etc) envolve cinco etapas principais, como mostrado na Figura 1.8, quais sejam:

Etapas I - Determinação da Árvore de falhas

O sistema a ser analisado neste trabalho, correspondente a uma linha de produção contínua apresenta uma **Árvore de falhas** como mostrado na Figura 1.10, obtida a partir da análise detalhada do **Arranjo Físico** de cada particular equipamento e sub-sistema, inclusive o uso de Sensores e Comutadores. Na figura 1.9 é apresentada a **simbologia** normalmente utilizada para representar os eventos (falhas, reparos), na forma de **Portas Lógicas**. A Figura 1.10 é um **modelo simplificado** do sistema em análise para um melhor entendimento da metodologia de cálculo das **Confiabilidades, Manutenibilidades e Disponibilidades**, dos componentes e sistemas, proposta neste trabalho.

Etapas II - Obtenção dos dados básicos

A determinação experimental dos valores das Taxas de Falha (λ) e de Recolocação em serviço (μ), bem como dos correspondentes Parâmetros de Forma (β, γ) não é objetivo deste trabalho. Os valores adotados são apresentados nos capítulos 5.6, quando serão apresentados os modelos das distribuições (probabilidades) adotadas. A influência no sistema em análise, da performance humana, bem como das suas correspondentes falhas, também não será objetivo deste trabalho. Para análise desta influência sugere-se uma consulta à bibliografia [10] a [12] indicada.

Etapas III - Cálculo das Probabilidades de falha e recolocação

Será o tema central deste trabalho, apresentado nos Capítulos 2 a 8, referida ao aspecto **estrutural**, ou seja, ao tipo de arranjos série, paralelo, compostos.

Na Figura 1.11 são apresentadas as equações básicas para o cálculo das probabilidades associadas às falhas (Confiabilidade, Desconfiabilidade), às recolocações (reparações) em serviço (Manutenabilidade, Não-Manutenabilidade) e às disposições (bom funcionamento) para o serviço (Disponibilidade, Indisponibilidade).

As principais inovações introduzidas na metodologia apresentada foram possíveis graças à introdução do conceito de **Componente- equivalente**, que possibilita calcular a influência de um Sensor (ou Comutador) sobre um dado componente (elemento).

Foi utilizada a distribuição geral de **Weibull**, que possibilita uma perfeita adequação à grande maioria das aplicações práticas, e na qual a distribuição Exponencial é um caso particular.

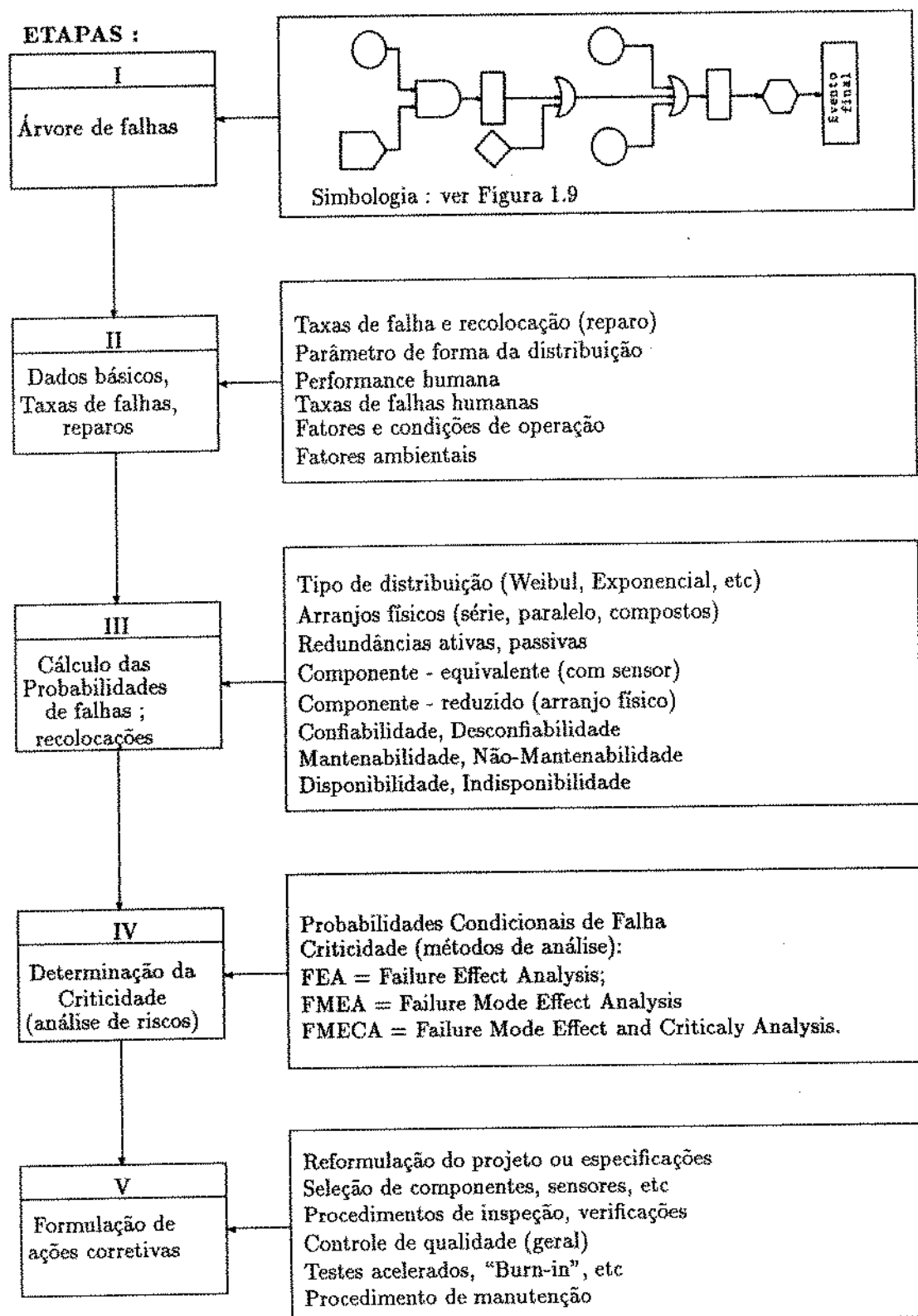


Figura 1.8: Procedimento de análise (etapas).

	Porta lógica OU (OR), Arranjo em série. O evento de saída (falha) ocorre quando apenas um evento de entrada (falha) está presente
	Porta lógica E (AND), Arranjo Paralelo. O evento de saída (falha) ocorre quando todos (ou parte) os eventos de entrada (falhas) ocorrem.
	Porta de Bloqueio (inibição). Similar à porta E, porém utilizada para incluir a aplicação de um evento condicional.
	Falha básica (geralmente de um circuito, peça ou erro humano), estatisticamente independente de outros eventos, para a qual pode ser admitida uma dada probabilidade de ocorrência.
	Falha dependente de outros eventos, não desenvolvida por falta de informação ou tempo disponível para sua análise.
	Evento resultado da combinação de um ou mais eventos básicos, e que pode ser posteriormente analisada.

Figura 1.9: Simbologia básica para os eventos indicados nas “árvores de falhas ”

No cálculo das Disponibilidades foi adotada a teoria Bayesiana, o que possibilitou uma notável simplificação da metodologia aplicável, sem prejuízo da precisão nos resultados obtidos, quando os componentes (ou sistemas) possuem um tempo médio até (ou entre) falhas muito maior que o tempo médio (ou entre) recolocações em serviço, o que corresponde à imensa maioria das aplicações práticas.

Etapa IV - Determinação da Criticidade

O estudo da **Criticidade** não é objetivo deste trabalho. Porém, é uma etapa importante do estudo geral de um sistema, principalmente quando existem **probabilidades condicionais de falha**, ou seja, a interdependência das falhas dos componentes de um mesmo sistema. Basicamente, a **Criticidade** (C_i), associada ao i -ésimo evento (X_i), é dada pela relação:

$$C_i = P(X_i) P(H/X_i)$$

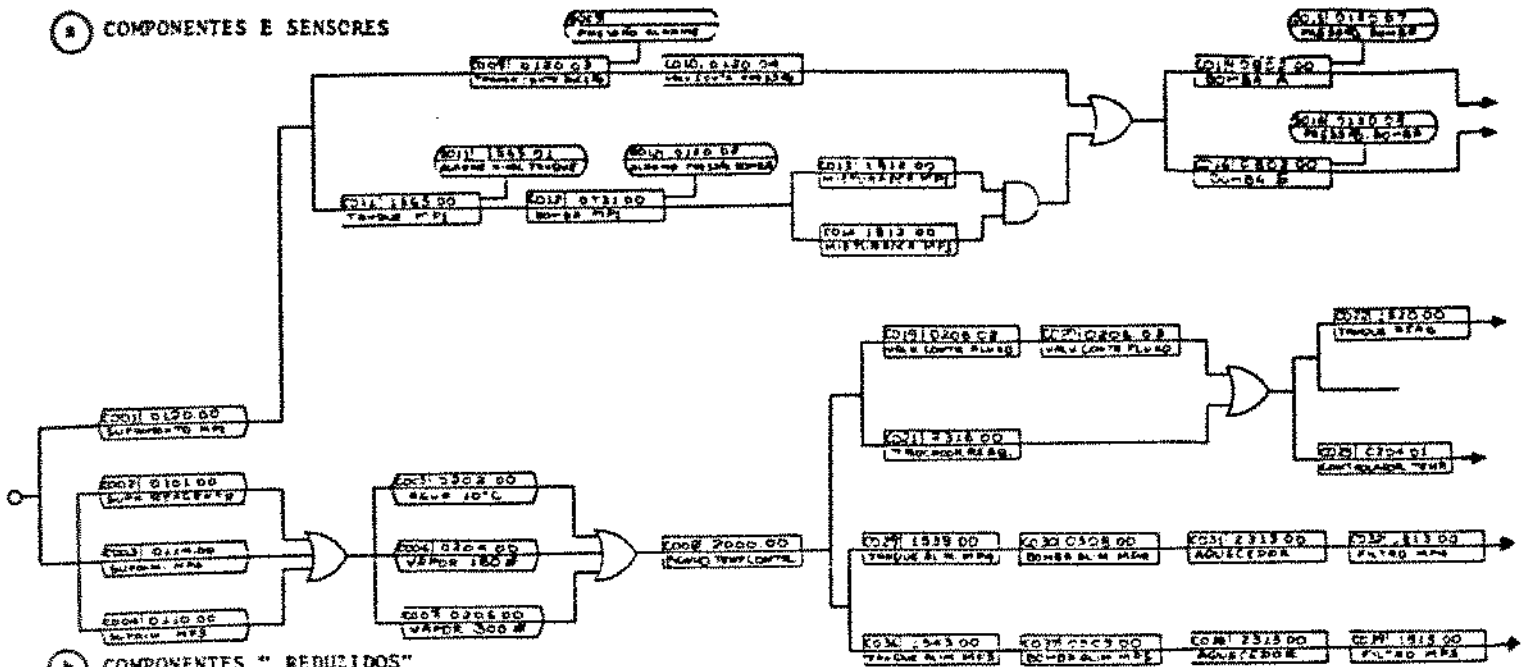
onde:

$$\begin{aligned} P(X_i) &= \text{probabilidade de ocorrência da falha básica;} \\ P(H/X_i) &= \text{probabilidade condicional de ocorrência da falha, desde que} \\ &\quad \text{a falha básica tenha ocorrido.} \end{aligned}$$

Para uma análise desta influência, sugere-se uma consulta à bibliografia básica [13] a [16] indicada.

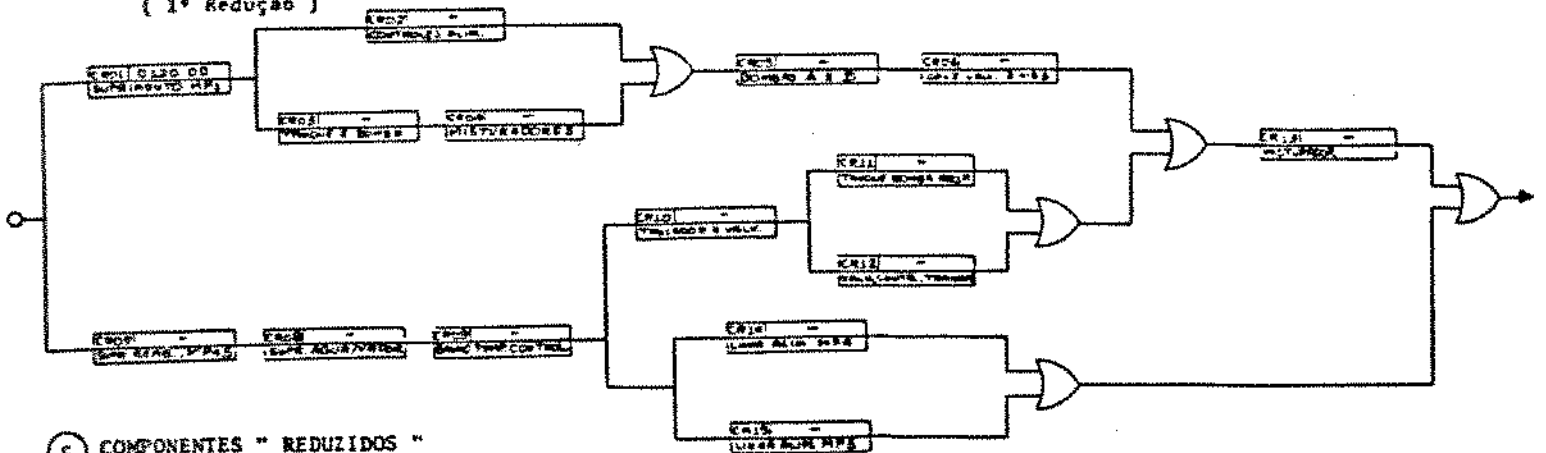
Na Figura 1.12 é apresentado um resumo das Criticidades a serem analisadas, baseadas nos efeitos e modos de falha.

a COMPONENTES E SENSORES



b COMPONENTES "REDUZIDOS"

(1ª Redução)



c COMPONENTES "REDUZIDOS"

(2ª Redução)

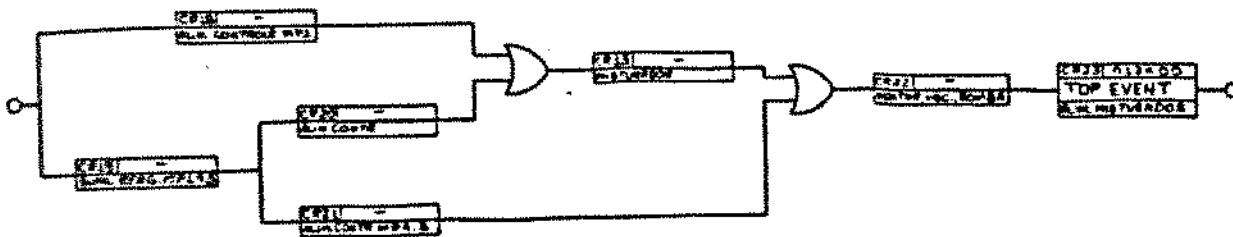
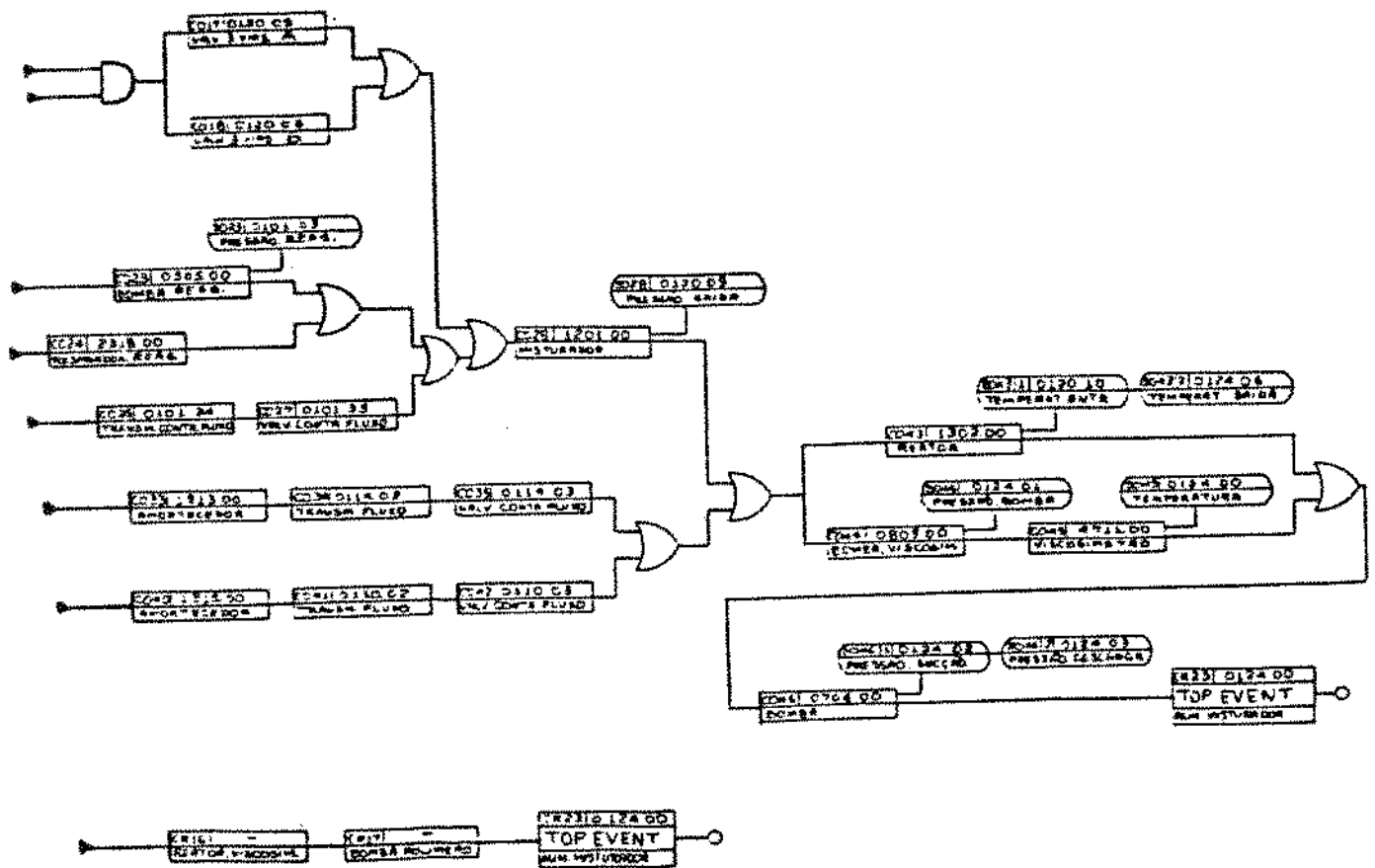


Figura 1.10: Modelo Confiabilístico do Sistema (Linha de produto)



ARVORE DE FALHAS
LINHA DE PRODUTO

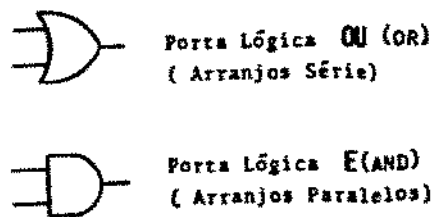


Fig. 1.10 - (Continuação).

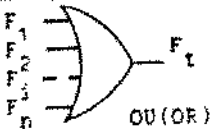
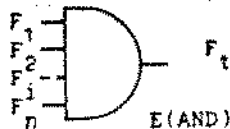
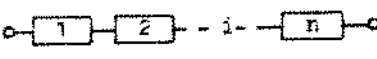
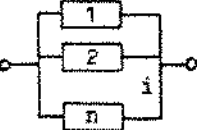
Arranjo Probabilístico	Série	Paralelo
Porta Lógica		
Arranjo Físico		
Probabilidade de falhar DESCONFIABILIDADE	$F_t = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i)$ A falha de apenas 1 elemento causa a falha do sistema.	$F_t = \prod_{i=1}^n F_i$ O sistema falha quando todos os elementos falham.
Probabilidade de não falhar CONFIABILIDADE	$R_t = 1 - F_t = \prod_{i=1}^n (1 - F_i)$ $= \prod_{i=1}^n R_i$	$R_t = 1 - F_t = 1 - \prod_{i=1}^n F_i$ $= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$
Probabilidade de não reparar NÃO MANTENABILIDADE	$N_t = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - N_i)$ O sistema é não-reparado ($N_t = 1$) quando apenas 1 elemento é não-reparado ($N_i = 1$).	$N_t = \prod_{i=1}^n N_i$ O sistema é não-reparado ($N_t = 1$) quando todos os elementos são não-reparados ($N_i = 1$).
Probabilidade de reparar MANTENABILIDADE	$M_t = 1 - N_t = \prod_{i=1}^n (1 - N_i)$ $= \prod_{i=1}^n M_i$	$M_t = 1 - N_t = 1 - \prod_{i=1}^n N_i$ $= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - M_i)$
Probabilidade de não dispor INDISPONIBILIDADE	$I_t = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - I_i)$ O sistema é indisponível quando apenas 1 elemento é indisponível.	$I_t = \prod_{i=1}^n I_i$ O sistema é indisponível quando todos os elementos são indisponíveis.
Probabilidade de dispor DISPONIBILIDADE	$D_t = 1 - I_t = \prod_{i=1}^n (1 - I_i)$ $= \prod_{i=1}^n D_i$	$D_t = 1 - I_t = 1 - \prod_{i=1}^n I_i$ $= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - D_i)$

Figura 1.11: Probabilidades associadas às falhas e reparos (recolocações), para os arranjos série e paralelo

Etapa V - Formulação de ações corretivas

Como apresentado na Figura 1.8, a análise das probabilidades de falhas e recolocações em serviço, permite uma clara indicação de onde e como o produto pode ser melhorado, a eficiência (Disponibilidade) de uma instalação aumentada, e outros importantes aspectos da análise global do produto. As ações corretivas são, portanto uma consequência dos resultados da análise da Confiabilidade, da Manutenibilidade e da Disponibilidade.

A parte da análise, referida ao Controle de Qualidade, não é objetivo deste trabalho, para o qual é sugerida a bibliografia [17] a [20].

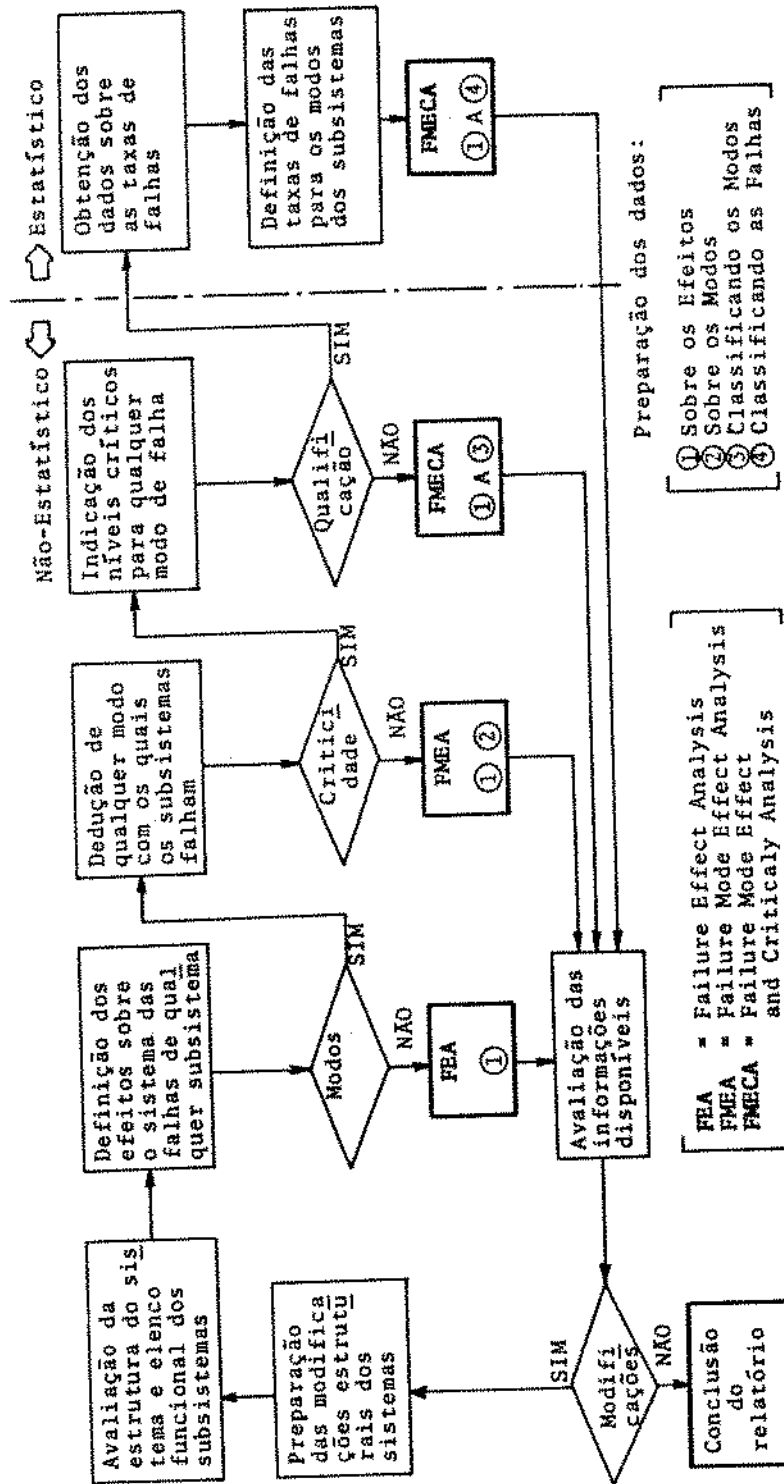


Figura 1.12: Tipos de análise da criticidade, baseados nos efeitos e nos modos de falha

Capítulo 2

CONFIABILIDADE

2.1 DEFINIÇÕES DA CONFIABILIDADE

Ao se analisar a Confiabilidade $R(t)$ de um sistema (componentes, equipamentos, etc.) deve-se considerar principalmente:

- sua definição, para conceituar o que se entende por falha do sistema;
- seu equacionamento matemático, para prever sua variação no tempo (ou ciclos, operações, quilômetros rodados, etc.).

Apresenta-se a seguir algumas definições Normalizadas sobre o que se entende por “Confiabilidade”.

- a) Norma Francesa AFNOR - X.06.501 / 77 [5].

Confiabilidade: “Característica de um dispositivo expressa pela probabilidade que este dispositivo tem de cumprir uma função requerida, em condições de utilização e por um período de tempo determinado”.

- b) Norma Brasileira ABNT - NBR - 5462/81 [3].

Confiabilidade: “Capacidade de um item desempenhar uma função especificada, sob condições e intervalo de tempo pré-determinado”.

- c) Norma Americana MIL - 217B/70 [21].

Confiabilidade: “Probabilidade de um item satisfazer uma função requerida, nas condições fixadas, por um período de tempo estabelecido”.

- d) Norma Italiana UNI - 5497 (CEI-56-1) [22].

Confiabilidade: “Tendência de um objeto a satisfazer a função requerida, nas condições fixadas, por um período de tempo estabelecido”.

Das definições apresentadas, conclui-se que a **Confiabilidade** é uma probabilidade de bom funcionamento relacionada ao tempo de uso e à progressiva perda de qualidade (deriva), ou seja, **à qualidade no tempo**.

Segundo Galletto [22], a definição mais aceita pelos especialistas seria:

“Confiabilidade de um objeto (Componentes, sistemas, etc.) é a sua capacidade, expressa por uma probabilidade, de:

- a) funcionar corretamente (cumprir a missão requerida);
- b) por um período de tempo estabelecido;
- c) em condições operacionais e ambientais especificadas.”

Um aspecto importante é a correta especificação do que se entende por falha, pois corresponde a limitações susceptíveis de influenciar significativamente o valor da Confiabilidade.

2.2 ESTIMATIVA DA CONFIABILIDADE

A “Confiabilidade estimada”, determinada em uma observação experimental é dada pela relação :

$$R(t) = \frac{Q(t)}{Q(0)} \leq 1 \quad (2.1)$$

onde:

- $Q(t)$ = Quantidade de itens (componentes, sistemas, etc) em “bom funcionamento” no tempo t ;
- $Q(0)$ = Quantidade inicial de itens ($t = 0$), todos em “bom funcionamento”.

Como exemplo, para um lote de 100 rolamentos, dos quais 10 falharam após um dado tempo de uso, resulta $R(t) = 100 - 10/100 = 0,90$ (90%).

2.3 EQUAÇÕES DA CONFIABILIDADE

A **Confiabilidade** $R(t)$ é sempre associada à probabilidade de que um item (componentes, sistemas, etc) sobreviva em um determinado intervalo (tempo, ciclos, quilômetros, etc.), ou seja, que não falhe no intervalo $[0, t]$, dada por [8],

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2.2)$$

onde:

$F(t)$ = probabilidade de falha ou desconfiabilidade;
 $\lambda(t)$ = taxa instantânea de falha (Hazard rate) dada pela equação

$$\lambda(t) = - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{d R(t)}{d t} \quad (2.3)$$

e a Densidade de probabilidade de falha $f(t)$, por:

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = - \frac{d R(t)}{d t} \quad (2.4)$$

No desenvolvimento deste trabalho será utilizado como variável apenas o tempo (t), por se tratar da análise de uma linha de produção contínua.

A **distribuição de Weibull**, a seguir apresentada, será a única utilizada no desenvolvimento da metodologia a ser utilizada, por ser bastante versátil e aplicável com excelente precisão ao sistema analisado. Neste caso, tem-se as seguintes equações, para itens com vida inicial nula (componentes novos, sem uso anterior):

Densidade de Probabilidade de falha:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{(\beta-1)} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2.5)$$

Taxa de falha instantânea:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{(\beta-1)} \quad (2.6)$$

Confiabilidade:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2.7)$$

Desconfiabilidade :

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.8)$$

onde:

β = parâmetro de forma
 α = vida característica (para $R = 0,37 = 1/e$).

Quando $\beta = 1$ resulta uma distribuição exponencial, onde α é a vida média. Para $\beta = 3,44$ tem-se uma distribuição bem próxima à **distribuição Normal** [26]. Na Figura 2.1 são apresentadas as variações típicas das principais funções associadas à distribuição de Weibull.

As equações 2.5 a 2.8 podem ser postas de uma forma mais conveniente, onde $\lambda_0 = 1/\alpha$ corresponde à **Taxa de falha característica** (λ_0) para $R = 1/e$, como mostrado na Figura 2.1, ou seja:

$$f(t) = \beta \cdot \lambda_0^\beta \cdot t^{(\beta-1)} \cdot e^{-(\lambda_0 \cdot t)^\beta} \quad (2.9)$$

$$\lambda = h(t) = \beta \cdot \lambda_0^\beta \cdot t^{(\beta-1)} \quad (2.10)$$

$$R(t) = e^{-(\lambda_0 \cdot t)^\beta} \quad (2.11)$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-(\lambda_0 \cdot t)^\beta} \quad (2.12)$$

Quando $\beta = 1$ (distribuição Exponencial), resultam as equações:

$$f(t) = \lambda_0 \cdot e^{-\lambda_0 \cdot t} \quad (2.13)$$

$$\lambda = \lambda_0 \quad (\text{constante}) \quad (2.14)$$

$$R(t) = e^{-\lambda_0 \cdot t} \quad (2.15)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda_0 \cdot t} \quad (2.16)$$

com uma taxa de falha (λ_0) constante, dada em função do tempo médio até falha (TMAF), ou seja,

$$\lambda_0 = \frac{1}{TMAF} \quad (2.17)$$

2.4 TAXA DE FALHA MÉDIA

Para qualquer distribuição de vida (Weibull, Exponencial, Normal, Lognormal, etc). é válida a seguinte relação, conforme Tobias e Trindade [28], para a probabilidade (F) de falha (Desconfiabilidade),

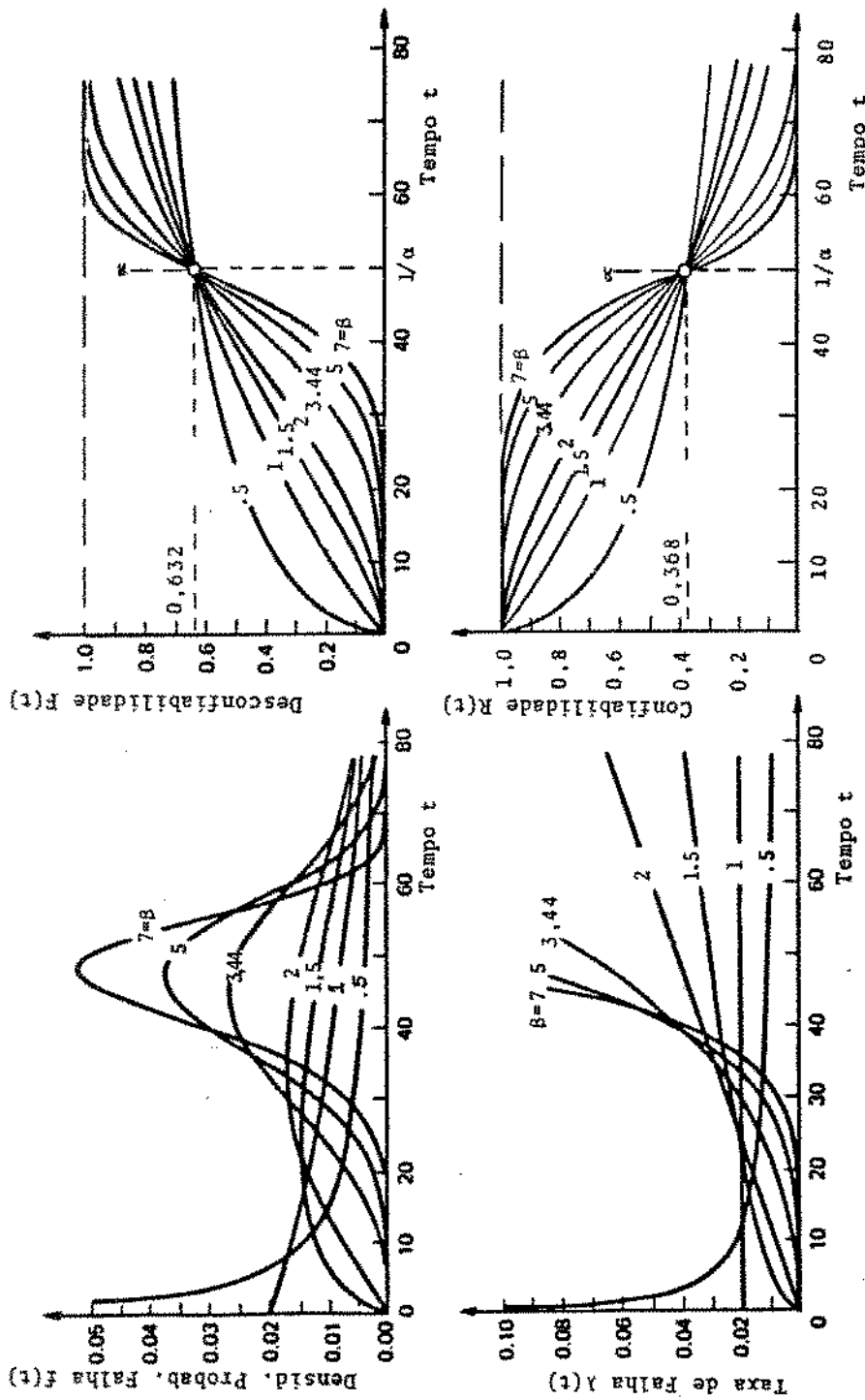
$$F(t_0) = 1 - e^{-\lambda[0, t_0] \cdot t_0} \quad (2.18)$$

onde $\lambda[0, t_0]$ é a Taxa de falha média no período de tempo $[0, t_0]$, dada por

$$\lambda[0, t_0] = \lambda = \frac{\int_0^{t_0} h(t) \cdot dt}{t_0} \quad (2.19)$$

com a Taxa instantânea de falha (h) também denominada Intensidade de falha ou “Hazard Rate” dada pela relação:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.20)$$



$\beta < 1$	: A taxa de falha (λ) decresce com o tempo, o produto melhora com o uso. Típico do 1º período de vida (mortalidade infantil).
$\beta = 1$	: Taxa de falha $\lambda =$ constante no tempo, caso da distribuição exponencial, onde $TMAF = 1/\lambda$.
$\beta > 1$	: Taxa de falha λ cresce com o tempo.
$1 < \beta < 2$	: No início a Taxa de falha (λ) cresce rapidamente.
$\beta = 2$	: Taxa de falha (λ) cresce linearmente no tempo e apresenta distribuição próxima à lognormal.
$\beta > 2$	: Taxa de falha (λ) cresce lentamente no início e rapidamente no final.
$\beta \geq 3.44$	: Distribuição próxima à normal.

Figura 2.1: Influência dos valores do coeficiente de forma (β) nos valores da Confiabilidade.

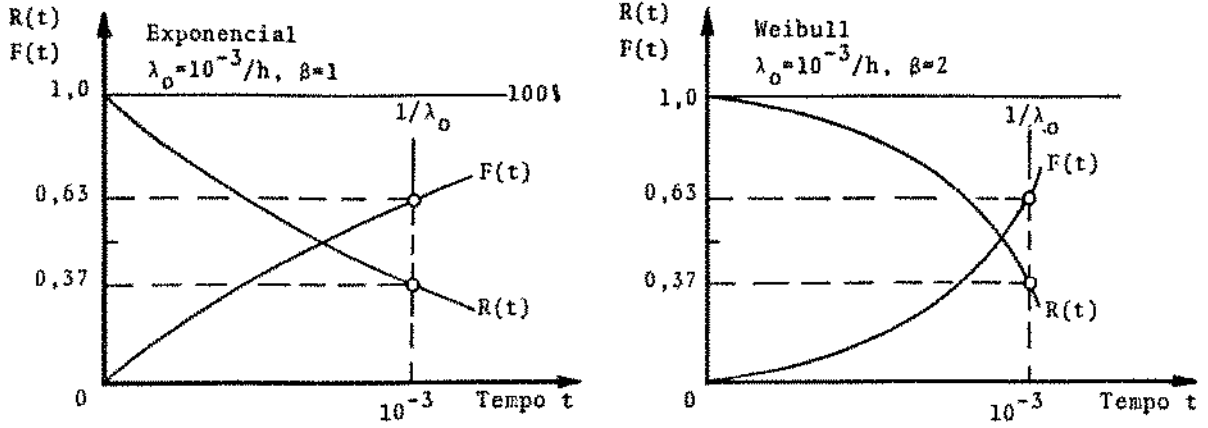


Figura 2.2: Variação típica da Confiabilidade $R(t)$ e da Desconfiabilidade $F(t)$ para as distribuições de Weibull e Exponencial, e valor da Taxa de falha característica (λ_0).

De acordo com Moura [24], a “Taxa de falha média requerida” λ_r para um dado Componente (ou Sistema), corresponde ao valor da “Taxa de falha média” associada a um período de tempo $[0, t_0]$, que usualmente corresponde ao período de garantia ou vida utilizável do sistema. A importância prática da equação (2.19), é portanto de $\lambda[0, t_0]$, resulta da possibilidade de estimar a probabilidade de falha de um componente (ou sistema) conhecendo-se apenas o efeito médio da função Taxa de falha instantânea (h) em um dado período de tempo, evitando-se as complicações do conhecimento e da utilização da Taxa instantânea de falha (h).

Este procedimento resulta em imediata aplicação na previsão da **Confiabilidade** (R), da **Mantenabilidade** (M) e da **Disponibilidade** (D) de equipamentos (sistemas) complexos, utilizando-se métodos simples, baseados nos princípios das “Probabilidades Compostas”, ou no Teorema de Bayes. Uma particular aplicação será apresentada no Capítulo 7.3.2, para a Disponibilidade do “Componente-equivalente”.

Para a distribuição de Weibull, dada pela equação (2.11), resulta:

$$R(t) = e^{-(\lambda_0 t)^\beta} \quad (2.21)$$

com uma Taxa instantânea de falha (Hazard Rate), dada pela equação (2.10),

$$h(t) = \beta \cdot \lambda_0^\beta \cdot t^{\beta-1} \quad (2.22)$$

Substituindo-se estes valores na equação geral (2.19), resulta:

$$\lambda = \lambda[0, t] = \frac{\beta \cdot \lambda_0^\beta \int_0^t t^{\beta-1} \cdot dt}{t} = \lambda_0^\beta \cdot t^{\beta-1} \quad (2.23)$$

ou seja, a **Taxa de falha média**, constante no intervalo de tempo $[0, t]$.

Quando $\beta = 1$, resulta uma **Distribuição exponencial**, onde:

$$\lambda = \lambda[0, t] = \lambda_0 \quad (2.24)$$

correspondendo a uma Taxa de falha constante no intervalo $[0, \infty]$, e no caso a Taxa de Falha Característica (λ_0) coincide com a Taxa de falha média.

2.5 TEMPO MÉDIO ATÉ FALHA

Por definição, o valor do “Tempo Médio até falha” TMAF do Componente ou Sistema, é dado por:

$$TMAF = \int_0^{\infty} R \cdot dt \quad (2.25)$$

No caso geral, onde estão envolvidos “Componentes equivalentes” e arranjos Série/Paralelo nos sistemas, a solução analítica da equação 2.25 é muito complexa. Nestes casos, é preferível uma integração numérica como mostrado na Figura 2.3, e um programa computacional, por meio da expressão:

$$TMAF = \Delta t \cdot \sum_{r=1}^k R_r \quad (2.26)$$

onde:

$$\Delta t = \text{constante.}$$

$$R_r = \text{Confiabilidade para o tempo } t_r = (r - 1/2) \cdot \Delta t.$$

A quantidade “k” de passos é interrompida para um valor do tempo (t) correspondente a um valor residual R_k . Quanto menores os valores de Δt e R_k , melhor a precisão do valor calculado, porém o tempo de processamento do computador é maior.

O programa RAMP (ver Capítulo 9) utiliza um passo Δt variável, que é função da Taxa característica de falha (λ_0) para componentes ou da Taxa característica de falha (λ_s) para Sistemas. O valor residual (R_k) é sempre admitido com constante, e por conveniência da precisão e do tempo de processamento do computador, como sendo $R_k \leq 0,001$.

No caso de um **único componente**, o passo Δt é dado pela relação,

$$\Delta t = \frac{1}{100 \lambda_0} \quad (2.27)$$

onde admitiu-se 100 iterações (áreas) no intervalo de tempo $[0, 1/\lambda_0]$.

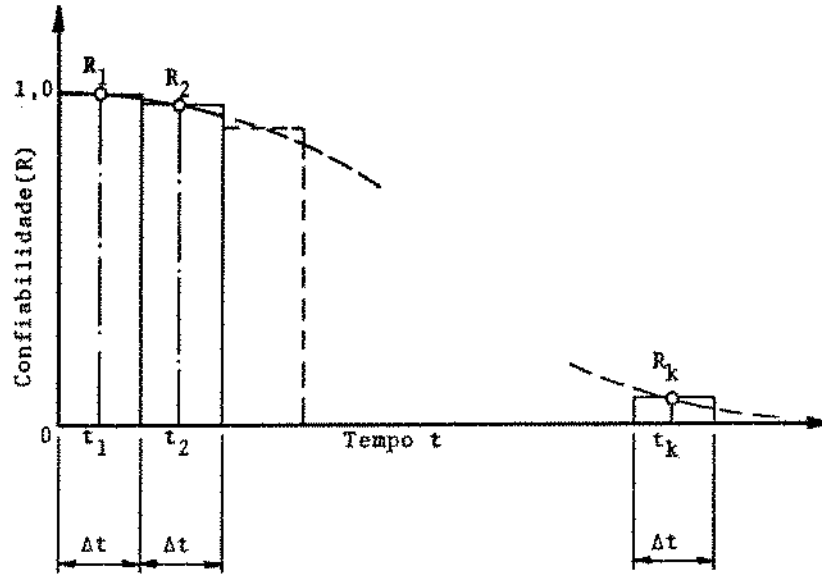


Figura 2.3: Integração numérica para determinação do Tempo Médio Até Falha (TMAF).

No caso de Sistemas, com uma quantidade total “n” de Componentes dispostos em qualquer arranjos físicos (série, paralelo, compostos), adotou-se a seguinte relação:

$$\Delta t = \frac{1}{100 \lambda_{0,s}} \quad (2.28)$$

com:

$$\lambda_{0,s} = \sum_{i=1}^n \lambda_{0,i} = \lambda_{0,1} + \lambda_{0,2} + \dots + \lambda_{0,n} \quad (2.29)$$

ou seja, como se todos os i-ésimos Componentes estivessem em arranjo série. Se desejada uma maior precisão, pode-se alterar o programa fonte, para uma quantidade de iterações maior que 100.

Capítulo 3

MANTENABILIDADE

3.1 CONCEITOS BÁSICOS

As definições da Manutenibilidade $M(t)$ foram apresentadas no Capítulo 1.3. Existe uma perfeita analogia entre as probabilidades de **falhar** (Confiabilidades) e de **manter** (Manutenibilidades), ambas referidas a uma mesma variável aleatória, no nosso caso o tempo (t) , como mostrado na Figura 3.1, referida a uma distribuição de Weibull.

A medida da **Manutenibilidade** $M(t)$ e da correspondente **Não-Manutenibilidade** $N(t)$ é muito importante na análise da operacionalidade e dos custos a ela associados. Simplificadamente, tem-se as seguintes definições, sob o ponto de vista operacional:

Manutenibilidade $M(t)$: probabilidade de recolocar em serviço o elemento (componente, equipamento, sistema, etc.), em um dado tempo (t) , ou seja, do elemento retornar ao estado de bom funcionamento (em operação).

Não-Manutenibilidade $N(t)$: probabilidade do elemento não ser recolocado em serviço, em um dado tempo (t) , ou seja, do Elemento permanecer no estado de mal funcionamento (fora de operação).

3.2 ESTIMATIVA DA MANTENABILIDADE

A “**Manutenibilidade estimada**”, de modo simplificado, em uma observação experimental, é dada pela relação,

$$M(t) = \frac{Q(t)}{Q(0)} \leq 1 \quad , \quad (3.1)$$

com $Q(t) \leq Q(0)$, onde:

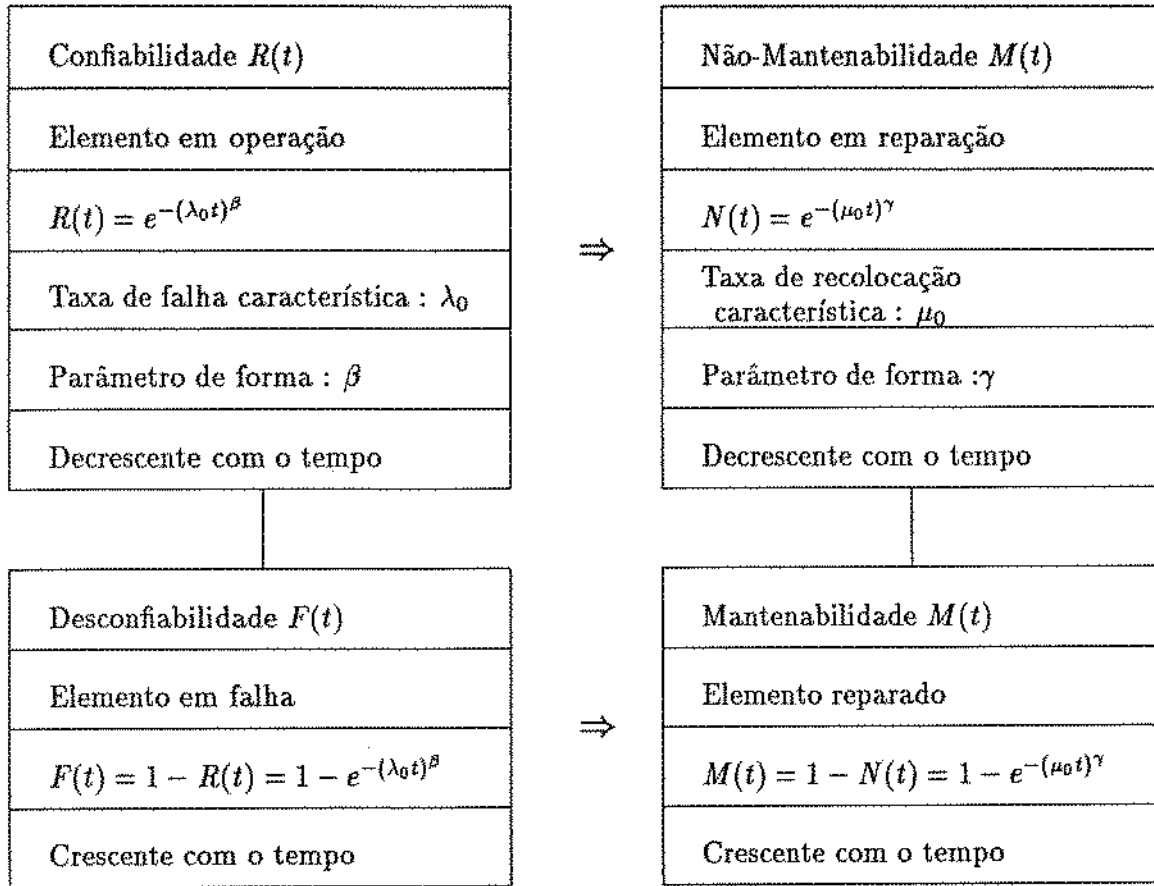


Figura 3.1: Analogias entre a Confiabilidade e a Manutenibilidade.

$Q(t)$ = Quantidade de itens (componentes, sistemas, etc.) reparados (recolocados em serviço) no tempo (t);

$Q(0)$ = Quantidade inicial de itens (t=0).

Como exemplo, para um lote de 100 equipamento em falha, das quais 90 foram reparados em um dado tempo, resulta $M(t) = 90/100 = 0,90(90\%)$.

Analogamente, resulta para a Não-Mantenabilidade $N(t)$ a relação,

$$n(t) = \frac{Q(0) - Q(t)}{Q(0)} \leq 1 \quad , \quad (3.2)$$

onde $Q(0) - Q(t)$ é a quantidade de itens não-reparados no tempo t. Para o exemplo anterior resulta $N(t) = 100 - 90/100 = 0,10(10\%)$.

3.3 EQUAÇÕES DA MANTENABILIDADE

A Não-Mantenabilidade $N(t)$, associada à probabilidade de não ser recolocado em serviço, ou seja, à falha do serviço de manutenção, é dado pela equação geral,

$$N(t) = e^{-\int_0^t \mu(t) \cdot dt} \quad (3.3)$$

onde $\mu(t)$ é a Taxa instantânea de Recolocação em serviço, dada por,

$$\mu(t) = -\frac{1}{N(t)} \cdot \frac{dN(t)}{dt} \quad (3.4)$$

A Densidade de probabilidade de recolocação em serviço $g(t)$ é expressa pela equação ,

$$g(t) = \mu(t) \cdot N(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \quad (3.5)$$

Para uma distribuição de Weibull, com vida inicial nula, resultam as seguintes equações , com as mesmas considerações apresentadas no Capítulo 2.3,

Densidade de Probabilidade de Recolocação:

$$g(t) = \gamma \cdot \mu_0^\gamma \cdot t^{\gamma-1} \cdot e^{-(\mu_0 \cdot t)^\gamma} \quad (3.6)$$

Taxa instantânea de Recolocação:

$$\mu(t) = \gamma \cdot \mu_0^\gamma \cdot t^{\gamma-1} \quad (3.7)$$

Não-Mantenabilidade:

$$N(t) = e^{-(\mu_0 \cdot t)^\gamma} \quad (3.8)$$

Mantenabilidade:

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu_0 \cdot t)^\gamma} \quad (3.9)$$

onde:

$$\begin{aligned} \gamma &= \text{Parâmetro de forma;} \\ \mu_0 &= \text{Taxa de Recolocação característica (para } N(t) = 1/e = 0,37). \end{aligned}$$

Quando $\gamma = 1$ resulta uma distribuição Exponencial, com:

$$g(t) = \mu_0 \cdot e^{-(\mu_0 \cdot t)} \quad (3.10)$$

$$\mu(t) = \mu_0 \quad (\text{constante}) \quad (3.11)$$

$$N(t) = e^{-(\mu_0 \cdot t)} \quad (3.12)$$

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu_0 \cdot t)} \quad (3.13)$$

com uma taxa de falha (μ_0) constante, dada pela relação:

$$\mu_0 = \frac{1}{TMAR} \quad (3.14)$$

onde $TMAR$ corresponde ao **Tempo Médio até Recolocação em serviço**.

Na Figura 3.2 são apresentadas as variações típicas da **Mantenabilidade** $M(t)$ e da **Não-Mantenabilidade** $N(t)$ para as distribuições de Weibull e Exponencial. A forma das variações de $M(t)$ e $N(t)$ são análogas às apresentadas na Figura 2.1. No caso geral, valem as mesmas considerações do Capítulo 2.3, referentes agora à influência do Fator de forma γ .

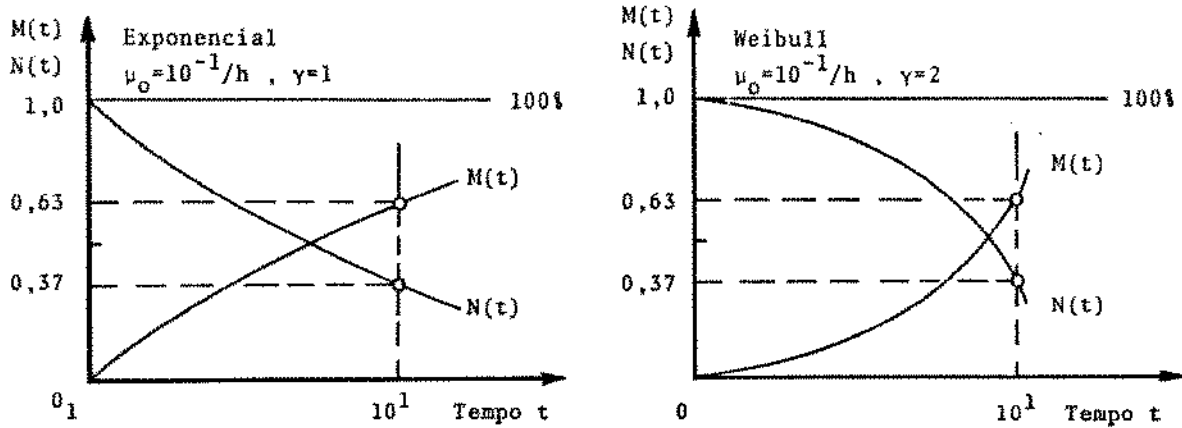


Figura 3.2: Variação típica da **Mantenabilidade** $M(t)$ e da **Não-Mantenabilidade** $N(t)$, para as distribuições Exponencial e de Weibull.

A **Mantenabilidade** $M(t)$ é uma probabilidade (função) **crescente** [7] com o aumento do tempo (t), tendendo no valor limite ($t = \infty$) para o valor $M(t) = 1$ (100%). No exemplo da Figura 3.2 para o tempo $t = 10h$. (tempo Característico de Recolocação), resulta o valor $M(t) = 0,632121$ ($\sim 63\%$), ou seja, tem-se uma probabilidade de 63% de recolocar em funcionamento no tempo $t = 10h$.

Inversamente, a **Não-Mantenabilidade** $N(t)$ é uma probabilidade (função) **decrecente** no tempo (t), tendendo no valor limite ($t \rightarrow \infty$) para o valor $N(t) = 0$ (0%), ou seja, uma

probabilidade nula de não ter sido reparado (recolocado em serviço). Para o tempo $t = 10h$. (tempo Característico de Recolocação) resulta o valor $N(t) = 0,367879$ ($\sim 37\%$), ou seja, resulta uma probabilidade de 37% de não ser recolocado em funcionamento no tempo $t = 10h$.

É interessante notar-se que, na prática, frequentemente γ assume uma distribuição próxima à Normal, para $\gamma \geq 3,44$. Neste caso, tem-se sempre um valor médio do tempo de recolocação (TMAR) e um dado desvio-padrão (σ). Quanto maior γ , menor o desvio-padrão (σ). Para o caso limite $\gamma = \infty$ resulta $\sigma = 0$. Na Figura 3.3 é apresentada a forma de correlação existente entre as distribuições Normal e de Weibull. A determinação dos valores desta equivalência não é objetivo deste trabalho.

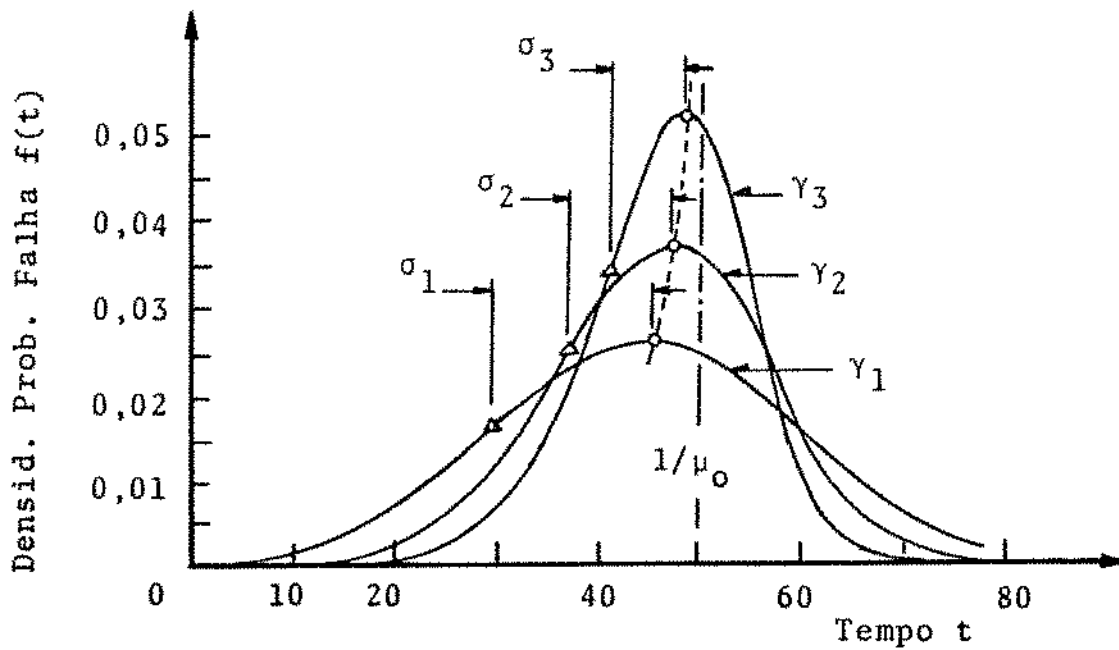


Figura 3.3: Aproximação da distribuição de Weibull à distribuição Normal.

3.4 TAXA DE RECOLOCAÇÃO MÉDIA

Desenvolvendo-se de modo análogo ao efetuado para a taxa de falha média, apresentado no Capítulo 2.4, resultam as seguintes equações para a distribuição de Weibull:

$$\mu = \mu[0, t] = \frac{\gamma \cdot \mu_0^\gamma \int_0^t t^{\gamma-1} \cdot dt}{t} = \mu_0^\gamma \cdot t^{\gamma-1} \quad (3.15)$$

onde μ é a Taxa de Recolocação Média no intervalo $[0, t]$. Quando $\gamma = 1$ resulta uma distribuição Exponencial onde:

$$\mu = \mu[0, t] = \mu_0 \quad (3.16)$$

correspondendo a uma Taxa Característica de Recolocação (μ_0) constante no intervalo $[0, \infty]$, ou seja, neste caso coincide com a Taxa de Recolocação Média (μ).

3.5 TEMPO MÉDIO ATÉ RECOLOCAÇÃO

Por definição, o Tempo Médio até Recolocação TMAR de um Elemento (Componente ou Sistema), é dado pela equação ,

$$TMAR = \int_0^{\infty} N(t).dt \quad (3.17)$$

De modo análogo ao desenvolvimento no Capítulo 2.5, pode-se colocar esta equação na forma,

$$TMAR = \Delta t \cdot \sum_{r=1}^k N_r(t) \quad (3.18)$$

e efetuar uma integração numérica da Não-Mantenabilidade $N(t)$. Este procedimento é efetuado no programa RAMP (ver Capítulo 9), e mostrado na Figura 3.4.

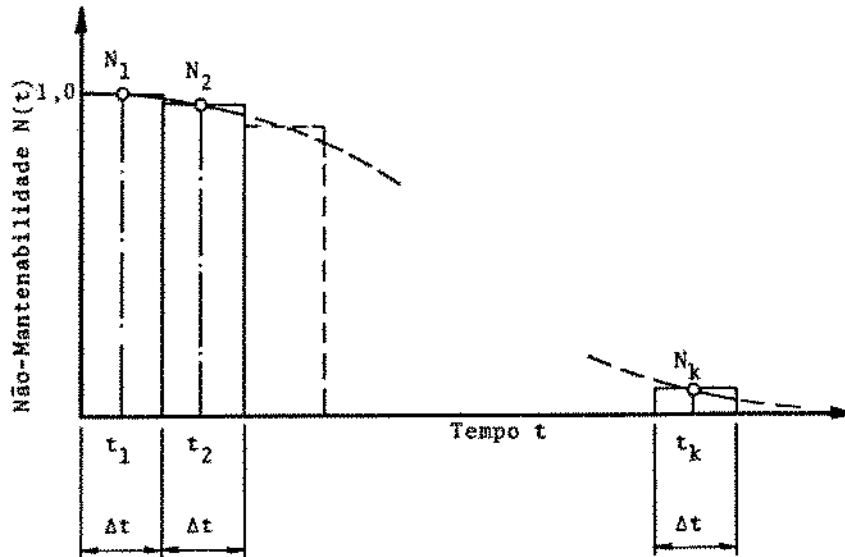


Figura 3.4: Integração numérica para determinação do Tempo Médio até Recolocação em Serviço (TMAR).

Neste caso, valem as mesmas considerações apresentadas no Capítulo 2.5, referentes ao Tempo Médio até falha (TMAF), quanto aos procedimentos operacionais do programa RAMP, dos valores dos intervalos de tempo Δt , e do valor residual N_k , agora com os valores:

$$\text{Componentes: } \Delta t = \frac{1}{100 \cdot \mu_0} \quad (3.19)$$

$$\text{Sistemas: } \Delta t = \frac{1}{100 \cdot \mu_{0,s}} \quad (3.20)$$

$$\mu_{0,s} = \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} = \mu_{0,1} + \mu_{0,2} + \dots + \mu_{0,n} \quad (3.21)$$

Capítulo 4

DISPONIBILIDADE

Ao analisar-se a Disponibilidade $D(t)$ de um sistema, deve-se considerar principalmente:

- sua definição, para conceituar-se o que se entende por disponibilidade ou utilizabilidade do sistema;
- o tipo de mortalidade, correspondente a sistemas reparáveis e não-reparáveis;
- as mudanças de estado no sistema, correspondentes ao “estado de falha” ou “estado de bom funcionamento” do componente do sistema.

É importante ressaltar que um sistema pode apresentar uma excelente Disponibilidade, embora apresente Confiabilidade relativamente baixa. Este aparente paradoxo é devido principalmente aos seguintes procedimentos:

- uso de redundâncias (ou esperas), na qual a falha de um componente não implica em falha do sistema;
- uma recolocação em serviço eficiente.

4.1 DEFINIÇÕES DA DISPONIBILIDADE

a) Norma Brasileira ABNT-NBR-5462/81 [3]

Disponibilidade : “medida do grau em que um item estará em estado operável e confiável no início da missão, quando a missão for exigida aleatoriamente no tempo”.

Esta definição é pouco clara e restrita.

b) Norma Francesa AFNOR-X60-010 [25]

Disponibilidade : “dentro de certas condições de uso, aptidão de um dispositivo sofrer manutenção ou restabelecer a condição na qual possa realizar a função requerida, quando a manutenção é feita sob dadas condições, com procedimentos e meios descritos”.

c) Monchy, F., “A função Manutenção” [6]

Disponibilidade : “é a probabilidade de restabelecer a um sistema suas condições de funcionamento específicas, em limites de tempo desejados, quando a manutenção é conseguida nas condições e com meios prescritos”.

Das definições apresentadas, verifica-se a existência de quatro conceitos básicos [6] :

- a noção de **probabilidade** de bom ou mal funcionamento;
- as **condições de funcionamento**, que implicam em uma quantificação de um nível de performance iniciais e de um patamar de admissibilidade;
- os **limites de tempo**, que implicam na definição de um “tempo alocado para cada intervenção e de um atraso (tempo)”;
- a **manutenção definida**, na qual a intervenção só tem sentido quando referida à definição dos meios pelas quais ela foi feita, por exemplo, procedimento, logística, pessoal, etc.

A nosso ver uma definição aceitável seria :

“Disponibilidade de um objeto (componente, sistemas, etc.) é a sua capacidade, expressa por uma probabilidade, de :

- a) apresentar um tempo real de efetivo funcionamento compatível com a missão requerida, em um dado tempo especificado;
- b) ser reparado (recolocado em serviço), após uma falha, ou seja retornar ao estado de bom funcionamento;
- c) em condições operacionais e ambientais especificadas;
- d) com custos de reparos compatíveis;
- e) com tempos de recolocação, os menores possíveis.

A Disponibilidade é referida a duas situações básicas:

- **Recolocação em serviço**, por ação de manutenção ou troca de componentes;
- **Mortalidade**, para componentes fora de operação ou inativos.

Em razão disto, os sistemas podem ser enquadrados, quanto à recolocação em serviço, em dois tipos básicos :

- **Sistemas reparáveis**, correspondentes àqueles que podem ser recolocados em serviço, após manutenção.

- **Sistemas não-reparáveis**, correspondentes à presença de um processo de mortalidade.

Existem várias técnicas para a análise da Confiabilidade dos sistemas, e consequentemente da sua Disponibilidade, nos dois casos possíveis (reparáveis e não-reparáveis). Para os sistemas reparáveis o tempo de recolocação (manutenção) pode ser considerado :

- **Instantâneo** ou negligível ($t = 0$) em relação ao tempo de operação, e consequentemente $D(t) = 1$.
- **Não-instantâneo** ($t > 0$), quando técnicas adicionais são necessárias para sua análise, resultando sempre $D(t) < 1$ para ($t > 0$).

O tempo (T_d) durante o qual, o sistema encontra-se em operação (Disponível) é conhecido como “Up-time”, e o tempo (T_i), durante o qual o sistema está fora de operação (Indisponível) como “Down-time”.

A Disponibilidade $D(t)$, como foi anteriormente definida, corresponde à relação (simplicada):

$$D(t) = \frac{\text{tempo total de bom funcionamento}}{\text{tempo total esperado de utilização}} = \frac{T_d}{T_d + T_i} \quad (4.1)$$

4.2 MUDANÇAS DE ESTADO

Considerando-se o caso de um único Componente (ou Sistema), para o qual tem-se Taxa de falha (λ) e Taxa de Recolocação em serviço (μ) constantes em um dado período de funcionamento (valores médios como apresentado no item 2.5), o processo de mudança de estado pode ser admitido com um processo Markoviano estacionário, mostrado na Figura 4.1, cujas probabilidades condicionais de falha (λ) ou recolocação (μ) são constantes. Neste caso, com apenas um Componente (CO), resultam dois “estados” distintos de funcionamento:

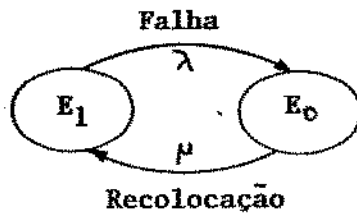


Figura 4.1: Mudanças de estado de funcionamento de um Componente

- E_1 : Estado de bom funcionamento (em operação);
 E_0 : Estado de mal funcionamento (em recolocação).

As probabilidades associadas aos Estados E_1 e E_0 , são:

$P_1(t)$ = probabilidade de que o Componente está operando no tempo t , ou seja,
é Disponível;

$P_0(t)$ = probabilidade de que o Componente está em falha no tempo t , ou seja,
é Indisponível.

As correspondentes Densidades Médias de probabilidade de falha (f_1) e recolocação em serviço (f_0), são dadas por:

$$f_1(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (4.2)$$

$$f_0(t) = \mu \cdot e^{-\mu \cdot t} \quad (4.3)$$

com os valores de λ e μ , para uma distribuição de Weibull, constantes no intervalo $[0, t]$, dados pelos valores médios, (ver equações (2.23) e (3.15)),

$$\lambda = \lambda_0^\beta \cdot t^{\beta-1} \quad (4.4)$$

$$\mu = \mu_0^\gamma \cdot t^{\gamma-1} \quad (4.5)$$

As Taxas λ e μ são referidas às Taxas de transição de estado, pois elas representam as Taxas pelas quais o sistema muda de um estado para outro. A Taxa de falha (λ) corresponde ao valor falha (TMAF) e a Taxa de Recolocação (μ) ao inverso do Tempo Médio até inverso do Tempo médio até recolocação em serviço (TMAR), ou seja,

$$\lambda = \frac{1}{TMAF} \quad (4.6)$$

$$\mu = \frac{1}{TMAR} \quad (4.7)$$

Simplificadamente, tem-se as relações:

$$\lambda = \frac{\text{Quantidade de falhas do Componente, no período } t}{\text{Tempo total em operação, no período } t}, \quad (4.8)$$

$$\mu = \frac{\text{Quantidade de reparos do Componente, no período } t}{\text{Tempo total em reparação, no período } t}. \quad (4.9)$$

4.3 EQUAÇÕES BÁSICAS DA DISPONIBILIDADE E DA INDISPONIBILIDADE

Seja dt um diferencial (intervalo) de tempo, cujo valor é suficientemente pequeno, de tal modo que a probabilidade de que dois ou mais eventos ocorram neste intervalo seja desprezível.

A probabilidade do Componente estar em **estado de bom funcionamento (operação)** E_1 , após este intervalo dt , ou seja, $P_1(t + dt)$, será dado por [8]:

$$P_1(t + dt) = P_1(t) \cdot [1 - \lambda \cdot dt] + P_0(t) \cdot [\mu \cdot dt] ,$$

onde o 1º termo é o produto da probabilidade $P_1(t)$ de estar em operação no tempo t com a probabilidade $[1 - \lambda \cdot dt]$ de não estar em falha no tempo dt . O 2º termo é o produto da probabilidade $P_0(t)$ de estar em falha no tempo t com a probabilidade $[\mu \cdot dt]$ de estar em recolocação no tempo dt .

Analogamente, resulta para a probabilidade do Componente estar em **estado de mal funcionamento (falha)** E_0 , após o intervalo dt , ou seja, $P_0(t + dt)$, a relação:

$$P_0(t + dt) = P_0(t) \cdot [1 - \mu \cdot dt] + P_1(t) \cdot [\lambda \cdot dt] ,$$

onde o 1º termo é o produto da probabilidade $P_0(t)$ de estar em falha no tempo t com a probabilidade $[1 - \mu \cdot dt]$ de não estar em recolocação no tempo dt . O 2º termo é o produto da probabilidade $P_1(t)$ de estar em operação no tempo t com a probabilidade $[\lambda \cdot dt]$ de estar em falha no tempo dt . Por outro lado, as relações,

$$\frac{P_1(t + dt) - P_1(t)}{dt} = \frac{d P_1(t)}{dt} = P_1'(t)$$

$$\frac{P_0(t + dt) - P_0(t)}{dt} = \frac{d P_0(t)}{dt} = P_0'(t)$$

correspondem às derivadas $P_1'(t)$ e $P_0'(t)$, dadas por:

$$P_1'(t) = -\lambda \cdot P_1(t) + \mu \cdot P_0(t)$$

$$P_0'(t) = -\mu \cdot P_0(t) + \lambda \cdot P_1(t)$$

Estas equações podem ser postas na forma matricial,

$$\begin{bmatrix} P_1'(t) & P_0'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1(t) & P_0(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix}$$

A matriz coeficiente desta equação não é uma matriz de probabilidade transicional estocástica [8], porque as fileiras desta matriz coeficiente resulta nula ($\lambda\mu - \mu\lambda$), enquanto a da matriz de probabilidade transicional estocástica resulta igual a 1.

As equações de $P_1'(t)$ e $P_0'(t)$ são equações diferenciais lineares, com coeficientes constantes. Para resolvê-las, o melhor método é por meio das **Transformadas de Laplace**, resultando:

$$s \cdot P_1(s) - P_1(0) = -\lambda \cdot P_1(s) + \mu \cdot P_0(s)$$

ou

$$P_1(s) = \frac{\mu}{s + \lambda} \cdot P_0(s) + \frac{1}{s + \lambda} \cdot P_1(0)$$

onde $P_1(s)$ e $P_0(s)$ são as Transformadas de Laplace das probabilidades $P_1(t)$ e $P_0(t)$ e $P_1(0)$ é o valor inicial de $P_1(t)$, e “s” é o parâmetro da transformação.

Analogamente, resulta para a equação de $P_0'(t)$,

$$s \cdot P_0(s) - P_0(0) = -\mu \cdot P_0(s) + \lambda \cdot P_1(s)$$

$$P_0(s) = \frac{\lambda}{s + \mu} \cdot P_1(s) + \frac{1}{s + \mu} \cdot P_0(0)$$

onde $P_0(0)$ é o valor inicial de $P_0(t)$.

As equações de $P_1(s)$ e $P_0(s)$ podem ser resolvidas para $P_1(s)$ e $P_0(s)$, tanto por substituição direta ou por matrizes, resultando:

$$P_1(s) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot \left[\frac{P_0(0) + P_1(0)}{s} \right] + \frac{1}{\lambda + \mu} \cdot \frac{1}{s + \lambda + \mu} \cdot [\lambda \cdot P_1(0) - \mu \cdot P_0(0)],$$

$$P_0(s) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot \left[\frac{P_0(0) + P_1(0)}{s} \right] + \frac{1}{\lambda + \mu} \cdot \frac{1}{s + \lambda + \mu} \cdot [\mu \cdot P_0(0) - \lambda \cdot P_1(0)].$$

Estas equações podem ser agora transformadas de volta ao tempo real (t), utilizando-se as inversas das Transformadas de Laplace [8], ou seja,

$$\frac{1}{s} = 1, \quad \frac{1}{s + \lambda + \mu} = e^{-(\lambda + \mu)t},$$

e como $P_0(0) + P_1(0) = 1$ para todas as condições iniciais, resultam as correspondentes equações

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} \cdot [\lambda \cdot P_1(0) - \mu \cdot P_0(0)],$$

$$P_0(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} \cdot [-\lambda \cdot P_1(0) + \mu \cdot P_0(0)].$$

Nas condições práticas, a condição normal é o início de funcionamento (operação) no Estado E_1 , ou seja, com o Componente em estado de bom funcionamento, e neste caso, resulta $P_1(0) = 1$ e $P_0(0) = 0$, e consequentemente,

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} \cdot [\lambda \cdot 1 - \mu \cdot 0],$$

$$P_0(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} \cdot [-\lambda \cdot 1 + \mu \cdot 0].$$

As probabilidades $P_1(t)$ e $P_0(t)$ correspondem às probabilidades do Componente se encontrar nos estados de operação (Disponível) ou falha (Indisponível), em função do tempo de operação (t), quando o Componente estava na condição de bom funcionamento no tempo $t = 0$, ou seja, DISPONIBILIDADE:

$$D(t) = P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t}, \quad (4.10)$$

INDISPONIBILIDADE:

$$I(t) = P_0(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t}, \quad (4.11)$$

e ainda,

$$D(t) + I(t) = 1, \quad (4.12)$$

cujas variações típicas, para distribuição geral de Weibull e do tipo Exponencial (caso particular de Weibull), são mostradas na Figura 4.2.

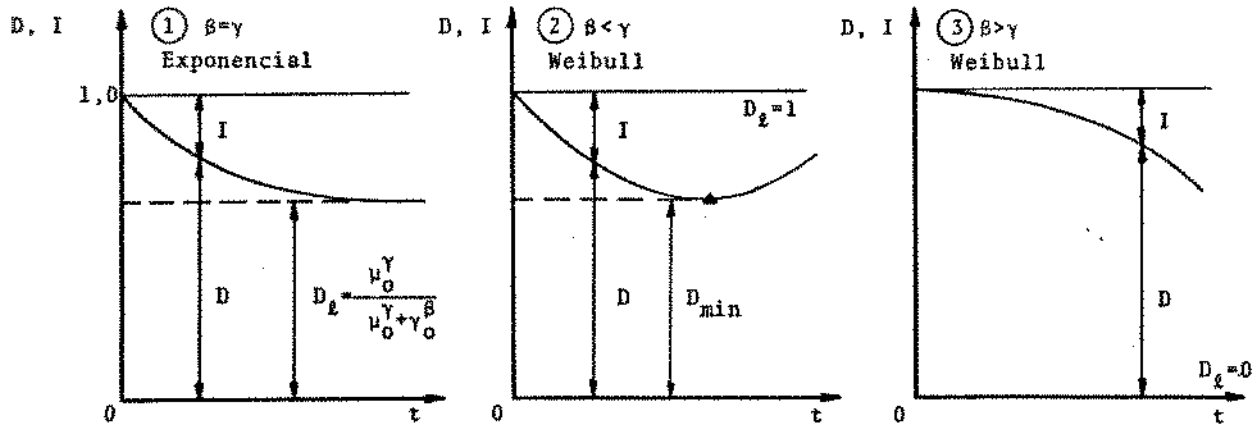


Figura 4.2: Variações típicas dos valores da Disponibilidade (D) e da Indisponibilidade (I).

Substituindo-se os valores de λ e μ dados pelas equações (4.4) e (4.5), respectivamente, resultam as equações gerais:

$$D(t) = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_0^\beta}{\mu_0^\beta} \cdot t^{(\beta - \gamma)}} + \frac{1}{1 + \frac{\mu_0^\gamma}{\lambda_0^\beta} \cdot t^{(\gamma - \beta)}} \cdot e^{-(\lambda_0 \cdot t)^\beta} \cdot e^{-(\mu_0 \cdot t)^\gamma}, \quad (4.13)$$

$$I(t) = \frac{1}{1 + \frac{\mu_0^\gamma}{\lambda_0^\beta} t^{(\beta-\gamma)}} - \frac{1}{1 + \frac{\mu_0^\gamma}{\lambda_0^\beta} t^{(\beta-\gamma)}} e^{-(\lambda_0 t)^\beta} e^{-(\mu_0 t)^\gamma}. \quad (4.14)$$

Na Figura 4.3 é apresentado um exemplo de aplicação, para os valores $\lambda_0 = 10^{-3}/h$ e $\mu_0 = 10^{-1}/h$, em função de diferentes valores dos Parâmetros de forma β e γ .

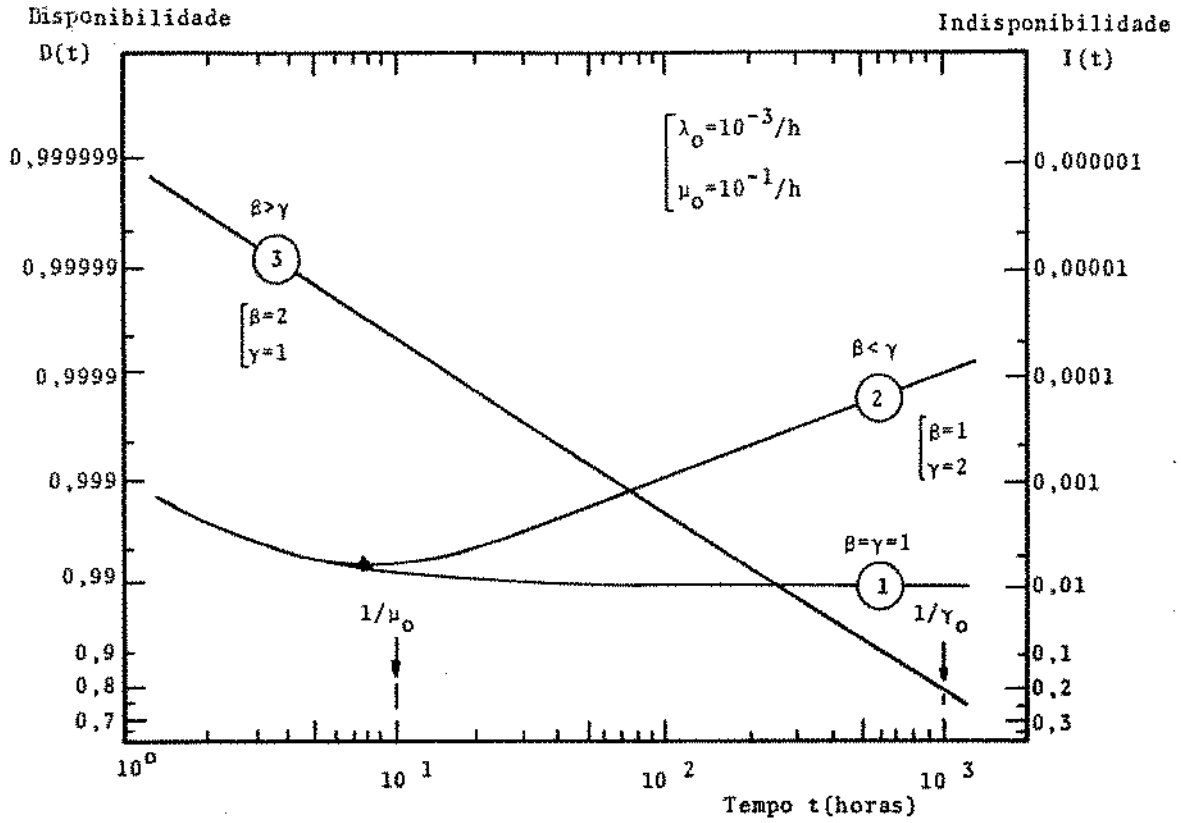


Figura 4.3: Variação da Disponibilidade $D(t)$ e da Indisponibilidade $I(t)$ em função de diferentes valores (casos 1, 2 e 3) dos Parâmetros de forma β e γ .

Casos particulares:

a) Quando $\beta = \gamma$ (caso 1 das Figuras 4.2 e 4.3) resulta:

$$D(t) = \frac{\mu_0^\gamma}{\mu_0^\gamma + \lambda_0^\beta} + \frac{\lambda_0^\beta}{\mu_0^\gamma + \lambda_0^\beta} e^{-(\lambda_0 t)^\beta} e^{-(\mu_0 t)^\gamma}, \quad (4.15)$$

$$I(t) = \frac{\lambda_0^\beta}{\mu_0^\gamma + \lambda_0^\beta} - \frac{\lambda_0^\beta}{\mu_0^\gamma + \lambda_0^\beta} e^{-(\lambda_0 t)^\beta} e^{-(\mu_0 t)^\gamma}, \quad (4.16)$$

que correspondem a uma distribuição Exponencial (ver Figuras 4.2 e 4.3). A Disponibilidade (D) é progressivamente reduzida com o aumento do tempo (t), correspondendo à **Disponibilidade Limite** (D_l) dada por:

$$D_l = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = \frac{\mu_0^\gamma}{\mu_0^\gamma + \lambda_0^\beta} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_0^\beta}{\mu_0^\gamma}}, \quad (4.17)$$

ou seja, ao valor mínimo da Disponibilidade ao longo da vida do Componente, independente do tempo (t).

A Indisponibilidade $I(t)$ é progressivamente aumentada com o aumento do tempo (t), correspondendo à **Indisponibilidade Limite** (I_l) dada por:

$$I_l = \lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = \frac{\lambda_0^\beta}{\mu_0^\gamma + \lambda_0^\beta} = \frac{1}{1 + \frac{\mu_0^\gamma}{\lambda_0^\beta}}, \quad (4.18)$$

que corresponde ao valor máximo da Indisponibilidade ao longo da vida do Componente, independente do tempo (t).

No caso particular $\beta = \gamma = 1$, resulta das equações (4.15) e (4.16),

$$D(t) = \frac{\mu_0}{\mu_0 + \lambda_0} + \frac{\lambda_0}{\mu_0 + \lambda_0} \cdot e^{-(\lambda_0 \cdot t)} \cdot e^{-(\mu_0 \cdot t)}, \quad (4.19)$$

$$I(t) = \frac{\lambda_0}{\mu_0 + \lambda_0} - \frac{\lambda_0}{\mu_0 + \lambda_0} \cdot e^{-(\lambda_0 \cdot t)} \cdot e^{-(\mu_0 \cdot t)}, \quad (4.20)$$

como consta da bibliografia atual. As correspondentes Disponibilidades e Indisponibilidades Limites, serão:

$$D_l = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = \frac{\mu_0}{\mu_0 + \lambda_0} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_0}{\mu_0}}, \quad (4.21)$$

$$I_l = \lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = \frac{\lambda_0}{\mu_0 + \lambda_0} = \frac{1}{1 + \frac{\mu_0}{\lambda_0}}, \quad (4.22)$$

Na Figura 4.4 é apresentado um exemplo de aplicação para $\beta = \gamma = 1$ e $\lambda_0 = 10^{-3}/h$, $\mu_0 = 10^{-1}/h$, com os valores calculados (constantes) $D_l = 0,980392$ e $I_l = 0,019608$ (curva 1).

b) Quando $\beta < \gamma$ (caso 2 das Figuras 4.2 e 4.3), resulta:

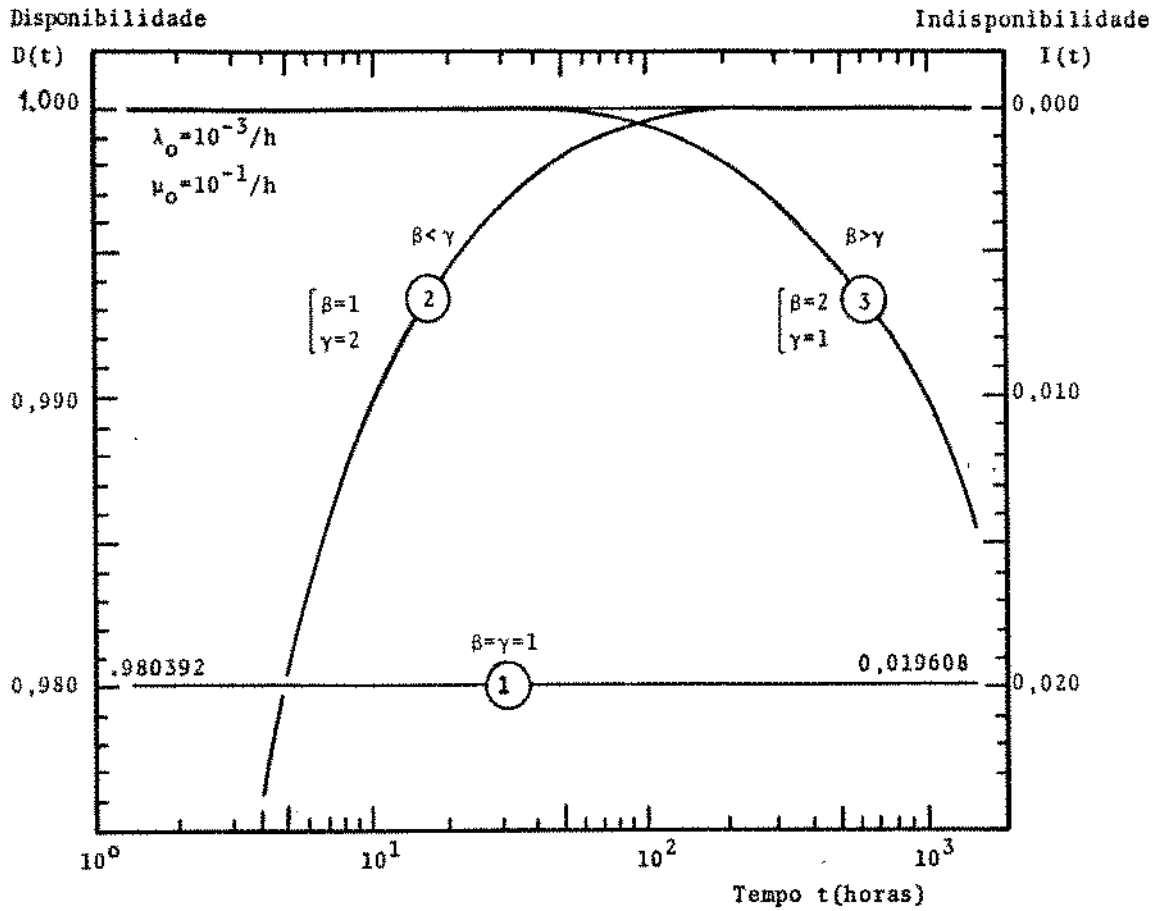


Figura 4.4: Variação da Disponibilidade (D_I) e Indisponibilidade Limite (I_I) em função de diferentes valores (casos 1, 2 e 3), dos Parâmetros do forma β e γ (exemplo de aplicação).

- A Disponibilidade $D(t)$ é decrescente até um valor mínimo D_{min} . A determinação analítica deste valor é bastante complexa, não sendo objetivo deste trabalho. O programa computacional RAMP, descrito no Capítulo 7, permite sua avaliação por meio de gráficos. Após o valor mínimo, a Disponibilidade cresce até um valor máximo, correspondente à Disponibilidade Limite (D_I)

$$D_I = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = 1 \quad (4.23)$$

ou seja, à Disponibilidade total (100%).

- A Indisponibilidade $I(t)$ é crescente até o valor máximo (I_{max}), decrescendo a seguir até o valor mínimo, correspondente à Indisponibilidade Limite (I_I),

$$I_I = \lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = 0, \quad (4.24)$$

ou seja, à Indisponibilidade total (0%). A relação básica entre a Disponibilidade $D(t)$ e a Indisponibilidade $I(t)$ é satisfeita também para a Disponibilidade Limite $D_l(t)$ e a Indisponibilidade Limite $I_l(t)$, ou seja,

$$D_l(t) + I_l(t) = 1. \quad (4.25)$$

c) Quando $\beta > \gamma$ (caso 3 das Figuras 4.2 e 4.3), resulta:

- A Disponibilidade $D(t)$ é sempre decrescente, até um valor mínimo, correspondente à Disponibilidade Limite (D_l),

$$D_l = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = 0 \quad (4.26)$$

- A Indisponibilidade $I(t)$ é sempre crescente, até um valor máximo, correspondente à Indisponibilidade Limite (I_l),

$$I_l = \lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = 1. \quad (4.27)$$

4.4 FORMAS SIMPLIFICADAS DAS EQUAÇÕES

É importante notar-se que as equações gerais (4.13) e (4.14) podem ser postas na forma simplificada,

$$D(t) = D_l(t) + I_l(t).R(t).N(t), \quad (4.28)$$

$$I(t) = I_l(t) - I_l(t).R(t).N(t), \quad (4.29)$$

onde $R(t)$ é a Confiabilidade e $N(t)$ a Não-Mantenabilidade, como foi visto nos Capítulos 2.3 e 3.3, respectivamente.

Ao 2º termo das equações (4.28) e (4.29) denomina-se **Disponibilidade Complementar** $D_c(t)$, dada por:

$$D_c(t) = I_l(t).R(t).N(t), \quad (4.30)$$

e ainda,

$$D(t) = D_l(t) + D_c(t), \quad (4.31)$$

$$I(t) = I_l(t) - D_c(t). \quad (4.32)$$

Na Figura 4.5 são apresentadas as variações típicas da **Disponibilidade Complementar** D_c em função de diferentes valores dos Parâmetros de forma β e γ (casos 1, 2 e 3), para o mesmo exemplo de aplicação apresentado na Figura 4.4.

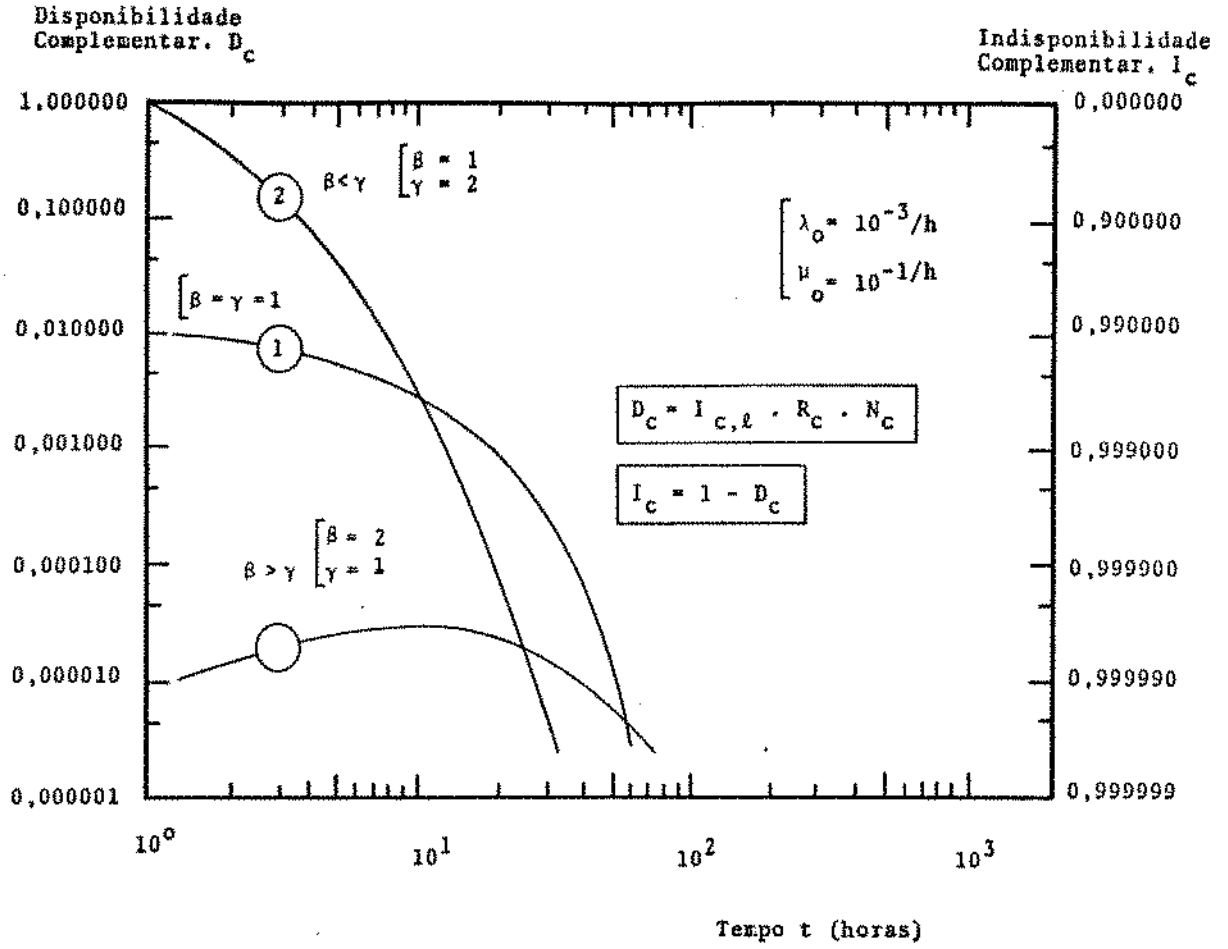


Figura 4.5: Variação da Disponibilidade Complementar D_c em função de diferentes valores (casos 1, 2 e 3) dos Parâmetros de forma β e γ .

Nota-se das equações gerais (4.31) e (4.32), que a Disponibilidade $D(t)$ e a Indisponibilidade $I(t)$ são basicamente dependentes da Disponibilidade Limite $D_l(t)$, da Indisponibilidade Limite $I_l(t)$ e da Disponibilidade Complementar $D_c(t)$.

Quando não existe manutenção ($\mu = 0$, $TMAR = \infty$), resulta das equações gerais 4.28 e 4.29, que

$$D(t) = 0 + 1.R(t).1 = R(t), \quad (4.33)$$

$$I(t) = 1 - 1.R(t).1 = 1 - R(t) = F(t), \quad (4.34)$$

ou seja, a Disponibilidade $D(t)$ corresponde à Confiabilidade $R(t)$ e a Indisponibilidade $I(t)$ corresponde à Desconfiabilidade $F(t)$. Por outro lado, neste caso tem-se uma Não-Mantenabilidade $N(t) = 1$ e uma Manutenibilidade $M(t) = 0$. Portanto, as equações gerais 4.28

e 4.29 podem ser utilizadas em um programa computacional (RAMP), de aspecto geral, onde o valor calculado $D(t) = R(t)$, para sistemas Não-Reparáveis, é obtido apenas com a adoção do valor $\mu = 0$ para a Taxa de Recolocação em serviço do Componente analisado, como será apresentado no Capítulo 9.

Quando não existe Falha ($\lambda = 0, TMAF = \infty$), resulta das equações gerais 4.28 e 4.29 que:

$$D(t) = 1 + 0.1.N(t) = 1 \quad (4.35)$$

$$I(t) = 0 - 0.1.N(t) = 0 \quad (4.36)$$

ou seja, quando não existem falhas ($\lambda = 0$) o Componente é sempre Disponível ($D = 1$). Esta propriedade é utilizada no programa RAMP, tendo-se as seguintes correspondências (Figura 4.6):

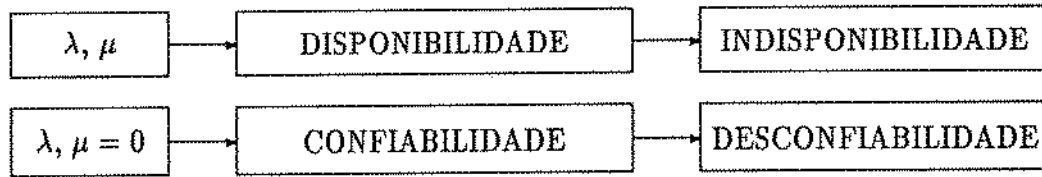


Figura 4.6: Correlações entre Taxas de falhas, relocalizações e probabilidades.

4.5 TEMPO MÉDIO ATÉ INDISPONIBILIDADE

Por definição, o valor do “Tempo Médio até Indisponibilidade” TMAI do Componente ou Sistema, é dado por:

$$TMAI = \int_0^{\infty} D \cdot dt, \quad (4.37)$$

cujas conceituação é análoga ao Tempo Médio até Falha (TMAF), apresentado no Capítulo 2.5.

No caso geral, onde estão envolvidos “Componentes-equivalentes” e arranjos Série/Paralelo nos Sistemas, a solução analítica da equação 4.37 é muito complexa. Nestes casos é preferível uma integração numérica (como mostrado na Figura 4.7) e um programa computacional (ver Capítulo 9), dado pela expressão:

$$TMAI = \Delta t \cdot \sum_{r=1}^k D_r, \quad (4.38)$$

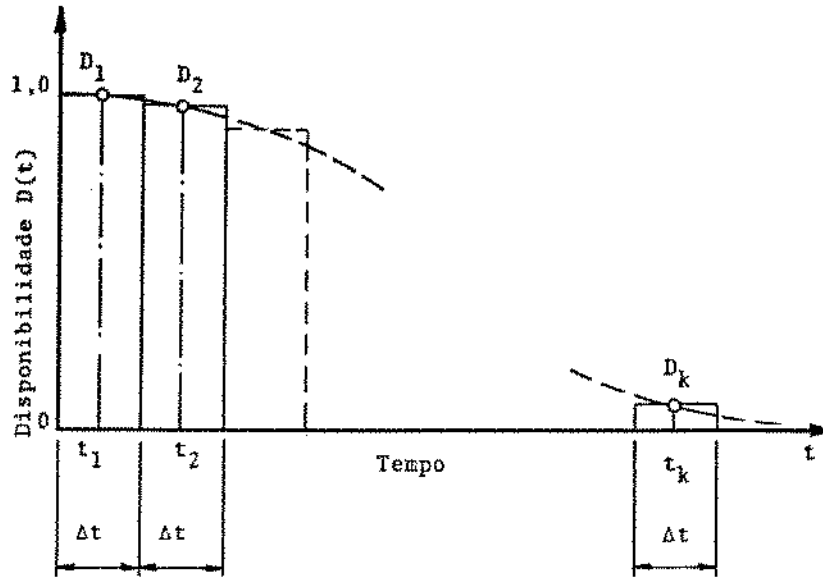


Figura 4.7: Integração numérica para a determinação do Tempo Médio até Indisponibilidade (TMAI)

Neste caso, valem as mesmas considerações apresentadas no Capítulo 2.5, referentes ao Tempo Médio até Falha (TMAF) quanto aos procedimentos operacionais do programa RAMP, dos valores dos intervalos de tempo Δt , e do valor residual D_k . Adotou-se, sem prejuízo da precisão nos valores calculados, os mesmos valores de Δt , referidos apenas às Taxas de falhas (λ_0, λ_{0s}), porque na prática tem-se normalmente $\lambda \ll \mu$, ou seja $TMAF \gg TMAI$.

Capítulo 5

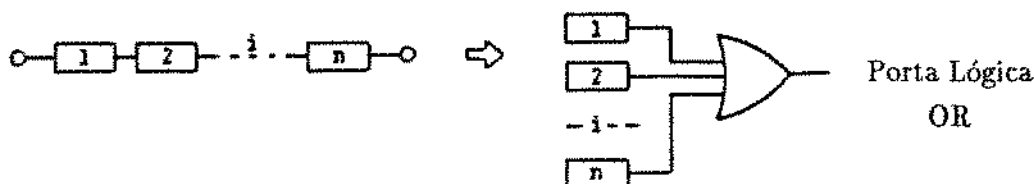
MODELO CONFIABILÍSTICO

5.1 ARRANJOS FUNCIONAIS

Para os arranjos “série” ou “paralelo” dos Elementos do sistema são adotadas as seguintes condições:

5.1.1 Arranjo Série

Todos os Elementos devem ser “bons”, no sentido da Confiabilidade, para o sistema ser “bom”, ou seja, não falhe.



Os “Elementos” correspondem a Componentes, Sensores ou Comutadores utilizados no Sistema.

A Confiabilidade total (RT) do sistema, em função das Confiabilidades (R_i) de cada i -ésimo Elemento, será:

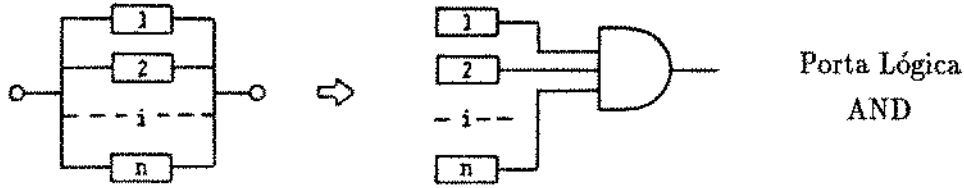
$$RT = \prod_{i=1}^n R_i = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \dots R_n, \quad (5.1)$$

e a Desconfiabilidade (FT),

$$FT = 1 - \prod_{i=1}^n R_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) = 1 - (1 - F_1) \cdot (1 - F_2) \dots (1 - F_n). \quad (5.2)$$

5.1.2 Arranjo Paralelo

Pelo menos um Elemento, dentre os “n” Elementos do sistema, deve ser bom para que o sistema seja bom (não falhe), ou seja,



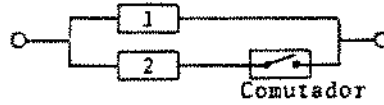
A Confiabilidade total (RT) do sistema será:

$$RT = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \dots (1 - R_n), \quad (5.3)$$

e a Desconfiabilidade total (FT),

$$FT = 1 - RT = \prod_{i=1}^n (1 - R_i) = \prod_{i=1}^n F_i = F_1 \cdot F_2 \dots F_n. \quad (5.4)$$

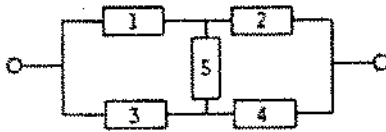
aplicáveis a sistemas com redundâncias ativas. No caso de redundâncias passivas (“stand-by”), são representadas pelo arranjo (no exemplo com apenas dois componentes),



onde a Confiabilidade do Sistema depende da Confiabilidade do Comutador (chaveamento), como será apresentado no item 5.3.3.

5.1.3 Arranjos Compostos

Para cada particular arranjo aplica-se o Teorema de Bayes, como por exemplo,



$$\begin{aligned} RT = & R_1 \cdot R_2 + R_3 \cdot R_4 + R_1 \cdot R_4 \cdot R_5 + \\ & + R_2 \cdot R_3 \cdot R_5 - R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 - \\ & - R_1 \cdot R_2 \cdot R_4 \cdot R_5 - R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_5 - \\ & - R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 - R_1 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 + \\ & + 2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Quando $R_i = R = \text{constante}$,

$$RT = 2.R^2 + 2.R^3 - 5.R^4 + 2.R^5 \quad (5.6)$$

A correspondente Desconfiabilidade (FT) será,

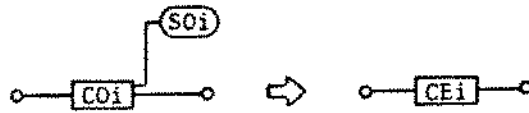
$$FT = 1 - RT = 1 - 2(1 - F)^2 + 2(1 - F)^3 - 5(1 - F)^4 + 2(1 - F)^5 \quad (5.7)$$

5.2 COMPOSIÇÕES E EQUIVALÊNCIAS

Visando a aplicação de programas computacionais para o cálculo da Confiabilidade de Sistemas, são utilizadas as seguintes definições:

5.2.1 Uso de Comutador ou Sensor (SO)

Resulta em um “Componente Equivalente” (CE) dado por:



onde:

- RCO_i = Confiabilidade do i -ésimo Componente;
- RSO_i = Confiabilidade do i -ésimo Sensor (ou Comutador);
- RCE_i = Confiabilidade do i -ésimo Componente- Equivalente.

Quando não existe Sensor ou Comutador aplicado, o Componente é o próprio Componente-Equivalente, ou seja,

$$RCO_i = RCE_i \quad \text{com} \quad RSO_i = 1, \quad (5.8)$$

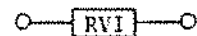
$$FCO_i = FCE_i \quad \text{com} \quad FSO_i = 0. \quad (5.9)$$

5.2.2 Aplicação de Sucessivas Reduções Série/Paralelo

Resulta em um “Componente-Reduzido” (CR) no arranjo estrutural, como por exemplo (arranjo série),

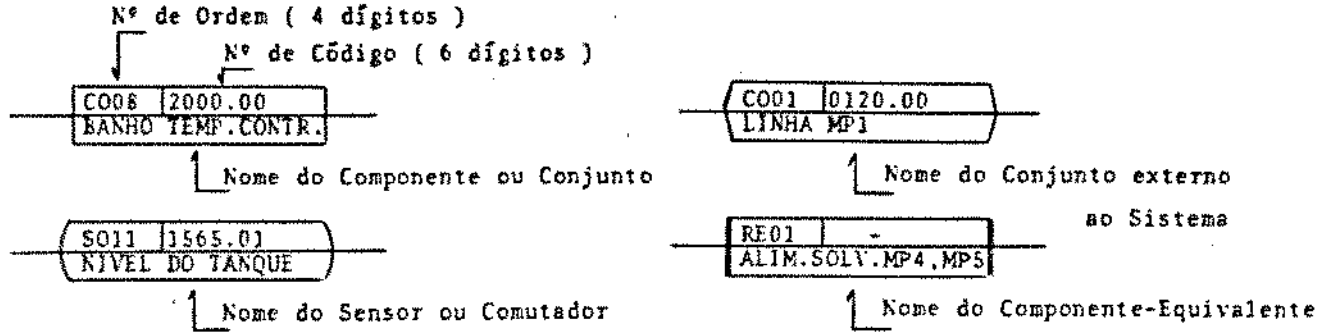


onde CR_1 é o “Componente-Reduzido” por arranjo Série. Pode também ser indicado por 3 letras, para melhor identificar o sistema (ou conjunto), por exemplo,



5.2.3 Identificação Geral do Componente, Sensor ou Equivalências

Adota-se a seguinte simbologia gráfica no arranjo estrutural (exemplos):



5.3 EQUAÇÕES DAS CONFIABILIDADES

5.3.1 Componentes e Sensores

Para cada i -ésimo Componente (CO_i) ou Sensor (SO_i) do sistema, as respectivas equações das Confiabilidades (RCO_i) e Desconfiabilidades (FCO_i), segundo a distribuição geral de Weibull, são:

Componentes: 

$$RCO_i = e^{-(\lambda_{ci}.t)^{\beta_{ci}}} \quad (5.10)$$

$$FCO_i = 1 - e^{-(\lambda_{ci}.t)^{\beta_{ci}}} \quad (5.11)$$

Sensores: 

$$RSO_i = e^{-(\lambda_{si}.t)^{\beta_{si}}} \quad (5.12)$$

$$FSO_i = 1 - e^{-(\lambda_{si}.t)^{\beta_{si}}} \quad (5.13)$$

onde:

$$\begin{aligned}
 RCO_i &= \text{Confiabilidade do } i\text{-ésimo Componente } (CO_i); \\
 FCO_i &= \text{Desconfiabilidade do } i\text{-ésimo Componente } (CO_i); \\
 \lambda_{ci} &= \text{Taxa de falha característica do Componente } (CO_i); \\
 \beta_{ci} &= \text{Parâmetro de forma do Componente } (CO_i); \\
 RSO_i &= \text{Confiabilidade do } i\text{-ésimo Sensor } (SO_i); \\
 FSO_i &= \text{Desconfiabilidade do } i\text{-ésimo Sensor } (SO_i); \\
 \lambda_{si} &= \text{Taxa de falha característica do Sensor } (SO_i); \\
 \beta_{si} &= \text{Parâmetro de forma do Sensor } (SO_i); \\
 t &= \text{Vida do Componente ou sensor (tempo, número de ciclos,} \\
 &\quad \text{kilometragem, etc).}
 \end{aligned}$$

O valor das Taxas de Falhas características (λ_{ci} , λ_{si}) correspondem à Confiabilidade $R = e^{-1} = 0.36788$.

5.3.2 Componente-equivalente

A aplicação de um Sensor (SO_i) a um Componente (CO_i) resulta em uma **Confiabilidade** (RCE_i) do Componente-Equivalente (CE_i) ao conjunto Componente/sensor, dada por [9]:

$$RCE_i = RCO_i [1 + (\lambda_{ci}.t)^{\beta_{ci}}.RSO_i] \quad (5.14)$$

e uma **Desconfiabilidade** (FCE_i),

$$FCE_i = 1 - RCE_i = 1 - (1 - FCO_i) \cdot [1 + (\lambda_{ci}.t)^{\beta_{ci}}.(1 - FSO_i)] \quad (5.15)$$

Quando o Sensor é perfeito, correspondente a uma Taxa de Falha $\lambda_{si} = 0$, resulta $RSO_i = 1$ e portanto,

$$RCE_i = RCO_i [1 + (\lambda_{ci}.t)^{\beta_{ci}}] \quad (5.16)$$

$$FCE_i = 1 - RCE_i = 1 - (1 - FCO_i) \cdot [1 + (\lambda_{ci}.t)^{\beta_{ci}}] \quad (5.17)$$

Quando não existe Sensor ($RSO_i = 0$), resulta a igualdade,

$$RCE_i = RCO_i \quad (5.18)$$

$$FCE_i = FCO_i \quad (5.19)$$

ou seja, o **Componente-Equivalente** (CE_i) corresponde ao próprio Componente (CO_i). O valor $RSO_i = 0$ corresponde a uma Taxa de Falha $\lambda_{si} = \infty$, porém em um programa computacional (ver Capítulo 9) pode-se adotar um valor grande, por exemplo $\lambda_{si} = 1000$ que na prática resulta em uma excelente aproximação do valor real.

Ao Componente Equivalente (CE) corresponde uma equação de Weibull dada por:

$$RCE_i = e^{-(\lambda_{ce,i}.t)^{\beta_{ce,i}}} \quad (5.20)$$

onde: $\lambda_{ce,i}$ = Taxa de falha característica do i -ésimo Componente-Equivalente (CE_i);
 $\beta_{ce,i}$ = Parâmetro de forma do Componente-Equivalente (CE_i).

A determinação destes valores é apresentada a seguir admitindo-se, por aproximação, que a equação (5.14) satisfaz à equação (5.20), como mostrado na Figura 5.1.

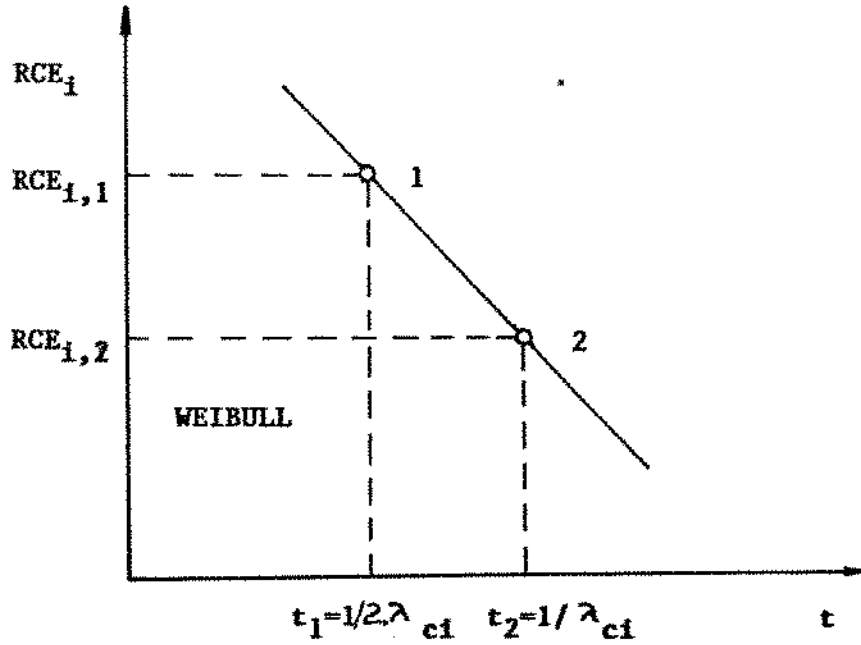


Figura 5.1: Gráfico de Weibull para o Componente-Equivalente.

a) Determinação de λ_{ce}

Na Figura 5.1 admitiu-se os tempos t_1 e t_2 , relacionados à Taxa de falha característica (λ_c) do Componente, resultando as equações :

Ponto 1:

$$RCE_{i,1} = RCO_{i,1} \left[1 + (\lambda_{ci}.t_1)^{\beta_{ci}}.RSO_{i,1} \right]$$

$$RCO_{i,1} = e^{-(0,5)^{\beta_{ci}}},$$

$$RSO_{i,1} = e^{-\left(\frac{\lambda_{ci}.t_1}{2\lambda_{ci}}\right)^{\beta_{ci}}},$$

$$RCE_{i,1} = e^{-(0,5)^{\beta_{ce,i}}} \cdot \left[1 + (0,5)^{\beta_{ce,i}} \cdot e^{-\left(\frac{\lambda_{ci}}{2\lambda_{ci}}\right)^{\beta_{ci}}} \right]. \quad (5.21)$$

Ponto 2:

$$\begin{aligned} RCE_{i,2} &= RCO_{i,2} \left[1 + (\lambda_{ci} \cdot t_2)^{\beta_{ci}} \cdot RSO_{i,2} \right] \\ RCO_{i,2} &= e^{-1}, \\ RSO_{i,2} &= e^{-\left(\frac{\lambda_{ci}}{\lambda_{ci}}\right)^{\beta_{ci}}}, \\ RCE_{i,2} &= e^{-1} \cdot \left[1 + e^{-\left(\frac{\lambda_{ci}}{\lambda_{ci}}\right)^{\beta_{ci}}} \right]. \end{aligned} \quad (5.22)$$

Para os pontos 1 e 2 resulta da equação geral (5.20),

$$\frac{1}{RCE_{i,1}} = e^{\left(\frac{\lambda_{ce,i}}{2\lambda_{ci}}\right)^{\beta_{ce,i}}}, \quad \frac{1}{RCE_{i,2}} = e^{\left(\frac{\lambda_{ce,i}}{\lambda_{ci}}\right)^{\beta_{ce,i}}}.$$

Aplicando-se duas vezes o Logaritmo Neperiano, resulta:

$$\begin{aligned} \ln[-\ln RCE_{i,1}] &= \beta_{ce,i} \cdot [\ln \lambda_{ce,i} - \ln(2\lambda_{ci})], \\ \ln[-\ln RCE_{i,2}] &= \beta_{ce,i} \cdot [\ln \lambda_{ce,i} - \ln \lambda_{ci}]. \end{aligned}$$

Dividindo-se estas duas equações e resolvendo-se em relação a $\lambda_{ce,i}$, resulta:

$$\lambda_{ce,i} = e^{\left[\frac{\ln[-\ln RCE_{i,1}] \cdot \ln \lambda_{ci} - \ln[-\ln RCE_{i,2}] \cdot \ln(2\lambda_{ci})}{\ln[-\ln RCE_{i,1}] - \ln[-\ln RCE_{i,2}]} \right]} \quad (5.23)$$

com $RCE_{i,1}$ e $RCE_{i,2}$ dados pelas equações (5.21) e (5.22), respectivamente.

b) Determinação de $\beta_{ce,i}$

Da equação geral (5.20), particularizada para o ponto 1, resulta:

$$\begin{aligned} \frac{1}{RCE_{i,1}} &= e^{\left(\frac{\lambda_{ce,i}}{2\lambda_{ci}}\right)^{\beta_{ce,i}}}, \\ -\ln RCE_{i,1} &= \left(\frac{\lambda_{ce,i}}{2\lambda_{ci}}\right)^{\beta_{ce,i}}, \end{aligned}$$

$$\ln[-\ln RCE_{i,1}] = \beta_{ce,i} [\ln \lambda_{ce,i} - \ln 2\lambda_{ci}] ,$$

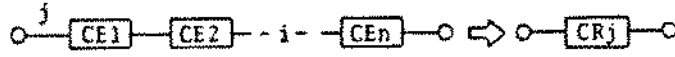
$$\beta_{ce,i} = \frac{\ln[-\ln RCE_{i,1}]}{\ln \lambda_{ce,i} - \ln 2\lambda_{ci}} . \quad (5.24)$$

É interessante notar-se que a influência do Sensor, que sempre aumenta a Confiabilidade [9], implica nos valores $\lambda_{ce} < \lambda_c$ e $\beta_{ce} > \beta_c$. O programa RAMP (Capítulo 9) calcula os valores de λ_{ce} e β_{ce} e os armazena para o cálculo dos Componentes-reduzidos (CR).

5.3.3 Arranjos Série

A Confiabilidade de cada arranjo Série dos Componentes- Equivalentes (CE_i) para cada j -ésimo sub-sistema (CR_j) conforme a equação 5.1 será:

$$RCR_j = \prod_{i=1}^n RCE_{i,j} = RCE_{1,j} \cdot RCE_{2,j} \dots RCE_{n,j} \quad (5.25)$$



com a correspondente Desconfiabilidade (FCR_j),

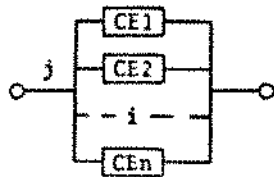
$$FCR_j = 1 - \prod_{i=1}^n RCE_{i,j} = 1 - (1 - FCE_{1,j}) \cdot (1 - FCE_{2,j}) \dots (1 - FCE_{n,j}) . \quad (5.26)$$

onde CR_j é o “Componente-Reduzido” do j -ésimo sub-sistema.

5.3.4 Arranjos Paralelos, com Redundância ativa

a) Um componente bom entre “n” Componentes

Conforme a equação (5.2) para apenas um Componente-Equivalente bom entre “n” Componentes-Equivalentes, resultam para cada j -ésimo sub-sistema, as equações [30]:



$$\begin{aligned} RCR_j &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - RCE_{i,j}) \\ &= 1 - (1 - RCE_{1,j}) \cdot (1 - RCE_{2,j}) \dots (1 - RCE_{n,j}) \end{aligned} \quad (5.27)$$



$$FCR_j = 1 - RCR_j = FCE_{1,j} \cdot FCE_{2,j} \dots FCE_{n,j} \quad (5.28)$$

Exemplos :

I - 1 bom em 2 [1/2]

$$\begin{aligned}
 \begin{array}{c} \text{---} j \text{---} \begin{array}{|c|} \hline \text{CE1} \\ \hline \text{CE2} \\ \hline \end{array} \text{---} \end{array} \quad RCR_j = 1 - (1 - RCE_{1,j})(1 - RCE_{2,j}) = \\
 \Rightarrow \begin{array}{c} \text{---} \text{CR}_j \text{---} \end{array} = RCE_{1,j} + RCE_{2,j} - RCE_{1,j} \cdot RCE_{2,j} \quad (5.29)
 \end{aligned}$$

Quando $RCE_{1,j} = RCE_{2,j} = RCE_j$ (componentes iguais), resulta:

$$RCR_j = 2 \cdot RCE_j - (RCE_j)^2 \quad (5.30)$$

II - 1 bom em 3 [1/3]

$$\begin{aligned}
 \begin{array}{c} \text{---} j \text{---} \begin{array}{|c|} \hline \text{CE1} \\ \hline \text{CE2} \\ \hline \text{CE3} \\ \hline \end{array} \text{---} \end{array} \quad RCR_j = 1 - (1 - RCE_{1,j})(1 - RCE_{2,j})(1 - RCE_{3,j}) \\
 = RCE_{1,j} + RCE_{2,j} + RCE_{3,j} + \\
 + RCE_{1,j} \cdot RCE_{2,j} \cdot RCE_{3,j} - \\
 \Rightarrow \begin{array}{c} \text{---} \text{CR}_j \text{---} \end{array} \quad - (RCE_{1,j} \cdot RCE_{2,j}) + (RCE_{1,j} \cdot RCE_{3,j}) + \\
 + (RCE_{2,j} \cdot RCE_{3,j}) \quad (5.31)
 \end{aligned}$$

Quando $RCE_{1,j} = RCE_j$ (componentes iguais), resulta :

$$RCR_j = 3 \cdot RCE_j - 3 \cdot (RCE_j)^2 + (RCE_j)^3 \quad (5.32)$$

b) "k" Componentes bons entre "n" equipamentos [k/n]

I - k = 2, n = 3 (2 bons em 3):

$$\begin{aligned}
 \begin{array}{c} \text{---} j \text{---} \begin{array}{|c|} \hline \text{CE1} \\ \hline \text{CE2} \\ \hline \text{CE3} \\ \hline \end{array} \text{---} \end{array} \quad RCR_j = RCE_{1,j} \cdot RCE_{2,j} \cdot RCE_{3,j} + \\
 RCE_{1,j} \cdot RCE_{2,j} \cdot (1 - RCE_{3,j}) + \\
 RCE_{1,j} \cdot RCE_{3,j} \cdot (1 - RCE_{2,j}) + \\
 \Rightarrow \begin{array}{c} \text{---} \text{CR}_j \text{---} \end{array} \quad RCE_{2,j} \cdot RCE_{3,j} \cdot (1 - RCE_{1,j}) \quad (5.33)
 \end{aligned}$$

Quando $RCE_{i,j} = RCE_j$ (componentes iguais), resulta :

$$RCR_j = 3 \cdot (RCE_j)^2 - 2 \cdot (RCE_j)^3 \quad (5.34)$$

$$FCR_j = 1 - RCR_j$$

$$= 1 - 3 \cdot (1 - FCE_j)^2 + 2 \cdot (1 - FCE_j)^3 \quad (5.35)$$

II - Caso Geral com $RCE_j = \text{constante}$ (iguais):

$$\begin{array}{c} \text{---} j \text{---} \begin{array}{|c|} \hline \text{CE1} \\ \hline \text{CE2} \\ \hline \vdots \\ \hline \text{CE}_k \\ \hline \vdots \\ \hline \text{CE}_n \\ \hline \end{array} \text{---} \end{array} \quad RCR_j = 1 - \sum_{r=0}^{k-1} \binom{n}{r} (RCE_j)^r \cdot (1 - RCE_j)^{n-r} \quad (5.36)$$

$$FCR_j = 1 - \sum_{r=0}^{k-1} \binom{n}{r} (1 - FCE_j)^r \cdot (FCE_j)^{n-r} \quad (5.37)$$

com

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}$$

Exemplo para $k = 2, n = 3$:

$$\begin{aligned} RCR_j &= 1 - \sum_{r=0}^1 \binom{3}{r} (RCE_j)^r \cdot (1 - RCE_j)^{3-r} \\ &= 1 - \left[\binom{3}{0} (RCE_j)^0 \cdot (1 - RCE_j)^3 + \binom{3}{1} (RCE_j)^1 \cdot (1 - RCE_j)^2 \right] \\ &= 1 - \left[\frac{3!}{0!(3-0)!} \cdot 1 \cdot (1 - RCE_j)^3 + \frac{3!}{1!(3-1)!} (RCE_j)^1 \cdot (1 - RCE_j)^2 \right] \\ &= 1 - \left[(1 - RCE_j)^3 + 3 \cdot (RCE_j) \cdot (1 - RCE_j)^2 \right] \\ &= 1 - \left[1 - 3 \cdot (RCE_j)^2 + 2 \cdot (RCE_j)^3 \right] \\ &= 3 \cdot (RCE_j)^2 - 2 \cdot (RCE_j)^3 \end{aligned}$$

$$FCR_j = 1 - 3 \cdot (1 - FCE_j)^2 - 2 \cdot (1 - FCE_j)^3$$

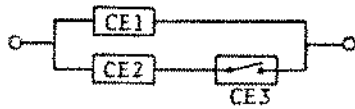
como foi determinado anteriormente.

5.3.5 Arranjos Paralelos com redundância passiva (espera)

a) Comutador real (com falha)

Para dois Componentes-Equivalentes diferentes (CE_1, CE_2) e Comutador real (CE_3), tem-se [9]:

$$RCR_j = RCE_{1,j} + q \cdot [RCE_{1,j} - RCE_{2,j}] \cdot RCE_{3,j} \quad (5.38)$$



$$\begin{aligned} FCR_j &= 1 - RCR_j \\ &= FCE_{1,j} - q \cdot [FCE_{2,j} - FCE_{1,j}] \cdot [1 - FCE_{3,j}] \end{aligned} \quad (5.39)$$

com:

$$q = \frac{(\lambda_{ce,1} \cdot t)^{\beta_{ce,1}}}{(\lambda_{ce,1} \cdot t)^{\beta_{ce,1}} - (\lambda_{ce,2} \cdot t)^{\beta_{ce,2}}} \quad (5.40)$$

Quando $RCE_{1,j} = RCE_{2,j} = RCE_j$ (Componentes iguais), tem-se:

$$RCR_j = RCE_j \left[1 + (\lambda_{ce}.t)^{\beta_{ce}}.RCE_{3,j} \right] \quad (5.41)$$

$$FCR_j = 1 - (1 - FCE_j) \cdot \left[1 + (\lambda_{ce}.t)^{\beta_{ce}}.(1 - FCE_j) \right] \quad (5.42)$$

onde λ_{ce} e β_{ce} são os parâmetros correspondentes aos Componentes-Equivalentes (RCE_j), dados pelas equações (5.23) e (5.24), respectivamente.

b) Comutador perfeito (sem falha)

Para dois Componentes diferentes ($CE_{1,j}, CE_{2,j}$), e Comutador perfeito ($RCE_{3,j} = 1$), resulta das equações (5.38) e (5.39):

$$RCR_j = RCE_{1,j} + q \cdot [RCE_{1,j} - RCE_{2,j}] \quad (5.43)$$

$$FCR_j = FCE_{1,j} - q \cdot [FCE_{2,j} - FCE_{1,j}] \quad (5.44)$$

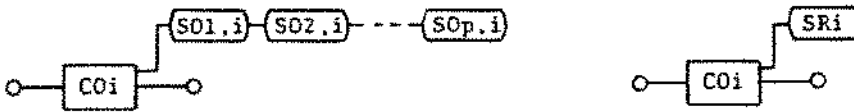
Quando $RCE_{1,j} = RCE_{2,j} = RCE_j$ (Componentes iguais), tem-se:

$$RCR_j = RCE_j \left[1 + (\lambda_{ce}.t)^{\beta_{ce}} \right] \quad (5.45)$$

$$FCR_j = 1 - (1 - FCE_j) \left[1 + (\lambda_{ce}.t)^{\beta_{ce}} \right] \quad (5.46)$$

5.3.6 Arranjos funcionais de Sensores

Quando são aplicados mais de um Sensor (ou Comutador) sobre o mesmo Componente, aplica-se as mesmas equações apresentadas para arranjos “série” (item 5.3.3) ou arranjos “paralelo” (ítems 5.3.4 e 5.3.5), resultando em um “Sensor-Reduzido” (SR).



5.4 IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Na Tabela 5.1 são listados todos os Componentes do sistema, com as seguintes considerações:

- Número de Ordem:** identificação cronológica dos i -ésimos Componentes. O programa computacional RAMP (ver Capítulo 9) utiliza esta ordenação;

- b) **Código de Identificação:** identificação funcional do componente pela empresa. Não é utilizado no processamento e cálculo das Confiabilidades;
- c) **Taxa de Falha Característica (λ_{coi}):** corresponde à Taxa de Falha para a Confiabilidade $R = e^{-1} = 0,36788$ do Componente. Na Tabela 5.1 os valores indicados devem ser multiplicados por 10^{-6} ;
- d) **Parâmetro de Forma (β_{coi}):** a influência de seu valor na Confiabilidade (RCO_i) dos Componentes foi indicada na Figura 2.1. Os valores de β_{coi} admitidos são apresentados na Tabela 5.1.

5.5 IDENTIFICAÇÃO DOS SENSORES OU COMUTADORES

Na Tabela 5.2 são listados todos os Sensores ou Comutadores utilizados no sistema. Valem as mesmas considerações apresentadas no item anterior (5.4), com as seguintes observações:

- a) Pode ocorrer a utilização de mais de um elemento em cada posição, motivo da utilização do índice “p” na sua identificação ($SO_{i,p}$);
- b) Conforme o arranjo físico (Série/Paralelo), calcula-se o valor da Confiabilidade do Componente-Reduzido e depois os valores de λ_{soi} e β_{soi} para a redução efetuada.

Tabela 5.1: Identificação dos Componentes do Sistema e valores das Taxas de falhas e Parâmetros de forma

R A M F				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de Falha (Lc) e Parametro de Forma (Bc) dos Componentes				
(Seu componente insira Lc = 0 e Bc = 1)				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Taxa Falha (Lc)	Param. Forma (Bc)
01)	0120.08	Linha de Alimentacao de MP1	53.24	1.41
02)	0101.00	Linha de Alimentacao de Reagente	45.60	1.23
03)	0114.00	Linha de Alimentacao de MP4	66.72	1.54
04)	0110.00	Linha de Alimentacao de MP5	48.97	1.22
05)	0202.00	Linha de Alimentacao de Agua a 25 C °....	77.40	1.37
06)	0204.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 180 # ...	92.85	1.45
07)	0206.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 300 # ...	89.60	1.32
08)	2000.00	Banho de Temperatura Controlada	10.41	1.21
09)	0120.03	Transmissor de Controle Pressao/Succao ..	15.35	2.33
10)	0120.04	Valvula de Controle Pressao/Succao	19.80	2.75
11)	1565.00	Tanque Pulmao de MP1	8.71	1.51
12)	0731.00	Bomba de MP1	105.40	2.45
13)	1812.01	Misturador de MP1	46.55	1.74
14)	1812.02	Misturador de MP1	46.55	1.74
15)	0802.00	Bomba A de MP1	28.53	2.62
16)	0803.00	Bomba B de MP1	28.53	2.62
17)	0120.05	Valvula de 3 vias, A	20.21	3.03
18)	0120.06	Valvula de 3 vias, B	20.21	3.03
19)	0206.02	Valvula de Controle de Fluxo,Vapor 200 #.	6.99	2.25
20)	0206.03	Valvula de Controle de Fluxo,agua 25 C °.	17.14	3.17
21)	2316.00	Trocador de Calor, Reagente	14.17	4.22
22)	1520.00	Tanque de Reagente, Selagem	11.12	3.95
23)	0505.00	Bomba de Reagente, Selagem	12.13	3.74
24)	2318.00	Resfriador de Reagente, Selagem	33.22	2.45
25)	0204.01	Controlador de Temperatura	20.45	1.36
26)	0101.34	Transmissor de Controlador de Fluxo	13.15	2.85
27)	0101.35	Valvula de Controle de Fluxo	10.44	1.27
28)	1201.00	Misturador	13.17	1.85
29)	1539.00	Tanque de Suprimento de MP4	31.12	3.44
30)	0508.00	Bomba de Suprimento de MP4	41.67	2.43
31)	2319.00	Aquecedor de MP4	28.76	3.16
32)	1813.00	Filtro de MP4	231.00	2.42
33)	1913.00	Amortecedor de Alimentacao de MP4	11.14	1.16
34)	0114.02	Transmissor de Fluxo	39.68	1.75
35)	0114.03	Valvula de Controle de Fluxo	26.49	2.93
36)	1543.00	Tanque de Suprimento de MP5	13.85	4.11
37)	0509.00	Bomba de Suprimento de MP5	35.50	2.65
38)	2315.00	Aquecedor de MP5	31.06	3.35
39)	1815.00	Filtro de MP5	194.20	2.56
40)	1915.00	Amortecedor da Alimentacao de MP5	15.75	4.08
41)	0110.02	Transmissor de Fluxo de MP5	48.67	2.97
42)	0110.03	Valvula de Controle de Fluxo de MP5	41.50	2.68
43)	1302.00	Reator	103.80	1.78
44)	0809.00	Bomba	42.65	2.14
45)	4711.00	Viscosimetro	24.69	1.99
46)	0706.00	Bomba	45.81	2.30
Deseja modificar algum valor desta tela ? (S/N)				

Tabela 5.3: Identificação dos Sensores utilizados no Sistema e valores das Taxas de falhas e Parâmetros de forma

RAMP				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de Falha (Ls) e Parâmetro de Forma (Bs) dos Sensores				
(Com sensor perfeito insira Ls = 0 e Bs = 1)				
Índice Cod. de Identif.	Descrição do Sensor	Taxa Falha (Ls)	Param. Forma (Bs)	
01)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
02)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
03)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
04)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
05)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
06)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
07)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
08)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
09)	-----	Pressão de Alimentação de MP1, Alarma	8.25	1.72
10)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
11)	1565.01	Nível do Tanque de MP1, Alarma	16.30	1.46
12)	0120.02	Pressão da Bomba de MP1, Alarma	13.17	1.84
13)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
14)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
15)	0120.07	Pressão da Bomba A de MP1, Alarma	24.30	1.95
16)	0120.08	Pressão da Bomba B, Alarma	24.30	1.95
17)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
18)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
19)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
20)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
21)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
22)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
23)	0101.03	Pressão de Reagente	5.47	2.07
24)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
25)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
26)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
27)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
28)	0120.09	Pressão de Saída do Misturador	14.78	1.16
29)	-----	Nível do Tanque Supria. MP4, Alarma	9.75	1.54
30)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
31)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
32)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
33)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
34)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
35)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
36)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
37)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
38)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
39)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
40)	-----	Componente sem Sensor	100.00	1.00
41)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
42)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
43.1)	0120.10	Temperatura de Entrada Reator	27.23	2.65
43.2)	0124.06	Temperatura de Saída Reator	22.50	2.35
44)	0124.01	Pressão da Bomba	19.82	1.41
45)	0124.04	Temperatura	26.28	2.07
46.1)	0124.02	Pressão de Sucção	10.52	1.87
46.2)	0124.03	Pressão de Descarga	8.25	1.74
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)				

Capítulo 6

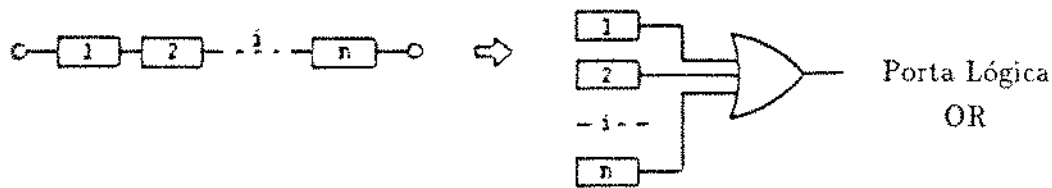
MODELO MANTENABILÍSTICO

6.1 ARRANJOS FUNCIONAIS

Para os Arranjos “série” ou “paralelo” são adotadas as seguintes condições, baseadas nas analogias apresentadas nas Figuras 1.9 e 3.1 :

6.1.1 Arranjo Série

Todos os elementos devem ser recolocados (bons), no sentido da Manutenibilidade para o sistema ser recolocado em serviço (reparado), ou seja,



com a **Mantenabilidade total** (MT) dada por :

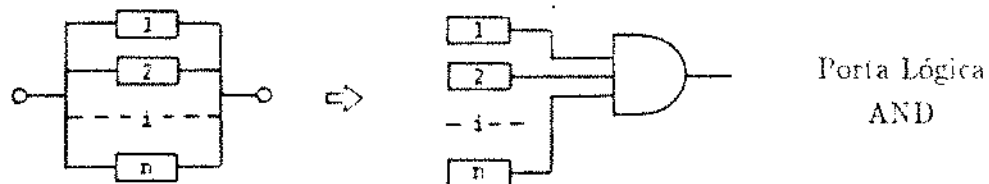
$$MT = \prod_{i=1}^n M_i = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_n, \quad (6.1)$$

com a correspondente **Não-Mantenabilidade total** (NT),

$$NT = 1 - \prod_{i=1}^n M_i = 1 - (1 - N_1) \cdot (1 - N_2) \cdot \dots \cdot (1 - N_n). \quad (6.2)$$

6.1.2 Arranjo Paralelo

Pelo menos um elemento, dentre os “n” elementos do sistema deve ser reparado para que o sistema seja recolocado em serviço, ou seja,



com uma **Mantenabilidade total** (MT)

$$MT = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - M_i) = 1 - (1 - M_1)(1 - M_2) \dots (1 - M_n), \quad (6.3)$$

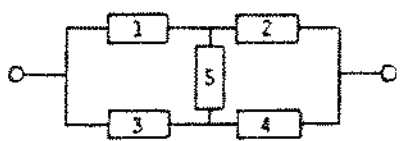
e uma **Não-Mantenabilidade total** (NT),

$$NT = \prod_{i=1}^n N_i = N_1.N_2 \dots N_n. \quad (6.4)$$

aplicáveis a sistemas com redundâncias ativas, com apenas um elemento “bom” entre “n” elementos $[1/n]$.

6.1.3 Arranjos Compostos

Aplica-se o Teorema de Bayes, de modo análogo ao apresentado no capítulo 5.1.3, ou seja,



$$\begin{aligned}
 MT = & M_1.M_2 + M_3.M_4 + M_1.M_4.M_5 + \\
 & + M_2.M_3.M_5 - M_1.M_2.M_3.M_4 - \\
 & - M_1.M_2.M_4.M_5 - M_1.M_2.M_3.M_5 - \\
 & - M_2.M_3.M_4.M_5 - M_1.M_2.M_4.M_5 + \\
 & + 2.M_1.M_2.M_3.M_4.M_5
 \end{aligned} \quad (6.5)$$

com uma **Não-Mantenabilidade Total** (NT),

$$NT = 1 - MT \quad (6.6)$$

Quando $N_i = N$ e $M_i = M$, constantes, resulta:

$$MT = 2M^2 + 2M^3 - 5M^4 + 2M^5 \quad (6.7)$$

$$NT = 2(1 - N)^2 + 2(1 - N)^3 - 5(1 - N)^4 + 2(1 - N)^5 \quad (6.8)$$

6.2 COMPOSIÇÕES E EQUIVALÊNCIAS

Valem as mesmas considerações apresentadas no capítulo 5.2, resultando **Componentes-reduzidos** para arranjos série, paralelo ou compostos, bem como os mesmos procedimentos de identificação dos componentes.

6.3 EQUAÇÕES DAS MANTENABILIDADES

6.3.1 Componentes e Sensores

Para cada i -ésimo Componente (CO_i) ou Sensor (SO_i) do sistema, as respectivas equações das Não-Mantenabilidades, segundo a distribuição de Weibull, são :

Componentes: 

$$\left[\begin{array}{l} NCO_i = e^{-(\mu_{ci}.t)^{\gamma_{ci}}} \quad (6.9) \\ MSO_i = 1 - e^{-(\mu_{ci}.t)^{\gamma_{ci}}} \quad (6.10) \end{array} \right.$$

Sensores: 

$$\left[\begin{array}{l} NSO_i = e^{-(\mu_{si}.t)^{\gamma_{si}}} \quad (6.11) \\ MSO_i = 1 - e^{-(\mu_{si}.t)^{\gamma_{si}}} \quad (6.12) \end{array} \right.$$

onde:

- NCO_i = Não-Mantenabilidade i -ésimo Componente (CO_i);
- μ_{ci} = Taxa característica de Recolocação do Componente;
- γ_{ci} = Parâmetro de forma da Recolocação do Componente;
- NSO_i = Não-Mantenabilidade i -ésimo Sensor (SO_i);
- μ_{si} = Taxa característica de Recolocação do Sensor;
- γ_{si} = Parâmetro de forma da Recolocação do Sensor;
- t = Vida do Componente ou sensor (tempo, número de ciclos, kilometragem, etc).

O valor das Taxas características (μ_{ci} , μ_{si}) correspondem à Não-Mantenabilidade $N = e^{-1} = 0.36788$.

6.3.2 Componente-equivalente

A aplicação de um Sensor (SO_i) a um Componente (CO_i) resulta em uma Não-Mantenabilidade (NCE_i) do Componente-Equivalente (CE_i) ao conjunto Componente/Sensor, dada

por :

$$NCE_i = NCO_i [1 + (\mu_{ci}t)^{\gamma_{ci}} \cdot MSO_i] \quad (6.13)$$

e uma **Mantenabilidade** (MCE_i),

$$MCE_i = 1 - NCE_i$$

obtidas por analogia com a dedução apresentada no Capítulo 5.3.2.

Quando o Sensor é perfeito ($TMAR = 0, \mu_{si} = \infty$) resulta $MSO_i = 1$ e portanto,

$$NCE_i = NCO_i [1 + (\mu_{ci}t)^{\gamma_{ci}}] \quad (6.14)$$

$$MCE_i = 1 - NCE_i = 1 - NCO_i [1 + (\mu_{ci}t)^{\gamma_{ci}}] \quad (6.15)$$

Quando não existe Sensor ($TMAR = \infty, \mu_{si} = 0$) resulta $MSO_i = 0$, e conseqüentemente,

$$NCE_i = NCO_i \quad (6.16)$$

$$MCE_i = MCO_i \quad (6.17)$$

ou seja, o **Componente-equivalente** (CE_i) corresponde ao próprio Componente (CO_i).

De modo análogo ao desenvolvido no Capítulo 5.3.2, resultam os seguintes valores para as Taxas Características ($\mu_{ce,i}$) de Recolocação em serviço e Parâmetro de forma ($\gamma_{ce,i}$) dos **Componentes-equivalentes** :

$$\mu_{ce,i} = e^{\left[\frac{\ln[-\ln NCE_{i,1}] \cdot \ln \mu_{ci} - \ln[-\ln NCE_{i,2}] \cdot \ln(2\mu_{ci})}{\ln[-\ln NCE_{i,1}] - \ln[-\ln NCE_{i,2}]} \right]} \quad (6.18)$$

com :

$$NCE_{i,1} = e^{-(0.5)^{\gamma_{ce}}} \cdot [1 + (0.5)^{\gamma_{ce}} \cdot e^{-\left(\frac{\mu_{si}}{2\mu_{ci}}\right)^{\gamma_{si}}}] \quad (6.19)$$

$$NCE_{i,2} = e^{-(1)} \cdot [1 + e^{-\left(\frac{\mu_{si}}{\mu_{ci}}\right)^{\gamma_{si}}}] \quad (6.20)$$

$$\gamma_{ce,i} = \frac{\ln[-\ln NCE_{i,1}]}{\ln \mu_{ce,i} - \ln(2\mu_{ce,i})} \quad (6.21)$$

É interessante notar-se que o Sensor sempre reduz a **Mantenabilidade** (MCE_i) de cada i -ésimo Componente, pois suas falhas implicam em paradas para recolocação (reparo). Porisso, para $\mu_s \neq \infty$ (sensor não perfeito), resulta $\mu_{ce,i} < \mu_{ci}$ e $\gamma_{ce,i} < \gamma_{ci}$, como pode ser notado nas Figuras 6.1 e 9.36.

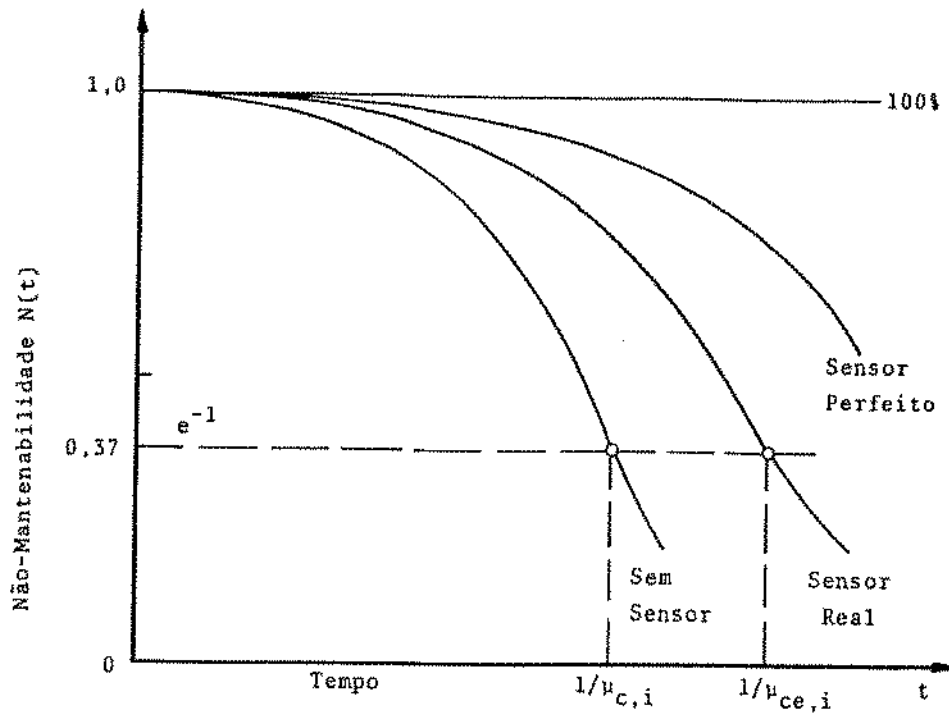


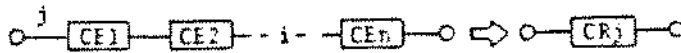
Figura 6.1: Influência de um Sensor sobre a Não-Mantenabilidade do Componente

6.3.3 Arranjos Série

O j -ésimo Componente-reduzido (CR_j) por Arranjo Série, conforme equações 6.1 e 6.2, apresentam as seguintes Não-Mantenabilidades (NCR_j) e Manutenbilidades (MCR_j),

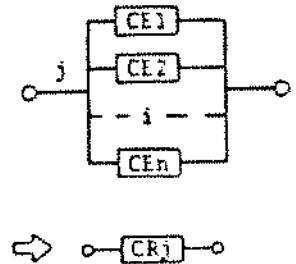
$$MCR_j = \prod_{i=1}^n MCE_{i,j} = MCE_{1,j} \cdot MCE_{2,j} \dots MCE_{n,j} \quad (6.22)$$

$$\begin{aligned} NCR_j &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - NCE_{i,j}) \\ &= 1 - (1 - NCE_{1,j}) \cdot (1 - NCE_{2,j}) \dots (1 - NCE_{n,j}) \end{aligned} \quad (6.23)$$



6.3.4 Arranjos Paralelos, com Redundância ativa

a) Um componente bom entre "n" Componentes



Conforme equações (6.3 e (6.4), resulta :

$$\begin{aligned} MCR_j &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - NCE_{i,j}) \\ &= 1 - (1 - NCE_{1,j}) \cdot (1 - NCE_{2,j}) \dots (1 - NCE_{n,j}) \end{aligned} \quad (6.24)$$

$$NCR_j = \prod_{i=1}^n NCE_{i,j} = NCE_{1,j} \cdot NCE_{2,j} \dots NCE_{n,j} \quad (6.25)$$

Exemplos :

I - 1 bom em 2 [1/2]



$$\begin{aligned} MCR_j &= 1 - (1 - MCR_{1,j}) \cdot (1 - MCR_{2,j}) = \\ &= MCR_{1,j} + MCR_{2,j} - MCR_{1,j} \cdot MCR_{2,j} \end{aligned} \quad (6.26)$$

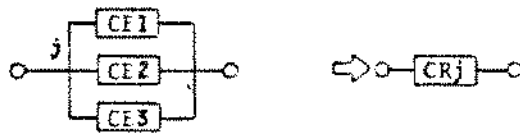
$$NCR_j = NCE_{1,j} \cdot NCE_{2,j} \quad (6.27)$$

Quando $CE_{1,j} = CE_{2,j} = CE_j$ (componentes iguais), resulta:

$$MCR_j = 2 \cdot MCE_j - (MCE_j)^2 \quad (6.28)$$

$$NCR_j = (NCE_j)^2 \quad (6.29)$$

II - 1 bom em 3 [1/3]



$$MCR_j = 1 - (1 - MCE_{1,j}) \cdot (1 - MCE_{2,j}) \cdot (1 - MCE_{3,j}) \quad (6.30)$$

$$NCR_j = NCE_{1,j} \cdot NCE_{2,j} \cdot NCE_{3,j} \quad (6.31)$$

Quando tem-se componentes iguais (MCE_J), resulta :

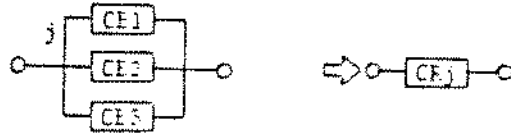
$$MCR_j = 3.MCE_j - 3.(MCE_j)^2 + (MCE_j)^3 \quad (6.32)$$

$$NCR_j = (NCE_j)^3 \quad (6.33)$$

b) "k" Componentes bons entre "n" equipamentos [k/n]

Para Componentes diferentes, utiliza-se o Princípio das Probabilidades Compostas.

No caso particular de 2 componentes bons em 3, ou seja [2/3], resulta :



$$MCR_j = MCE_{1,j}.MCE_{2,j}.MCE_{3,j} + MCE_{1,j}.MCE_{2,j}.(1 - MCE_{3,j}) + \\ MCE_{1,j}.MCE_{3,j}.(1 - MCE_{2,j}) + MCE_{2,j}.MCE_{3,j}.(1 - MCE_{1,j}) \quad (6.34)$$

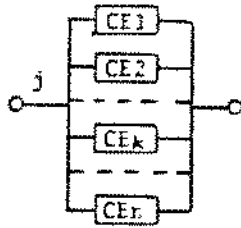
e quando os componentes são iguais ($MCE_J = \text{constante}$),

$$MCR_j = 3.(MCE_j)^2 - 2.(MCE_j)^3 \quad (6.35)$$

e conseqüentemente,

$$NCR_j = 1 - MCR_j = 3.(NCE_j)^2 - 2.(NCE_j)^3 \quad (6.36)$$

No caso geral, com "k" Componentes bons entre "n" Componentes iguais [k/n], por analogia com a equação (5.22), resulta :



$$MCR_j = 1 - \sum_{r=0}^n \binom{n}{r} (MCE_j)^r . (MCE_j)^{n-r} \quad (6.37)$$

$$NCR_j = \sum_{r=0}^n \binom{n}{r} (MCE_j)^r \cdot (MCE_j)^{n-r} \quad (6.38)$$

com

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (6.39)$$

Para o caso particular [2/3], resolvendo-se de modo análogo ao apresentado no capítulo 5.3.4, tem-se as seguintes equações :

$$MCR_j = 1 - \sum_{k=0}^1 \binom{3}{k} (MCE_j)^k \cdot (MCE_j)^{3-k} = \quad (6.40)$$

$$= 3 \cdot (MCE_j)^2 - 2 \cdot (MCE_j)^3 \quad (6.41)$$

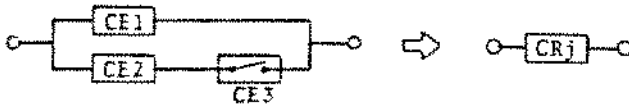
$$NCR_j = \sum_{k=0}^1 \binom{3}{k} (NCE_j)^k \cdot (NCE_j)^{3-k} = \quad (6.42)$$

$$= 3 \cdot (NCE_j)^2 - 2 \cdot (NCE_j)^3 \quad (6.43)$$

6.3.5 Arranjos Paralelos com redundância passiva (espera)

a) Comutador real (com falha)

Para dois Componentes-equivalentes diferentes (CE_1, CE_2) e Comutador real (CE_3), tem-se uma Não-Mantenabilidade NCR_j , e uma Manutenabilidade MCR_j , por semelhança lógica à apresentada no Capítulo 5.3.2, dadas por:



$$NCR_j = NCE_{1,j} + q \cdot [NCE_{1,j} - NCE_{2,j}] \cdot MCE_{3,j} \quad (6.44)$$

$$MCR_j = MCE_{1,j} - q \cdot [MCE_{2,j} - MCE_{1,j}] \cdot MCE_{3,j} \quad (6.45)$$

com

$$q = \frac{1}{1 - \frac{\mu_{ce,2}}{\mu_{ce,1}} \cdot f^{\gamma_{ce,2} - \gamma_{ce,1}}} \quad (6.46)$$

Quando $NCE_{1,j} = NCE_{2,j} = NCE_j$ (Componentes iguais), resulta (passagem ao limite),

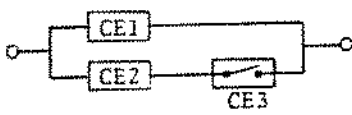
$$NCR_j = NCE_{1,j} [1 + (\mu_0.t)^{\gamma_0} . MCE_{3,j}] \quad (6.47)$$

$$MCR_j = 1 - (1 - MCE_j) [1 + (\mu_0.t)^{\gamma_0} . MCE_{3,j}] \quad (6.48)$$

onde $\mu_0 = \mu_{ce,1} = \mu_{ce,2}$ e $\gamma_0 = \gamma_{ce,1} = \gamma_{ce,2}$ são os parâmetros dos componentes iguais (CE_j).

b) Comutador Perfeito (recolocação instantânea)

Neste caso, para dois componentes diferentes ($CE_{1,j}, CE_{2,j}$), e Comutador perfeito ($MCE_{3,j} = 1, NCE_{3,j} = 0$), resulta :



$$NCR_j = NCE_{1,j} + q . [NCE_{1,j} - NCE_{2,j}] \quad (6.49)$$

$$MCR_j = MCE_j - q . [MCE_{2,j} - MCE_{1,j}] \quad (6.50)$$

e para Componentes iguais,

$$NCR_j = NCE_{1,j} [1 + (\mu_0.t)^{\gamma_0}] \quad (6.51)$$

$$MCR_j = 1 - (1 - MCE_j) [1 + (\mu_0.t)^{\gamma_0}] \quad (6.52)$$

6.3.6 Arranjos funcionais de Sensores

Para aplicação de Sensores na forma de arranjos série ou paralelo é utilizada a mesma metodologia apresentada para componentes (Capítulos 6.1 a 6.3.5).

6.4 IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DA MANTE- NABILIDADE

Na Tabela 6.1 são apresentados os valores adotados para as Taxas características de recolocação em serviço (μ_{ci}) e Parâmetros de forma (γ_{ci}) dos Componentes, e na Tabela 6.2 os correspondentes valores (μ_{si} e γ_{si}) para os Sensores.

Tabela 6.1: Identificação dos Componentes e valores das Taxas de recolocação em serviço e Parâmetros de forma

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de RS(Mc) e Parametro de Forma de RS(Gc) dos Componentes				
(Onde RS significa "Recolocacao em Servico")				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Taxa RS (Mc)	Param. RS (Gc)
01)	0120.00	Linha de Alimentacao de MP1	10600.00	1.41
02)	0101.00	Linha de Alimentacao de Reagente	14500.00	3.62
03)	0114.00	Linha de Alimentacao de MP4	19050.00	3.87
04)	0110.00	Linha de Alimentacao de MP5	11750.00	4.05
05)	0202.00	Linha de Alimentacao de Agua a 25 C °.....	21400.00	3.73
06)	0204.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 180 #	17050.00	5.26
07)	0206.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 300 #	19100.00	4.55
08)	2000.00	Banco de Temperatura Controlada	45650.00	4.39
09)	0120.03	Transmissor de Controle Pressao/Succao	50200.00	4.25
10)	0120.04	Valvula de Controle Pressao/Succao	55050.00	6.64
11)	1565.00	Tanque Pulmao de MP1	60450.00	6.15
12)	0731.00	Bomba de MP1	6800.00	3.91
13)	1812.01	Misturador de MP1	15050.00	5.83
14)	1812.02	Misturador de MP1	15050.00	4.09
15)	0802.00	Bomba A de MP1	8350.00	4.09
16)	0803.00	Bomba B de MP1	8350.00	6.17
17)	0120.05	Valvula de 3 vias, A	22800.00	5.58
18)	0120.06	Valvula de 3 vias, B	22800.00	5.58
19)	0206.02	Valvula de Controle de Fluxo,Vapor 200 #.	46700.00	3.93
20)	0206.03	Valvula de Controle de Fluxo,agua 25 C °.	41950.00	3.74
21)	2316.00	Trocador de Calor, Reagente	61450.00	4.27
22)	1520.00	Tanque de Reagente, Selagem	12200.00	3.88
23)	0505.00	Bomba de Reagente, Selagem	9150.00	6.05
24)	2318.00	Resfriador de Reagente, Selagem	25500.00	4.42
25)	0204.01	Controlador de Temperatura	44800.00	6.25
26)	0101.34	Transmissor do Controlador de Fluxo	37700.00	6.91
27)	0101.35	Valvula de Controle de Fluxo	32150.00	4.49
28)	1201.00	Misturador	16450.00	3.71
29)	1539.00	Tanque de Suprimento de MP4	97150.00	4.05
30)	0508.00	Bomba de Suprimento de MP4	27600.00	6.62
31)	2319.00	Aquecedor de MP4	32100.00	4.63
32)	1813.00	Filtro de MP4	125500.00	7.90
33)	1913.00	Amortecedor de Alimentacao de MP4	65050.00	5.26
34)	0114.02	Transmissor de Fluxo	72250.00	7.71
35)	0114.03	Valvula de Controle de Fluxo	43300.00	5.93
36)	1543.00	Tanque de Suprimento de MP5	81150.00	3.82
37)	0509.00	Bomba de Suprimento de MP5	25650.00	6.55
38)	2315.00	Aquecedor de MP5	31900.00	3.97
39)	1815.00	Filtro de MP5	114200.00	7.51
40)	1915.00	Amortecedor da Alimentacao de MP5	95050.00	4.66
41)	0110.02	Transmissor de Fluxo de MP5	44350.00	6.25
42)	0110.03	Valvula de Controle de Fluxo de MP5	26650.00	5.62
43)	1302.00	Reator	11100.00	3.65
44)	0809.00	Bomba	22450.00	6.87
45)	4711.00	Viscosimetro	25550.00	5.51
46)	0706.00	Bomba	28650.00	7.03
Deseja modificar algum valor desta tela ? (S/N)				

Tabela 6.2: Identificação dos Sensores (ou Comutadores) e valores das Taxas de recolocação em serviço e Parâmetros de forma

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de RS(Ms) e Parametro de Forma de RS(Gs) do Sensores (Onde RS significa "Recolocacao em Servico")				
Indice Cod. de Identif.		Descricao do Sensor	Taxa RS	Param. RS (Ms) (Gs)
01)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
02)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
03)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
04)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
05)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
06)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
07)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
08)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
09)	-----	Pressao de Alimentacao de MP1, Alarma	58600.00	3.89
10)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
11)	1565.01	Nivel do Tanque de MP1, Alarma	63400.00	5.75
12)	0120.02	Pressao da Bomba de MP1, Alarma	35500.00	4.23
13)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
14)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
15)	0120.07	Pressao da Bomba A de MP1, Alarma	41650.00	6.24
16)	0120.08	Pressao da Bomba B, Alarma	57750.00	7.12
17)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
18)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
19)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
20)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
21)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
22)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
23)	0101.03	Pressao da Reagente	68050.00	5.94
24)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
25)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
26)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
27)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
28)	0120.09	Pressao da Saida do Misturador	71350.00	4.66
29)	-----	Nivel do Tanque Supria MP4, Alarma	60000.00	4.60
30)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
31)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
32)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
33)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
34)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
35)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
36)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
37)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
38)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
39)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
40)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
41)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
42)	-----	Componente sem Sensor		0.00 1.00
43.1)	0120.10	Temperatura de Entrada Reator	96700.00	5.94
43.2)	0124.06	Temperatura de Saida Reator	106750.00	6.07
44)	0124.01	Pressao da Bomba	112400.00	7.13
45)	0124.04	Temperatura	10850.00	7.10
46.1)	0124.02	Pressao de Succao	25650.00	6.22
46.2)	0124.03	Pressao de Descarga	57900.00	5.31
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)				

Capítulo 7

MODELO DISPONIBILÍSTICO

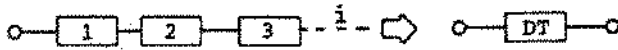
7.1 ARRANJOS FUNCIONAIS

Para os arranjos Série, Paralelo ou Compostos, são adotadas condições probabilísticas análogas às apresentadas para as Confiabilidades (Cap. 5) e Manutenibilidades (Cap. 6).

7.1.1 Arranjos Série

A Disponibilidade total (DT) de um sistema com “n” elementos é igual ao produto das Disponibilidades (D_i) dos i -ésimos elementos do sistema, ou seja,

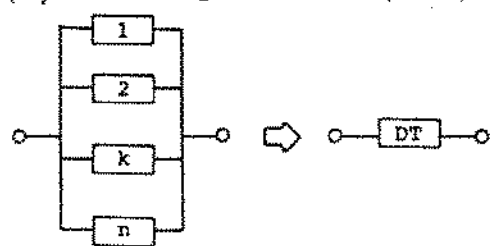
$$DT = \prod_{i=1}^n D_i = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \dots D_n. \quad (7.1)$$



Os elementos correspondem a Componentes, Sensores ou Comutadores, bem como Sub-Sistemas, utilizados no Sistema.

7.1.2 Arranjos Paralelos com Redundância Ativa

A Disponibilidade total (DT) de um sistema com “n” elementos iguais, dos quais “k” elementos são principais (ativos) do tipo $[k/n]$, é função da somatória dos produtos das Disponibilidades (D) e das Indisponibilidades ($1 - D$), dada por:



$$DT = 1 - \sum_{r=0}^{k-1} \binom{n}{r} \cdot D^r \cdot (1 - D)^{n-r}, \quad (7.2)$$

com:

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}. \quad (7.3)$$

como justificado na referência bibliográfica [9] e no Cap. 7.5.

Exemplos para casos particulares, com elementos iguais no arranjo paralelo:

$$[1/2] : DT = 2D - D^2 ; \quad (7.4)$$

$$[1/3] : DT = 3D - 3D^2 + D^3 ; \quad (7.5)$$

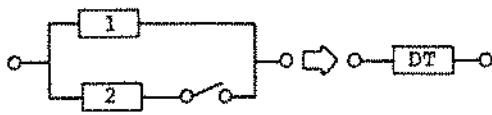
$$[2/3] : DT = 3D^2 - 2D^3 . \quad (7.6)$$

Para elementos diferentes, tem-se as relações:

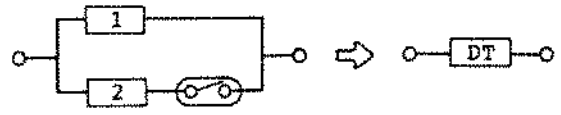
$$[1/n] : DT = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - D_i) = 1 - (1 - D_1) \cdot (1 - D_2) \dots (1 - D_n) . \quad (7.7)$$

7.1.3 Arranjos Paralelos com Reserva Passiva (Stand-by)

Neste caso, não é possível a aplicação direta do princípio das “Probabilidades Compostas”. As equações aplicáveis serão apresentadas no item 7.3.2.



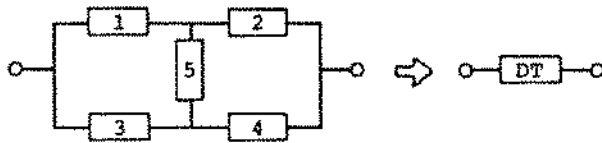
Comutação perfeita



Sensor ou Comutador real

7.1.4 Arranjos Compostos

Para cada particular arranjo aplica-se o Teorema de Bayes, como por exemplo:



Para elementos diferentes:

$$\begin{aligned} DT = & D_1 \cdot D_2 + D_3 \cdot D_4 + D_1 \cdot D_4 \cdot D_5 + D_2 \cdot D_3 \cdot D_5 - D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4 - \\ & - D_1 \cdot D_2 \cdot D_4 \cdot D_5 - D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_5 - D_2 \cdot D_3 \cdot D_4 \cdot D_5 - \\ & - D_1 \cdot D_3 \cdot D_4 \cdot D_5 + 2 \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4 \cdot D_5 . \end{aligned} \quad (7.8)$$

Quando os elementos são iguais, resulta:

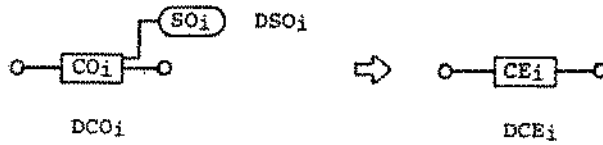
$$DT = 2D^2 + 2D^3 - 5D^4 + 2D^5 . \quad (7.9)$$

7.2 COMPOSIÇÕES E EQUIVALÊNCIAS

Visando a aplicação de programas computacionais para o cálculo das Disponibilidades de Sistemas, são utilizadas as seguintes definições, análogas às apresentadas no Capítulo 5.2.

7.2.1 Uso de Comutador ou Sensor

Resulta em um “Componente-Equivalente” (CE) dado por:



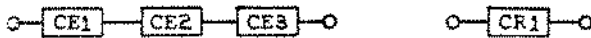
onde:

- DCO_i = Disponibilidade do i -ésimo Componente;
- DSO_i = Disponibilidade do i -ésimo Sensor(ou Comutador);
- DCE_i = Disponibilidade do i -ésimo “Componente- Equivalente).

Quando não existe Sensor ou Comutador aplicado, o Componente- Equivalente é o próprio Componente, ou seja, $DCE_i = DCO_i$, com $DSO_i = 0$.

7.2.2 Aplicação de Sucessivas Reduções Série/Paralelo

Resulta em um “Componente-reduzido” (CR) no arranjo estrutural, como por exemplo, no particular Arranjo Série:



$$DR_j = DCE_1.DCE_2.DCE_3 . \quad (7.10)$$

Neste exemplo, o j -ésimo Sub-Sistema possui 3 Componentes- Equivalentes em Série.

7.2.3 Identificação Geral dos Componentes, Sensores ou Equivalências

Utiliza-se a mesma simbologia apresentada nos Capítulos 5 e 6.

7.3 EQUAÇÕES DAS DISPONIBILIDADES

7.3.1 Componentes e Sensores

Para cada i -ésimo Componente (CO_i) ou Sensor (SO_i) do Sistema, as correspondentes equações das Disponibilidades, quando atua apenas uma equipe de manutenção, para qualquer tipo de distribuição (Weibull, Exponencial, Normal, Lognormal), serão:

Componentes:

$$\text{---} \boxed{CO_i} \text{---} \quad DCO_i = \frac{\mu_{ci}}{\lambda_{ci} + \mu_{ci}} + \frac{\lambda_{ci}}{\lambda_{ci} + \mu_{ci}} \cdot e^{-(\lambda_{ci} + \mu_{ci}) \cdot t}, \quad (7.11)$$

Sensores:

$$\text{---} \boxed{SO_i} \text{---} \quad DSO_i = \frac{\mu_{si}}{\lambda_{si} + \mu_{si}} + \frac{\lambda_{si}}{\lambda_{si} + \mu_{si}} \cdot e^{-(\lambda_{si} + \mu_{si}) \cdot t}, \quad (7.12)$$

como definido no Capítulo 4.3, onde:

- t = Vida do Componente ou Sensor (tempo);
- DCO_i = Disponibilidade do i -ésimo Componente (CO_i);
- λ_{ci} = Taxa média de falha do Componente CO_i ;
- μ_{ci} = Taxa média de Recolocação em serviço do Componente CO_i ;
- DSO_i = Disponibilidade do i -ésimo Sensor (ou Comutador) SO_i ;
- λ_{si} = Taxa média de falha do Sensor SO_i ;
- μ_{si} = Taxa média de Recolocação em serviço do Sensor SO_i ;

As equações (7.11) e (7.12) podem ser postas na forma:

Componentes

$$e^{-(\lambda_{ci} + \mu_{ci}) \cdot t} = e^{-\lambda_{ci} \cdot t} \cdot e^{-\mu_{ci} \cdot t} = RCO_i \cdot NCO_i,$$

onde:

$$RCO_i = e^{-\lambda_{ci} \cdot t}; \quad (7.13)$$

$$NCO_i = e^{-\mu_{ci} \cdot t}; \quad (7.14)$$

RCO_i = Confiabilidade do i -ésimo Componente (CO_i);

NCO_i = Não-Mantenabilidade do i -ésimo Componente (CO_i),

Sensores

$$e^{-(\lambda_{si} + \mu_{si}) \cdot t} = e^{-\lambda_{si} \cdot t} \cdot e^{-\mu_{si} \cdot t} = RSO_i \cdot NSO_i,$$

onde:

$$RSO_i = e^{-\lambda_{si} \cdot t}; \quad (7.15)$$

$$NSO_i = e^{-\mu_{si} \cdot t}; \quad (7.16)$$

RSO_i = Confiabilidade do i -ésimo Sensor (SO_i);

NSO_i = Não-Mantenabilidade do i -ésimo Sensor (SO_i),

Casos particulares

a) Não existe Manutenção (Recolocação em Serviço)

Quando $\mu_{ci} = 0$ (Componente) ou $\mu_{si} = 0$ (Sensor), resultam das equações (7.11) e (7.12),

$$\text{Componentes} : DCO_i = e^{-\lambda_{ci} \cdot t} = RCO_i, \quad (7.17)$$

$$\text{Sensores} : DSO_i = e^{-\lambda_{si} \cdot t} = RSO_i, \quad (7.18)$$

ou seja, correspondem às respectivas Confiabilidades.

b) Disponibilidade para $t = 0$ (inicial)

Das equações (7.11) e (7.12) resulta $DCO_i = 1$ e $DSO_i = 1$, ou seja, corresponde a 100% de Disponibilidade, para o caso de Elemento bom (Disponível) no tempo $t = 0$.

c) Disponibilidade Limite - Caso geral

O valor limite das Disponibilidades para $t = \infty$, ou seja, após um grande tempo de operação, resulta das equações (7.11) e (7.12):

$$\text{Componentes} : DCO_{i,l} = \lim_{t \rightarrow \infty} DCO_i = \frac{\mu_{ci}}{\mu_{ci} + \lambda_{ci}}, \quad (7.19)$$

$$\text{Sensores} : DSO_{i,l} = \lim_{t \rightarrow \infty} DSO_i = \frac{\mu_{si}}{\mu_{si} + \lambda_{si}}. \quad (7.20)$$

d) Indisponibilidade Limite - Caso geral

As Indisponibilidades Limites para Componentes ($ICO_{i,l}$) e Sensores ($ISO_{i,l}$) são dadas por:

$$\text{Componentes} : ICO_{i,l} = 1 - DCO_{i,l} = 1 - \frac{\mu_{ci}}{\mu_{ci} + \lambda_{ci}} = \frac{\lambda_{ci}}{\mu_{ci} + \lambda_{ci}}, \quad (7.21)$$

$$\text{Sensores} : ISO_{i,l} = 1 - DSO_{i,l} = 1 - \frac{\mu_{si}}{\mu_{si} + \lambda_{si}} = \frac{\lambda_{si}}{\mu_{si} + \lambda_{si}}. \quad (7.22)$$

e) **Forma reduzida da equação geral da Disponibilidade**

Considerando-se as equações (7.13) a (7.16), bem como as equações (7.19) a (7.22), resultam as equações simplificadas,

$$\text{Componentes} : DCO_i = DCO_{i,l} + ICO_{i,l} \cdot RCO_i \cdot NCO_i, \quad (7.23)$$

$$\text{Sensores} : DSO_i = DSO_{i,l} + ISO_{i,l} \cdot RSO_i \cdot NSO_i, \quad (7.24)$$

que mostram a dependência da Disponibilidade em relação à Disponibilidade Limite, Indisponibilidade Limite, Confiabilidade e Não-Mantenabilidade. A forma simplificada facilita a elaboração de programa computacional.

f) **Influência das Taxas de falhas e Recolocação em Serviço**

Para a distribuição de Weibull, as Taxas médias de falha (λ_{ci}) e as Taxas médias de Recolocação em Serviço (μ_{ci}), do Componente CO_i , referidas a um dado intervalo de tempo $[0, t]$, são dadas respectivamente (Equações 2.23 e 3.15) por:

$$\text{Falha} : \lambda_{ci} = \lambda_{coi}^{\beta_{ci}} \cdot t^{\beta_{ci}-1}, \quad (7.25)$$

onde: β_{ci} = Parâmetro de forma da falha do Componente CO_i ;
 λ_{coi} = Taxa característica de falha .

$$\text{Recolocação em serviço} : \mu_{ci} = \mu_{coi}^{\gamma_{ci}} \cdot t^{\gamma_{ci}-1}, \quad (7.26)$$

onde: γ_{ci} = Parâmetro de forma da Recolocação em serviço ;
 μ_{coi} = Taxa característica de Recolocação em serviço.

As Taxas médias de falha (λ_{si}) e de Recolocação em serviço (μ_{si}) dos Sensores SO_i são dadas respectivamente por :

$$\text{Falha} : \lambda_{si} = \lambda_{soi}^{\beta_{si}} \cdot t^{\beta_{si}-1}, \quad (7.27)$$

onde: β_{si} = Parâmetro de forma da falha do Sensor SO_i ;
 λ_{soi} = Taxa característica de falha .

$$\text{Recolocação em serviço} : \mu_{si} = \mu_{soi}^{\gamma_{si}} \cdot t^{\gamma_{si}-1}, \quad (7.28)$$

onde: γ_{si} = Parâmetro de forma da Recolocação em serviço do Sensor SO_i ;
 μ_{soi} = Taxa característica de Recolocação em serviço.

Para a distribuição Exponencial, onde $\beta_{ci} = \gamma_{ci} = 1$ (Componentes) e $\beta_{si} = \gamma_{si} = 1$ (Sensores), resulta :

Componentes

$$\text{a) Falha} \quad : \quad \lambda_{ci} = \lambda_{coi} , \quad (7.29)$$

$$\text{b) Recolocação em serviço} \quad : \quad \mu_{ci} = \mu_{coi} , \quad (7.30)$$

Sensores

$$\text{a) Falha} \quad : \quad \lambda_{si} = \lambda_{soi} , \quad (7.31)$$

$$\text{b) Recolocação em serviço} \quad : \quad \mu_{si} = \mu_{soi} . \quad (7.32)$$

g) Disponibilidade Limite para Weibull

Substituindo os valores dados pelas equações (7.25) a (7.28) nas equações (7.19) e (7.20), resultam as Disponibilidades Limites :

$$\text{Componentes} \quad : \quad DCO_{i,l} = 1/1 + \frac{\lambda_{coi}^{\beta_{ci}}}{\mu_{coi}^{\gamma_{ci}}} t^{\beta_{ci}-\gamma_{ci}} , \quad (7.33)$$

$$\text{Sensores} \quad : \quad DSO_{i,l} = 1/1 + \frac{\lambda_{soi}^{\beta_{si}}}{\mu_{soi}^{\gamma_{si}}} t^{\beta_{si}-\gamma_{si}} , \quad (7.34)$$

cujos valores são dependentes do tempo (t). Na Figura 7.1 são apresentadas as variações típicas dos valores calculados, para um dado exemplo de aplicação. No caso particular de $\beta_{ci} = \gamma_{ci}$, as Disponibilidades Limites apresentam valores constantes, independentes do tempo, de modo análogo à distribuição Exponencial, a seguir apresentada.

h) Disponibilidade Limite para Exponencial

Sendo neste caso $\beta_{ci} = \gamma_{ci} = 1$ e $\beta_{si} = \gamma_{si} = 1$, resulta :

$$\text{Componentes} \quad : \quad DCO_{i,l} = \frac{\mu_{coi}}{\mu_{coi} + \lambda_{coi}} = \text{constante} , \quad (7.35)$$

$$\text{Sensores} \quad : \quad DSO_{i,l} = \frac{\mu_{soi}}{\mu_{soi} + \lambda_{soi}} = \text{constante} . \quad (7.36)$$

Na Figura 7.2 são apresentados os valores calculados para o exemplo adotado (Exponencial).

i) Indisponibilidade Limite para Weibull

Substituindo-se os valores dados pelas equações (7.25) a (7.28) nas equações (7.21) e (7.22) resultam as Indisponibilidades Limites :

$$\text{Componentes} \quad : \quad ICO_{i,l} = 1/1 + \frac{\mu_{coi}^{\gamma_{ci}}}{\lambda_{coi}^{\beta_{ci}}} t^{\gamma_{ci}-\beta_{ci}} , \quad (7.37)$$

$$\text{Sensores} : ICO_{i,l} = 1 / \left(1 + \frac{\mu_{soi}^{\gamma_{si}}}{\lambda_{soi}^{\beta_{si}}} . t^{\gamma_{si} - \beta_{si}} \right), \quad (7.38)$$

cujos valores são dependentes do tempo (t).

j) **Indisponibilidade Limite para Exponencial**

Sendo neste caso $\beta_{ci} = \gamma_{ci} = 1$ e $\beta_{si} = \gamma_{si} = 1$, resultam as equações :

$$\text{Componentes} : ICO_{i,l} = \frac{\lambda_{coi}}{\mu_{coi} + \lambda_{coi}}, \quad (7.39)$$

$$\text{Sensores} : ISO_{i,l} = \frac{\lambda_{soi}}{\mu_{soi} + \lambda_{soi}}. \quad (7.40)$$

k) **Disponibilidade Complementar à Disponibilidade Limite**

As equações (7.23) e (7.24) podem ser postas na forma :

$$\text{Componentes} : DCO_i = DCO_{i,l} + \Delta DCO_i, \quad (7.41)$$

$$\text{Sensores} : DSO_i = DSO_{i,l} + \Delta DSO_i, \quad (7.42)$$

onde ΔDCO_i e ΔDSO_i correspondem às Disponibilidades Complementares dos Componentes e Sensores, respectivamente.

Para a distribuição de **Weibull** resultam os valores :

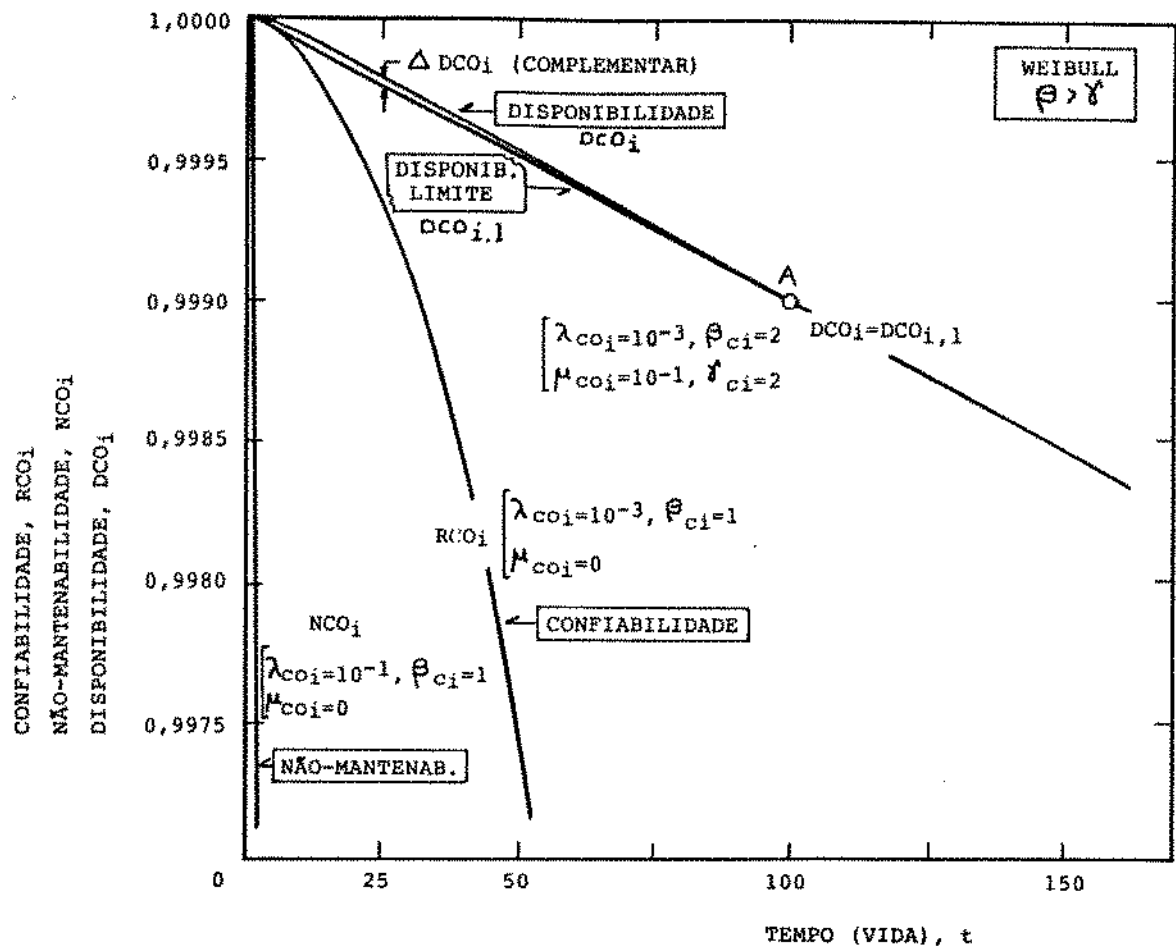
$$\Delta DCO_i = \frac{1}{1 + \frac{\mu_{coi}^{\gamma_{ci}}}{\lambda_{coi}^{\beta_{ci}}} . t^{\gamma_{ci} - \beta_{ci}}} . e^{-[(\lambda_{coi}.t)^{\beta_{ci}} + (\mu_{coi}.t)^{\gamma_{ci}}]}, \quad (7.43)$$

$$\Delta DSO_i = \frac{1}{1 + \frac{\mu_{soi}^{\gamma_{si}}}{\lambda_{soi}^{\beta_{si}}} . t^{\gamma_{si} - \beta_{si}}} . e^{-[(\lambda_{soi}.t)^{\beta_{si}} + (\mu_{soi}.t)^{\gamma_{si}}]}, \quad (7.44)$$

Na Figura 7.1 é apresentado um exemplo de aplicação da equação (7.43), onde nota-se que após um dado valor do tempo (t) resulta praticamente ΔDCO_i , ou seja, a Disponibilidade (DCO_i) é a própria Disponibilidade Limite ($DCO_{i,l}$). Verifica-se também na Figura 7.1, para os valores admitidos, a pequena influência de ΔDCO_i , cujo valor depende fundamentalmente dos Parâmetros de forma (β_{ci} , γ_{ci}) e da relação μ_{coi}/λ_{coi} .

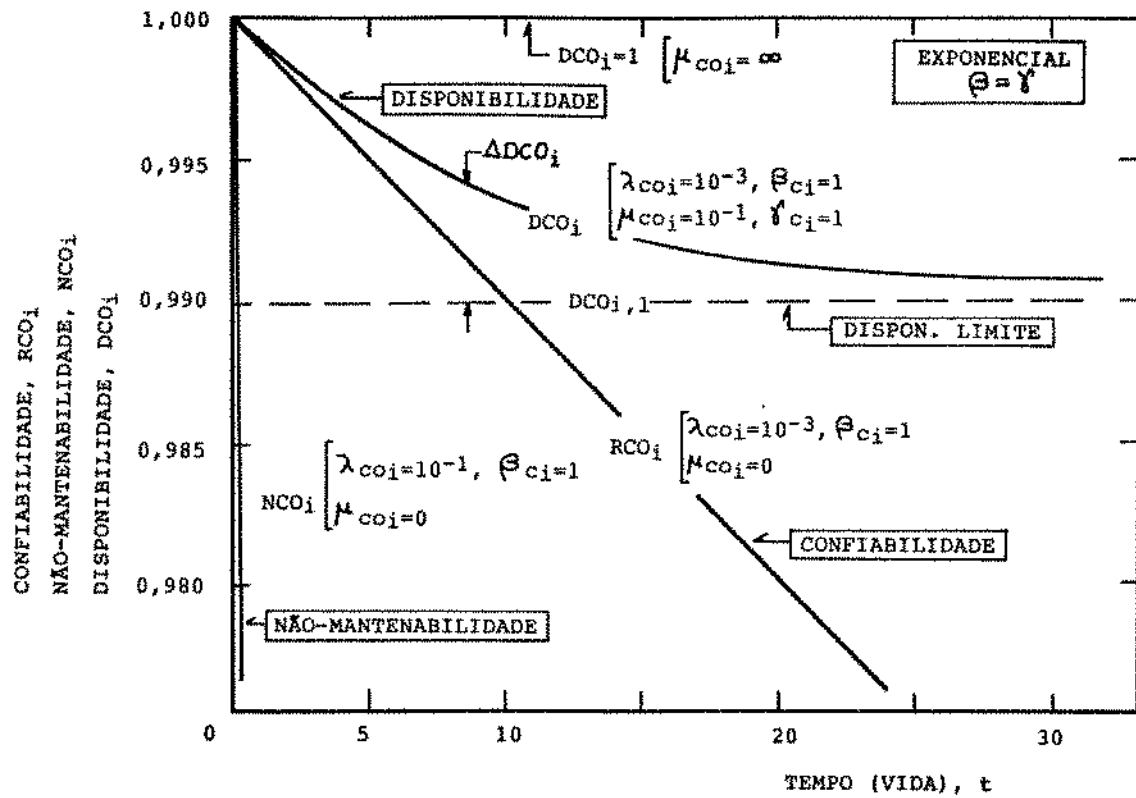
Para a distribuição **Exponencial**, resulta das equações (7.43) e (7.44), para os valores $\beta_{ci} = \gamma_{ci} = 1$, as equações :

$$\Delta DCO_i = \frac{\lambda_{coi}}{\mu_{coi} + \lambda_{coi}} . e^{-(\mu_{coi} + \lambda_{coi}).t}, \quad (7.45)$$



Tempo (vida) t	Valores Calculados (Weibull)				
	Disponibilidade			Confiabilidade	Não-Mantenabilidade
	$DCO_{i,l}$	ΔDCO_i	DCO_i	RCO_i	NCO_i
0	1,000000	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
10	0,999900	0,000037	0,999937	0,999900	0,367879
20	0,999800	0,000027	0,999827	0,999600	0,135335
35	0,999650	0,000011	0,999661	0,998776	0,030197
50	0,999500	0,000003	0,999503	0,997503	0,006738
100	0,999001	0,000000	0,999001	0,990050	0,000045
150	0,998502	0,000000	0,998502	0,977751	0,000000

Figura 7.1: Valores da Disponibilidade, Confiabilidade e Não-Mantenabilidade, em função do tempo, para a distribuição de Weibull (exemplo prático).



Tempo (vida) t	Valores Calculados (Exponencial)				
	Disponibilidade			Confiabilidade	Não-Mantenabilidade
	$DCO_{i,l}$	ΔDCO_i	DCO_i	RCO_i	NCO_i
0		0,009901	1,000000	1,000000	1,000000
5		0,005975	0,996074	0,995012	0,606531
10		0,003606	0,993705	0,990050	0,367879
20	0,990099	0,001313	0,991412	0,980199	0,135335
30		0,000478	0,990577	0,970446	0,049787
50		0,000063	0,990162	0,951229	0,006738
100		0,000000	0,990099	0,904837	0,000045

Figura 7.2: Valores da Disponibilidade, Confiabilidade e Não-Mantenabilidade, em função do tempo, para a distribuição de Exponencial (exemplo prático).

$$\Delta DSO_i = \frac{\lambda_{soi}}{\mu_{soi} + \lambda_{soi}} \cdot e^{-(\mu_{soi} + \lambda_{soi}) \cdot t}, \quad (7.46)$$

cuja variação é mostrada na Figura 7.2 (Componente). Nota-se nesta figura que o valor inicial $\lambda_{coi}/(\mu_{coi} + \lambda_{coi})$ para $t = 0$ é progressivamente reduzido, até assumir o valor $\Delta DCO_i = 0$ para $t = \infty$, ou seja, a Disponibilidade Complementar diminui com o tempo.

1) **Principais conclusões sobre as equações apresentadas.**

- a) Na distribuição Exponencial a Disponibilidade Limite é uma constante, independente do tempo (vida).
- b) Na distribuição de Weibull a Disponibilidade Limite é variável, ou seja, depende do tempo (vida).
- c) Quando não existe Recolocação em serviço ($\mu_{ci} = 0$), o valor assumido pela Disponibilidade é a própria Confiabilidade, ou seja, $DCO_i = RCO_i$. O valor $\mu_{ci} = 0$ significa que o Tempo Médio de Recolocação em serviço $TMAR = \infty$, ou seja, o Componente falha e não é reparado (aguarda eternamente sua reparação).
- d) Quando a Recolocação em serviço é instantânea, correspondendo a $TMAR = 0$ e consequentemente $\mu = \infty$, a Disponibilidade será sempre $DCO_i = 1$ (100%), ou seja, o sistema é sempre Disponível, embora a Confiabilidade seja $RCO < 1$ para $t > 0$ (existência de falhas no sistema). De modo análogo resulta $DSO_i = 1$.
- e) Os valores das parcelas ΔDCO_i (Componentes) e ΔDSO_i (Sensores) são progressivamente reduzidos na distribuição **Exponencial** (Figura 7.2) com o aumento do tempo (t). Para a distribuição de Weibull, seus valores são nulos no início da operação do Componente ($t = 0$), aumentam até um dado valor máximo e a seguir tendem progressivamente a zero com crescimento do tempo (t), como indicado no ponto A da Figura 7.1.
- f) Como normalmente a relação $\mu_{coi}/\lambda_{coi} \gg 10$, a Disponibilidade é fundamentalmente dependente dos valores do Parâmetro de forma β_{ci} (analogamente para os Sensores).

O programa **RAMP**, apresentado no Capítulo 9, permite o cálculo direto das Disponibilidades dos Componentes e Sensores, bem como a realização de simulações por variação dos valores adotados e a visualização gráfica dos valores calculados.

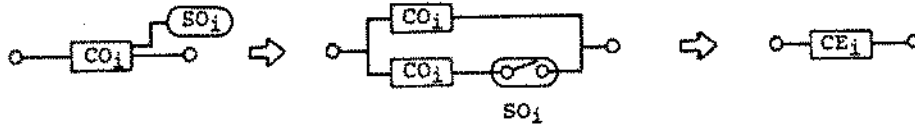
7.3.2 Componente-Equivalente

A aplicação de um Sensor (SO_i) ou Computador a um Componente (CO_i) resulta em uma Disponibilidade (DCE_i) do Componente-Equivalente (CE_i) ao conjunto Componente/Sensor dada por :

$$DCE_i = DCO_i + DSO_i \cdot ICO_{i,l} [DCO_{i,l} (1 - RCO_i \cdot NCO_i) + (\lambda_{ci} \cdot t)^{\beta_{ci}} RCO_i \cdot NCO_i] \quad (7.47)$$

como será demonstrado no Capítulo 7.6.

A segunda parcela desta equação representa o aumento da Disponibilidade do Componente (DCO_i) devido à influência do Sensor.



Quando o Sensor é perfeito ($RSO_i = 1$), correspondente a uma Taxa de falha $\lambda_{si} = 0$, resulta $DSO_i = 1$ e portanto,

$$DCE_i = DCO_i + ICO_{i,l}[DCO_{i,l}(1 - RCO_i \cdot NCO_i) + \lambda_{ci} \cdot t \cdot RCO_i \cdot NCO_i]. \quad (7.48)$$

Quando não existe Sensor ($RSO_i = 0$) resulta a igualdade

$$DCE_i = DCO_i, \quad (7.49)$$

ou seja, a Disponibilidade do Componente-Equivalente é a Disponibilidade do Componente (CO_i). O valor $RSO_i = 0$ corresponde a uma Taxa de falha $\lambda_{ci} = \infty$, porém em um programa computacional pode-se adotar um valor grande, por exemplo, $\lambda_{ci} = 1000$, que na prática resulta em uma excelente aproximação do valor real.

Casos Particulares

a) Disponibilidade inicial

Para o tempo $t = 0$ resulta da equação geral (7.47),

$$DCE_i = DCO_{i,l} + ICO_{i,l} = DCO_{i,l} + (1 - DCO_{i,l}) = 1. \quad (7.50)$$

b) Disponibilidade Limite - Caso Geral

Para o tempo $t = \infty$ resulta da equação geral (7.47) :

$$\begin{aligned} DCE_{i,l} &= DCO_{i,l} + DSO_{i,l} \cdot ICO_{i,l} \cdot DCO_{i,l} \\ &= DCO_{i,l}(1 - DSO_{i,l} \cdot ICO_{i,l}), \end{aligned} \quad (7.51)$$

ou em função dos valores das Disponibilidades Limites dadas pelas equações (7.19) e (7.20),

$$DCE_{i,l} = \frac{\mu_{ci}}{\mu_{ci} + \lambda_{ci}} \left[1 + \frac{\mu_{si}}{\mu_{si} + \lambda_{si}} \frac{\lambda_{ci}}{\mu_{ci} + \lambda_{ci}} \right]. \quad (7.52)$$

Para o caso de Sensor ou Comutador perfeito ($DSO_{i,l} = 1$), resulta :

$$DCE_{i,l} = DCO_{i,l}(1 + ICO_{i,l}), \quad (7.53)$$

$$DCE_{i,l} = \frac{\mu_{ci}^2 + 2\lambda_{ci}\mu_{ci}}{(\mu_{ci} + \lambda_{ci})^2}. \quad (7.54)$$

c) **Disponibilidade Limite para Weibull**

Resulta dependente do tempo (t), sendo função dos valores de λ_{ci} , μ_{ci} , λ_{si} e μ_{si} dados pelas equações (7.25) a (7.28).

d) **Disponibilidade Limite para Exponencial**

Neste caso, de acordo com as equações (7.29) a (7.32), tem-se o valor :

$$DCE_{i,l} = \frac{\mu_{coi}}{\mu_{coi} + \lambda_{coi}} \left[1 + \frac{\mu_{soi}}{\mu_{soi} + \lambda_{soi}} \frac{\lambda_{coi}}{\mu_{coi} + \lambda_{coi}} \right], \quad (7.55)$$

e quando o Sensor é perfeito (Redundância passiva),

$$DCE_{i,l} = \frac{\mu_{coi}^2 + 2\lambda_{coi}\mu_{coi}}{(\mu_{coi} + \lambda_{coi})^2}. \quad (7.56)$$

e) **Sem Manutenção**

Para $\mu_{ci} = \mu_{si} = 0$, que corresponde a sistemas sem manutenção (troca de Componentes), resulta da equação (7.47) :

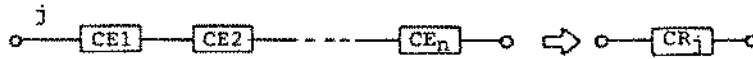
$$\begin{aligned} DCE_i &= RCO_i + RSO_i \cdot \lambda_{ci} \cdot t \cdot RCO_i \\ &= RCO_i(1 + RSO_i \cdot \lambda_{ci} \cdot t) \\ &= RCE_i, \end{aligned} \quad (7.57)$$

ou seja, a Disponibilidade é a própria Confiabilidade.

7.3.3 Arranjo Série

A Disponibilidade de cada Arranjo Série dos Componentes-Equivalentes (DCE_i) para cada sub-sistema (Componentes-Reduzidos), conforme a equação (7.1), será

$$DCR_j = \prod_{i=1}^n DCE_{1,j} \cdot DCE_{2,j} \dots DCE_{n,j}, \quad (7.58)$$

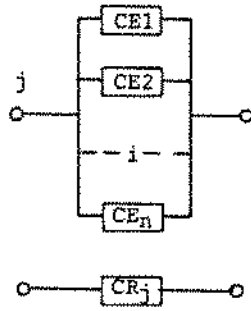


onde DCR_j é a Disponibilidade do j -ésimo Sub-Sistema.

7.3.4 Arranjo Paralelos com Redundância Ativa

a) Um Componente bom entre “n” Componentes

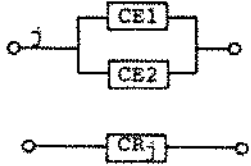
Conforme a equação (7.7), para apenas um Componente-Equivalente bom (Disponível) entre “n” Componentes-Equivalentes, resulta para cada j -ésimo Sub-Sistema a equação :



$$\begin{aligned} DCR_j &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - DCE_{i,j}) \\ &= 1 - (1 - DCE_{1,j}) \dots (1 - DCE_{n,j}) . \end{aligned} \quad (7.59)$$

Para sub-sistemas com “k” elementos bons (Disponíveis) dentre o total de “n” elementos resulta :

I - $k = 1, n = 2$ (1 bom em 2)

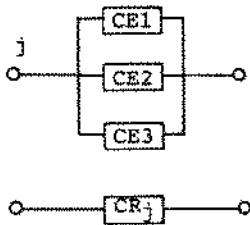


$$DCR_j = 1 - (1 - DCE_1) \cdot (1 - DCE_2) \quad (7.60)$$

Quando $DCE_{1,j} = DCE_{2,j} = DCE_j$ (Componentes) iguais, resulta :

$$DCR_j = 2(DCE_j) - (DCE_j)^2 \quad (7.61)$$

II - $k = 1, n = 3$ (1 bom em 3)



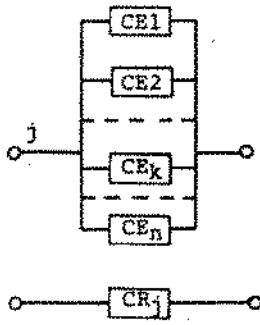
$$DCR_j = 1 - (1 - DCE_1) \cdot (1 - DCE_2) \cdot (1 - DCE_3) \quad (7.62)$$

Quando $DCE_{1,j} = DCE_{2,j} = DCE_j$ (Componentes) iguais, resulta :

$$DCR_j = 3(DCE_j) - 3 \cdot (DCE_j)^2 + (DCE_j)^3 \quad (7.63)$$

b) “k” Componentes bons entre “n” Componentes [k/n]

Caso geral com $DCE_i = \text{constante}$ (Componentes iguais) :



$$DCR_j = 1 - \sum_{r=0}^{k-1} \binom{n}{r} (DCE_j)^r \cdot (1 - DCE_j)^{n-r}, \quad (7.64)$$

com

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}.$$

Exemplo para [2/3]

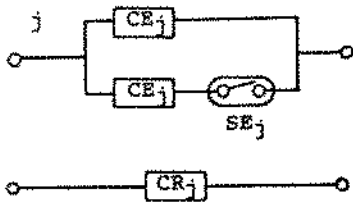
$$DCR_j = 3(DCE_j)^2 - 2(DCE_j)^3, \quad (7.65)$$

cuja dedução é análoga à apresentada no Capítulo 5.3.4.

7.3.5 Arranjos Paralelos com redundância passiva (stand-by)

a) Comutador real (com falha)

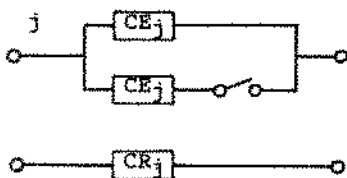
Para apenas dois Componentes iguais e um Comutador, a metodologia aplicável é idêntica à do **Componente-Equivalente**, apresentada no Capítulo 7.6.3, ou seja,



$$DCR_j = DCE_j + DSE_j \cdot ICE_{j,l} [DCE_{j,l} \cdot (1 - RCE_j \cdot NCE_j) + \lambda_{ce,j} \cdot t \cdot RCE_j \cdot NCE_j], \quad (7.66)$$

b) Comutador perfeito (sem falha)

Para Comutador com $DSE_j = 1$, resulta :



$$DCR_j = DCE_j + ICE_{j,l} [DCE_{j,l} \cdot (1 - RCE_j \cdot NCE_j) + \lambda_{ce,j} \cdot t \cdot RCE_j \cdot NCE_j], \quad (7.67)$$

7.3.6 Arranjos funcionais de Sensores

Quando são aplicados dois ou mais Sensores (ou Comutadores) sobre um mesmo Componente, aplica-se a mesma metodologia de cálculo das Disponibilidades, apresentadas nos itens precedentes para os possíveis arranjos Série ou Paralelo, por exemplo :

a) Série

b) Paralelo

7.4 IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DA DISPONIBILIDADE

Os Parâmetros da Disponibilidade correspondem aos Parâmetros da Confiabilidade e da Manutenibilidade, quais sejam :

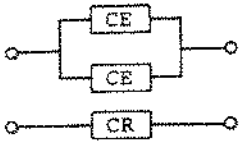
Confiabilidade : As Taxas Características de falha (λ_{ci}) e Parâmetros de forma (β_{ci}) para r Componentes, foram apresentados na Tabela 5.1; para r Sensores, as Taxas Características de falha (λ_{si}) e Parâmetros de forma (β_{si}) foram apresentados na Tabela 5.2.

Manutenibilidade : As Taxas Características de Recolocação em serviço (μ_{ci}) e Parâmetros de forma (γ_{ci}) dos Componentes foram apresentados na Tabela 6.1; para os Sensores (μ_{si}, γ_{si}) na Tabela 6.2.

7.5 PRECISÃO DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS

A utilização do princípio das Probabilidades Compostas ou da teoria Bayesiana resultou em novas equações para as Disponibilidades, nos arranjos Paralelos, que diferem das apresentadas pela teoria Markowiana. Porém, como demonstrado a seguir, os erros apresentados são desprezíveis na prática, sendo fundamentalmente dependentes das relações μ_{ci}/λ_{ci} dos Componentes e μ_{si}/λ_{si} dos Sensores. Como na prática das instalações de produção contínua, como é o caso presente, a imensa maioria dos equipamentos apresenta uma relação $\mu/\lambda \gg 50$, o erro é desprezível.

7.5.1 Arranjo Paralelo com Redundância ativa



O exemplo será referido ao caso de distribuição **Exponencial**, onde o erro seria mais significativo para os valores das **Disponibilidades Limites**

Equação admitida
(equação 7.60)

$$DCR_l = 1 - (1 - DCE_l) \cdot (1 - DCE_l) = \frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{(\mu + \lambda)^2}$$

$$DCR_l = \frac{(\mu/\lambda)^2 + 2(\mu/\lambda)}{(\mu/\lambda)^2 + 2(\mu/\lambda) + 1} \quad (7.68)$$

Equação exata
Ver ref. [23].

$$DCR_l^* = \frac{(\mu/\lambda)^2 + 2(\mu/\lambda)}{(\mu/\lambda)^2 + 2(\mu/\lambda) + 2} \quad (7.69)$$

Na Tabela 7.1 são apresentados os valores calculados de DCR_l e DCR_l^* em função de diferentes valores da relação μ/λ e na Tabela 7.2 o erro total quando os arranjos de cada grupo são colocados em série, ou seja,

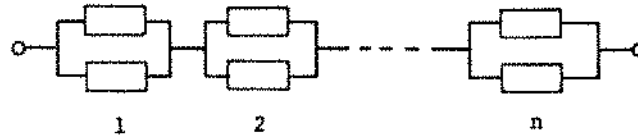


Tabela 7.1: Influência do valor da relação μ/λ nas Disponibilidades Limites para arranjo paralelo [1/2], com redundância ativa.

Relação μ/λ	Disponibilidades Limites			Relação (erro) DCR_l/DCR_l^*
	Componente DCE_l	Paralelo com Redundância Ativa		
		Exata : DCR_l^*	Admitida : DCR_l	
1	0,500000	0,600000	0,750000	1,250000
10	0,909090	0,983607	0,991736	1,008264
100	0,990099	0,999804	0,999902	1,000098
1000	0,999000	0,999998	0,999999	1,000001

Tabela 7.2: Influência da quantidade de grupos em Série no valor do erro calculado das Disponibilidades Limites.

Quantidade grupos em série (n)	Valores da Relação DCR_l/DCR_l^* para $\mu/\lambda =$			
	1	10	100	1000
1	1,250000	1,008264	1,000098	1,000001
10	9,313226	1,085782	1,000980	1,000010
100	-	2,227731	1,009848	1,000100
1000	-	-	1,102957	1,001001

Verifica-se dos valores apresentados nas Tabelas 7.1 e 7.2 a significativa influência da relação μ/λ , podendo-se utilizar com bastante precisão a metodologia apresentada quando $\mu/\lambda \gg 10$. Sendo a relação,

$$\frac{\mu}{\lambda} = \frac{TMAF}{TMAR} \quad (7.70)$$

$TMAF$ = Tempo médio até falha (ou entre falhas) ;

$TMAR$ = Tempo médio até (para) recolocação em serviço .

Nota-se que $TMAF \gg 10TMAR$, o que corresponde à imensa maioria dos equipamentos utilizados em produção contínua. Por outro lado, o erro apresentado no cálculo da Disponibilidade Limite (DCR_l) corresponde ao valor máximo, em função do tempo de operação do equipamento, como pode ser notado na Figura 7.3.

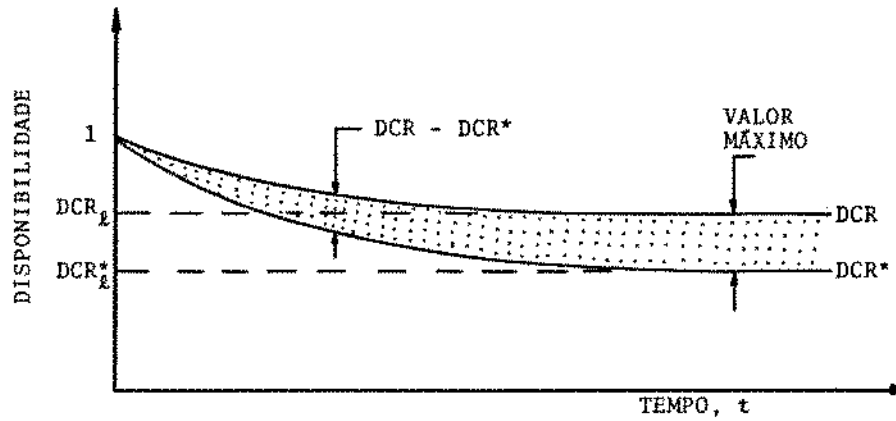
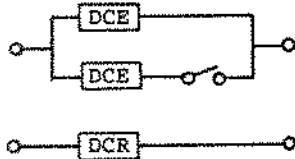


Figura 7.3: Variação típica da diferença entre os valores calculados das Disponibilidades Limites (valores calculados DCR_l e exatos DCR_l^*).

7.5.2 Arranjo Paralelo com Redundância passiva



O exemplo será referido ao caso Exponencial, onde o erro no cálculo das Disponibilidades Limites seria mais significativo.

Equação admitida
equação 7.67

$$DCR_l = \frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{(\mu + \lambda)^2} = \frac{(\mu/\lambda)^2 + 2(\mu/\lambda)}{(\mu/\lambda)^2 + 2(\mu/\lambda) + 1} \quad (7.71)$$

Equação exata
Ver ref. [23].

$$DCR_l^* = \frac{\mu^2 + \lambda\mu}{\mu^2 + \lambda\mu + \lambda^2} = \frac{(\mu/\lambda)^2 + (\mu/\lambda)}{(\mu/\lambda)^2 + (\mu/\lambda) + 1} \quad (7.72)$$

Na Tabela 7.3 são apresentados os valores calculados de DCR_l e DCR_l^* em função das relações μ/λ , e na Tabela 7.4 o erro total quando os arranjos de cada grupo são colocados em série. Verifica-se neste exemplo, de modo análogo ao exemplo anterior (Capítulo 7.5.1), a significativa influência da relação μ/λ . Como na prática resulta normalmente $\mu/\lambda \gg 50$, a metodologia apresentada pode ser aplicada, com suficiente precisão nos resultados obtidos, para os Arranjos Paralelos com Redundância Passiva (stand-by).

Tabela 7.3: Influência do valor da relação μ/λ nas Disponibilidades Limites para arranjo paralelo [1/2], com redundância passiva(stand-by).

Relação μ/λ	Disponibilidades Limites			Erro (Relação) DCR_l/DCR_l^*
	Componente DCE	Paralelo com Redundância Passiva		
		Exata : DCR_l	Admitida : DCR_l	
1	0,500000	0,666666	0,750000	1,250000
10	0,909090	0,990991	0,991736	1,007513
100	0,990099	0,999901	0,999902	1,000001
1000	0,999000	0,999990	0,999990	1,000000

Tabela 7.4: Influência da quantidade de grupos em Série no valor do erro calculado das Disponibilidades Limites.

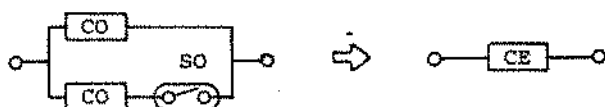
Quantidade grupos em série (n)	Valores do erro DCR_l/DCR_l^* para $\mu/\lambda =$			
	1	10	100	1000
1	1,125000	1,000715	1,000001	1,000000
10	3,247321	1,007173	1,000010	1,000001
100	130392,4	1,074091	1,000097	1,000010
1000	-	2,043664	1,000971	1,000097

7.6 DISPONIBILIDADE PARA COMPONENTE-EQUIVALENTE

Condições : Dois Componentes iguais (CO) e Sensor (SO), e apenas uma equipe de manutenção. As Taxas de falhas (λ) e Recolocação em serviço (μ), correspondem a valores médios, para qualquer distribuição (Exponencial, Weibull, Normal, Lognormal), como apresentado no Capítulo 2.4.

7.6.1 Equação básica das Disponibilidades

a) Componentes (equação 4.10)

$$DCO = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda) \cdot t}$$


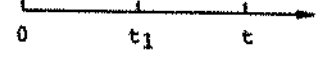
b) Sensores (equação 4.11)

$$DSO = \frac{\mu_s}{\mu_s + \lambda_s} + \frac{\lambda_s}{\mu_s + \lambda_s} \cdot e^{-(\mu_s + \lambda_s) \cdot t}$$

Observação : Será utilizado λ ao invés de λ_c para simplificação da notação (simbologia nas equações a seguir apresentadas).

7.6.2 Funcionamento

a) Componente CO é bom $\rightarrow DCO$



b) Componente CO falha $\rightarrow \overline{CO}.CO.SO$ (CO e SO bons) $\rightarrow DCO_1$ (no tempo t_1)

c) Disponibilidade total :

$$DCE = DCO + DCO_1 \quad (7.73)$$

d) Disponibilidade na falha do elemento A :

$$DCO_1 = DSO \cdot \int_0^t f(t_1) \cdot DCO \cdot dt_1$$

onde: $f(t_1)$ = Densidade de probabilidade da Indisponibilidade de CO no tempo T_1 ;

DCO = Disponibilidade de CO no tempo $t - t_1$.

com :

$$f(t_1) = -\frac{dDCO(t_1)}{dt_1} = -\frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot (\mu + \lambda) \cdot e^{-(\mu + \lambda)t_1} = \lambda \cdot e^{-(\mu + \lambda)t_1} ,$$

resulta :

$$\begin{aligned} DCO_1 &= DSO \cdot \int_0^t \lambda \cdot e^{-(\mu + \lambda)t_1} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda)(t - t_1)} \right) \cdot dt_1 \\ &= \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot DSO \cdot \left[\mu \cdot \int_0^t e^{-(\mu + \lambda)t_1} \cdot dt_1 + \lambda \cdot \int_0^t e^{-(\mu + \lambda)t_1} \cdot e^{-(\mu + \lambda)(t - t_1)} \cdot dt_1 \right] . \end{aligned}$$

Sendo :

$$\int_0^t e^{-(\mu + \lambda)t_1} \cdot dt_1 = -\frac{1}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda)t} - \left(-\frac{1}{\mu + \lambda} \right) = \frac{1}{\mu + \lambda} \cdot (1 - e^{-(\mu + \lambda)t})$$

$$\int_0^t e^{-(\mu + \lambda)t_1} \cdot e^{-(\mu + \lambda)(t - t_1)} \cdot dt_1 = \int_0^t e^{-(\mu + \lambda)t_1 - (\mu + \lambda)t + (\mu + \lambda)t_1} \cdot dt_1$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^t e^{-(\mu+\lambda)t_1} . dt_1 \\
&= e^{-(\mu+\lambda)t} . \int_0^t dt_1 \\
&= t . e^{-(\mu+\lambda)t}
\end{aligned}$$

resulta :

$$DCO_1 = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} . D_s \left[\frac{\mu}{\mu + \lambda} (1 - e^{-(\mu+\lambda)t}) + \lambda . t . e^{-(\mu+\lambda)t} \right] . \quad (7.74)$$

7.6.3 Disponibilidade do sistema (total)

Substituindo-se os valores de DCO (equação 4.10) e DCO_1 (equação 7.74) na equação (7.73), resulta a equação do sistema :

$$DCE = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu+\lambda)t} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} DSO \left[\frac{\mu}{\mu + \lambda} (1 - e^{-(\mu+\lambda)t}) + \lambda t e^{-(\mu+\lambda)t} \right] . \quad (7.75)$$

que pode ser posta na forma :

$$\begin{aligned}
DCE &= DCO_l + ICO_l . RCO . NCO + \\
&\quad + ICO_l . DSO . [DCO_l . (1 - RCO . NCO) + \lambda . t . RCO . NCO]
\end{aligned} \quad (7.76)$$

onde :

$$\text{Disponibilidade Limite} : \lim_{t \rightarrow \infty} DCO = DCO_l = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (7.77)$$

$$\text{Indisponibilidade Limite} : ICO_l = 1 - DCO_l = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \quad (7.78)$$

$$\text{Confiabilidade} : RCO = e^{-\lambda . t} \quad (7.79)$$

$$\text{Não-Mantenabilidade} : NCO = e^{-\mu . t} \quad (7.80)$$

Casos particulares

a) Disponibilidade inicial ($t = 0$) do sistema

$$\begin{aligned}
DCE &= \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} DSO \left[\frac{\mu}{\mu + \lambda} (1 - 1) + 0 \right] \\
&= \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} = 1 .
\end{aligned}$$

b) Disponibilidade Limite ($t \rightarrow \infty$) do sistema

$$DCE_{,l} = \lim_{t \rightarrow \infty} D_e = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot \frac{\mu_s}{\mu_s + \lambda_s} \cdot \left[\frac{\mu}{\mu + \lambda} (1 - 0) + 0 \right]$$

onde,

$$DSO_{,l} = \frac{\mu_s}{\mu_s + \lambda_s} ; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} t \cdot e^{-(\mu + \lambda)t} = 0$$

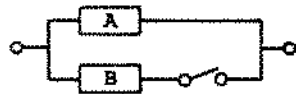
resultando na equação :

$$DCE_{,l} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \left[1 + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot \frac{\mu_s}{\mu_s + \lambda_s} \right] \quad (7.81)$$

que pode ser posta na forma :

$$DCE_l = DCO_l [1 + ICO_l \cdot DSO_l] \quad (7.82)$$

O produto $ICO_l \cdot DSO_l$ representa o aumento da Disponibilidade Limite do sistema pela atuação do Sensor (ou Comutador). Quanto maior o valor de DSO_l maior o aumento da Disponibilidade do sistema (Componente-Equivalente). Quando $DSO_l = 0$ (sem Sensor), a Disponibilidade Limite resulta na Disponibilidade do próprio elemento ($DCE_l = DCO_l$). Quando $DSO = 1$ (Sensor perfeito, $\lambda_s = 0$) resulta da equação (7.82),



$$DCE_l = DCO_l [1 + (1 - DCO_l) \cdot 1] = DCO_l \cdot [2 - DCO_l]$$

$$= 2 \cdot DCO_l - (DCO_l)^2 \quad (7.83)$$

ou seja, mesmo para Sensores perfeitos a Disponibilidade Limite do Componente-equivalente nunca será $DCE_l = 1$ (100% disponível). Neste caso (Sensor perfeito), a equação 7.83 torna-se :

$$DCE_l = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \cdot \left[1 + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \right] = \frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{(\mu + \lambda)^2} \quad (7.84)$$

c) Sem Manutenção ($\mu = 0$)

Da equação geral (7.75) para o valor $\mu = 0$, resulta :

$$DCE = e^{-\lambda t} + DSO[\lambda t e^{-\lambda t}] = e^{-\lambda t} [1 + RSO \lambda t] = RCE . \quad (7.85)$$

ou seja, é a própria Confiabilidade do Sistema, onde

$$RSO = e^{-\lambda_s t} \quad (7.86)$$

é a Confiabilidade do Sensor.

7.6.4 Validade da equação proposta

Utilizando-se o método de Markov, que considera as mudanças de estado do sistema, tem-se uma Disponibilidade Limite, para Sensor perfeito ($DSO = 1$) dada pela equação (exata) :

$$DCE_l^* = \frac{\mu^2 + \lambda\mu}{\mu^2 + \lambda\mu + \lambda_2} = \frac{(\mu/\lambda)^2 + (\mu/\lambda)}{(\mu/\lambda)^2 + (\mu/\lambda) + 1} \quad (7.87)$$

A equação (7.84) pode ser posta na forma :

$$DCE_l = \frac{(\mu/\lambda)^2 + 2(\mu/\lambda)}{(\mu/\lambda)^2 + 2(\mu/\lambda) + 1} = \frac{[(\mu/\lambda)^2 + (\mu/\lambda)] + (\mu/\lambda)}{[(\mu/\lambda)^2 + (\mu/\lambda) + 1] + (\mu/\lambda)} \quad (7.88)$$

O erro resultante da utilização desta equação ao invés da equação (7.87) é desprezível quando as relações μ/λ são grandes, como foi apresentado no item 7.5.2. A equação (7.88) difere da equação (7.87) apenas pelos termos μ/λ , que são acrescidos tanto ao numerador como ao denominador. Outra condição de validade é a utilização de apenas uma equipe de manutenção para cada equipamento.

Capítulo 8

MODELO ESTRUTURAL DO SISTEMA

8.1 OBJETIVOS

Neste capítulo serão desenvolvidas as equações aplicáveis ao sistema apresentado na Figura 1.8, correspondente ao modelo estrutural adotado (Linha do Produto). Para outros tipos de sistemas, o modelo estrutural utilizaria as equações apresentadas nos Capítulos 5 a 7, para os particulares arranjos físicos do novo sistema.

A metodologia a seguir adotada visa uma identificação dos Componentes, Sistemas, etc, de modo a possibilitar o uso de um programa computacional, para o cálculo das Confiabilidades, Manutenibilidades e Disponibilidades, bem como das correspondentes Desconfiabilidades, Não-Manutenibilidades e Indisponibilidades, para cada Componente e particulares Sub-sistemas de interesse na sua análise.

O programa RAMP, particularizado para o sistema apresentado na Figura 1.8, calcula os valores das probabilidades desejadas e apresenta os resultados em forma de Tabelas e Gráficos, como apresentado no Capítulo 9.

O uso do programa RAMP apresenta uma particular importância no caso de não se conhecer os valores práticos (reais) das Taxas de falha, de reparo e dos Parâmetros de forma dos Componentes e Sensores. Neste caso, pode-se simular o comportamento do sistema, adotando-se valores referenciais destas grandezas e verificando-se sua influência na Confiabilidade do Componente e conseqüentemente no Sistema. Em particular, é muito importante a verificação da influência da aplicação de Sensores (ou Comutadores), pois estes influem significativamente, bem como a ocorrência de trocas de Componentes durante a operação do Sistema.

8.2 MODELO DOS SUB-SISTEMAS PRINCIPAIS

As equações a seguir apresentadas referem-se aos sub-sistemas apresentados na Figura 1.8 e serão apresentadas na seguinte ordem :

- Confiabilidade (R);
- Manutenibilidade (M);
- Disponibilidade (D);

utilizando-se as equações apresentadas nos Capítulos 5, 6 e 7, referidas aos Componentes-equivalentes. O procedimento de cálculo, com o fluxograma adotado, é apresentado no Capítulo 9 (programa RAMP). Neste capítulo não são apresentadas as equações das Desconfiabilidades (F), Não-Mantenabilidades (N) e Indisponibilidades (I), por serem de dedução imediata, ou seja, $F = 1 - R$, $N = 1 - M$ e $I = 1 - D$, respectivamente.

8.2.1 Alimentação e Dosagem de MP1

a) Suprimento de MP1

Condição : Componente Reduzido igual ao "Componente-Equivalente"



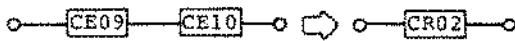
$$RCR01 = RCE01 \quad (8.1)$$

$$NCR01 = NCE01 \quad (8.2)$$

$$DCR01 = DCE01 \quad (8.3)$$

b) Controles da alimentação de MP1

Condição : Arranjo Série



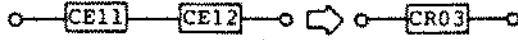
$$RCR02 = RCE09.RCE10 \quad (8.4)$$

$$NCR02 = 1 - (1 - NCE09).(1 - NCE10) \quad (8.5)$$

$$DCR02 = DCE09.DCE10 \quad (8.6)$$

c) Tanque e Bomba de MP1

Condição : Arranjo Série



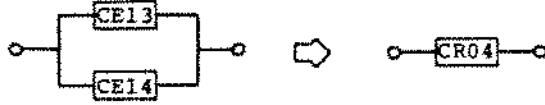
$$RCR03 = RCE11.RCE12 \quad (8.7)$$

$$NCR03 = 1 - (1 - NCE11).(1 - NCE12) \quad (8.8)$$

$$DCR03 = DCE11.DCE12 \quad (8.9)$$

d) Misturadores de MP1

Condição : Redundância passiva (stand-by) [1/2]



$$RCR04 = RCE13. [1 + (\lambda_{ce13}.t)^{\beta_{ce13}}] \quad (8.10)$$

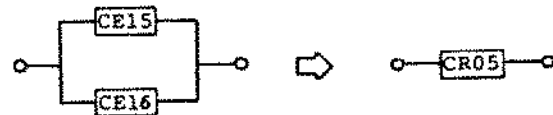
$$NCR04 = 1 - (1 - NCE13). [1 + (\mu_{ce13}.t)^{\gamma_{ce13}}] \quad (8.11)$$

$$DCR04 = DCE13 + IC\bar{E}13.[DC\bar{E}13.(1 - RCE13.NCE13) + (\lambda_{ce13}.t)^{\beta_{ce13}}RCE13.NCE13] \quad (8.12)$$

onde $IC\bar{E}13$ e $DC\bar{E}13$ correspondem à Indisponibilidade Limite e à Disponibilidade Limite do Componente-Equivalente $CE13$.

e) Bombas A e B de MP1

Condição : Redundância ativa [1/2].



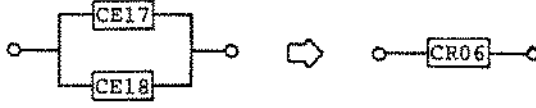
$$RCR05 = 1 - (1 - RCE15).(1 - RCE16) \quad (8.13)$$

$$NCR05 = NCE15.NCE16 \quad (8.14)$$

$$DCR05 = 1 - (1 - DCE15).(1 - DCE16) \quad (8.15)$$

f) Válvulas de 3 vias, A e B

Condição : Redundância ativa [1/2]



$$RCR06 = 1 - (1 - RCE17).(1 - RCE18) \quad (8.16)$$

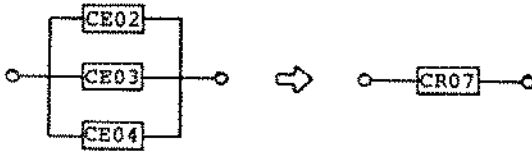
$$NCR06 = NCE17.NCE18 \quad (8.17)$$

$$DCR06 = 1 - (1 - DCE17).(1 - DCE18) \quad (8.18)$$

8.2.2 Suprimento de Reagente, MP4, MP5, Água e Vapor

a) Suprimento de Reagente, MP4 e MP5

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [3/3]



$$RCR07 = RCE02.RCE03.RCE04 \quad (8.19)$$

$$NCR07 = 1 - (1 - NCE02).(1 - NCE03).(1 - NCE04) \quad (8.20)$$

$$DCR07 = DCE02.DCE03.DCE04 \quad (8.21)$$

b) Suprimento de água e vapor para Trocadores

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [3/3]



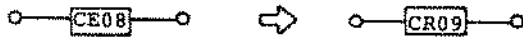
$$RCR08 = RCE05.RCE06.RCE07 \quad (8.22)$$

$$NCR08 = 1 - (1 - NCE05).(1 - NCE06).(1 - NCE07) \quad (8.23)$$

$$DCR08 = DCE05.DCE06.DCE08 \quad (8.24)$$

c) Banho de Temperatura Controlada

Condição : Componente “Reduzido” igual ao Componente “Equivalente”



$$RCR09 = RCE08 \quad (8.25)$$

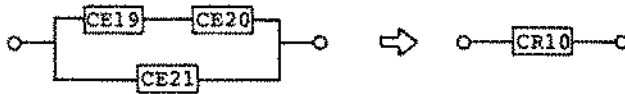
$$NCR09 = NCE08 \quad (8.26)$$

$$DCR09 = DCE08 \quad (8.27)$$

8.2.3 Alimentação e Controle do Reagente

a) Trocador e Válvulas de Controle de Fluxo

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [2/2]



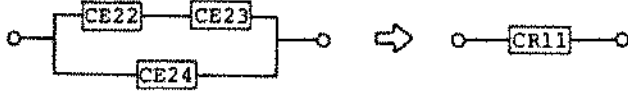
$$RCR10 = RCE19.RCE20.RCE21 \quad (8.28)$$

$$NCR10 = 1 - (1 - NCE19).(1 - NCE20).(1 - NCE21) \quad (8.29)$$

$$DCR10 = DCE19.DCE20.DCE21 \quad (8.30)$$

b) Tanque, Bomba e Resfriador do Reagente

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [2/2]



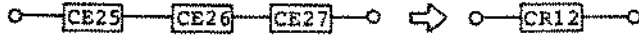
$$RCR11 = RCE22.RCE23.RCE24 \quad (8.31)$$

$$NCR11 = 1 - (1 - NCE22).(1 - NCE23).(1 - NCE24) \quad (8.32)$$

$$DCR11 = DCE22.DCE23.DCE24 \quad (8.33)$$

c) Válvulas de Controle do fluxo de Reagente

Condição : Arranjo Série



$$RCR12 = RCE25.RCE26.RCE27 \quad (8.34)$$

$$NCR12 = 1 - (1 - NCE25).(1 - NCE26).(1 - NCE27) \quad (8.35)$$

$$DCR12 = DCE25.DCE26.DCE27 \quad (8.36)$$

8.2.4 Misturador

a) Misturador (MP1, Reagente)

Condição : Componente "Reduzido" igual ao Componente "Equivalente"



$$RCR13 = RCE28 \quad (8.37)$$

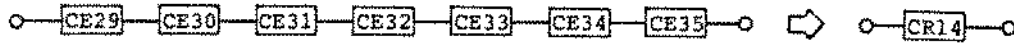
$$NCR13 = NCE28 \quad (8.38)$$

$$DCR13 = DCE28 \quad (8.39)$$

8.2.5 Alimentação e Controle de MP4

a) Alimentação, Resfriamento, Filtragem e Controle de fluxo de MP4

Condição : Arranjo Série



$$RCR14 = RCE29.RCE30.RCE31.RCE32.RCE33.RCE34.RCE35 \quad (8.40)$$

$$NCR14 = 1 - (1 - NCE29).(1 - NCE30).(1 - NCE31).(1 - NCE32). \\ .(1 - NCE33).(1 - NCE34).(1 - NCE35) \quad (8.41)$$

$$DCR14 = DCE29.DCE30.DCE31.DCE32.DCE33.DCE34.DCE35 \quad (8.42)$$

8.2.6 Alimentação e Controle de MP5

a) Alimentação, Aquecimento, Filtragem e Controle de fluxo de MP5

Condição : Arranjo Série



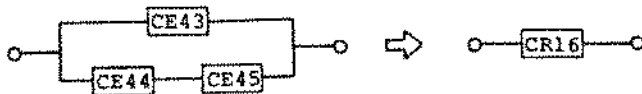
$$RCR15 = RCE36.RCE37.RCE38.RCE39.RCE40.RCE41.RCE42 \quad (8.43)$$

$$NCR15 = 1 - (1 - NCE36).(1 - NCE37).(1 - NCE38) \\ .(1 - NCE39).(1 - NCE40).(1 - NCE41).(1 - NCE42) \quad (8.44)$$

$$DCR15 = DCE36.DCE37.DCE38.DCE39.DCE40.DCE41.DCE42 \quad (8.45)$$

8.2.7 Reator e Viscosímetro

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [1/2]



$$RCR16 = RCE43.RCE44.RCE45 \quad (8.46)$$

$$NCR16 = 1 - (1 - NCE43).(1 - NCE44).(1 - NCE45) \quad (8.47)$$

$$DCR16 = DCE43.DCE44.DCE45 \quad (8.48)$$

8.2.8 Bomba do Produto

Condição : Componente “Reduzido” igual ao Componente “Equivalente”



$$RCR17 = RCE46 \quad (8.49)$$

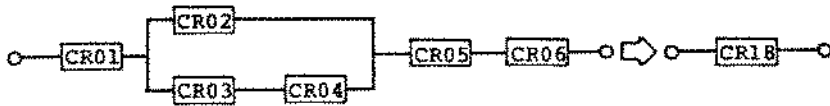
$$NCR17 = NCE46 \quad (8.50)$$

$$DCR17 = DCE46 \quad (8.51)$$

8.3 MODELO DOS SUB-SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO

8.3.1 Alimentação e Controle de MP1

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [2/2] no ramal.



$$RCR18 = RCR01.RCR02.RCR03.RCR04.RCR05.RCR06 \quad (8.52)$$

$$NCR18 = 1 - (1 - NCR01).(1 - NCR02).(1 - NCR03) \\ .(1 - NCR04).(1 - NCR05).(1 - NCR06) \quad (8.53)$$

$$DCR18 = DCR01.DCR02.DCR03.DCR04.DCR05.DCR06 \quad (8.54)$$

8.3.2 Alimentação de Reagente, MP4, MP5, Água e Vapor

Condição : Arranjo Série



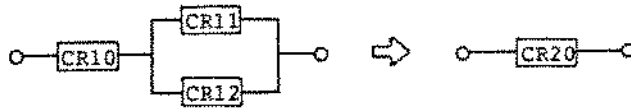
$$RCR19 = RCR07.RCR08.RCR09 \quad (8.55)$$

$$NCR19 = 1 - (1 - NCR07).(1 - NCR08).(1 - NCR09) \quad (8.56)$$

$$DCR19 = DCR07.DCR08.DCR09 \quad (8.57)$$

8.3.3 Alimentação e Controle de Reagente

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [2/2]



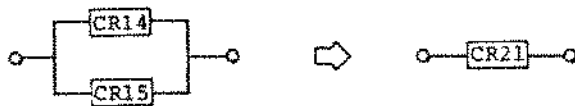
$$RCR20 = RCR10.RCR11.RCR12 \quad (8.58)$$

$$NCR20 = 1 - (1 - NCR10).(1 - NCR11).(1 - NCR12) \quad (8.59)$$

$$DCR20 = DCR10.DCR11.DCR12 \quad (8.60)$$

8.3.4 Alimentação e Controle de MP4 e MP5

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [2/2]



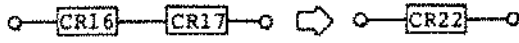
$$RCR21 = RCR14.RCR15 \quad (8.61)$$

$$NCR21 = 1 - (1 - NCR14).(1 - NCR15) \quad (8.62)$$

$$DCR21 = DCR14.DCR15 \quad (8.63)$$

8.3.5 Reator, Viscosímetro e Bomba de Produto

Condição : Arranjo Série



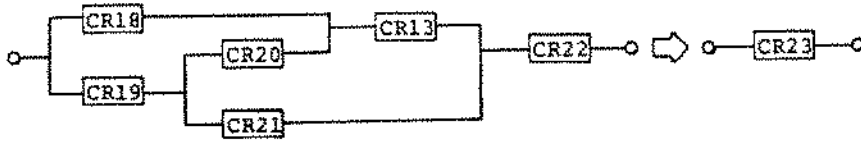
$$RCR22 = RCR16.RCR17 \quad (8.64)$$

$$NCR1 = 1 - (1 - NCR16).(1 - NCR17) \quad (8.65)$$

$$DCR1 = DCR16.DCR17 \quad (8.66)$$

8.4 TOTAL DO SISTEMA (TOP-EVENT)

Condição : Arranjo Série por Redundância ativa total [2/2] nos ramaís.



$$RCR23 = RCR18.RCR19.RCR20.RCR21.RCR13.RCR22 \quad (8.67)$$

$$NCR23 = 1 - (1 - NCR18).(1 - NCR19).(1 - NCR20) \\ .(1 - NCR21).(1 - NCR13).(1 - NCR22) \quad (8.68)$$

$$DCR23 = DCR18.DCR19.DCR20.DCR21.DCR13.DCR22 \quad (8.69)$$

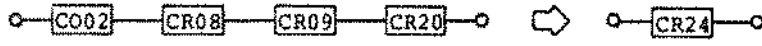
8.5 SISTEMAS PARTICULARES

8.5.1 Alimentação, Dosagem e Controle de MP1

Foi apresentado no item 8.3.1, e corresponde aos valores de RCR18, NCR18 e DCR18.

8.5.2 Alimentação, Dosagem e Controle de Reagente

Condição : Arranjo Série



$$RCR24 = RCO02.RCR08.RCR09.RCR20 \quad (8.70)$$

$$NCR24 = 1 - (1 - NCO02).(1 - NCR08).(1 - NCR09).(1 - NCR20) \quad (8.71)$$

$$DCR24 = DCO02.DCR08.DCR09.DCR20 \quad (8.72)$$

Capítulo 9

PROGRAMA COMPUTACIONAL

9.1 ESTRUTURA DO PROGRAMA

O programa RAMP permite a execução de cálculos e gráficos, como mostrado na Figura 9.1, aplicável a qualquer tipo de Componente (uso geral) e a um particular Sistema (Linha de produto), objeto de estudo deste trabalho. Para aplicação a outros Sistemas, é necessário alterar o programa “fonte”, de acordo com a “árvore de falhas” desejada, de modo semelhante ao apresentado na Figura 1.10.

Basicamente, o programa é aplicável ao estudo da Confiabilidade, da Manutenibilidade e da Disponibilidade, para Componentes e Sistemas, e para a verificação da influência dos Sensores (ou Comutadores) sobre cada Componente (consequentemente sobre o Sistema) e também para a troca programada de Componentes.

A estrutura do programa, como mostrado na Figura 9.1, é dividida a duas partes principais:

- Parte I: **Parte geral**, aplicável a “Componentes” e “Componentes-equivalentes”. No caso de Sistemas, admite até 48 Componentes.
- Parte II: **Parte Específica**, aplicável a Sistemas, com seus correspondentes “Componentes-Reduzidos”, por redução Série, Paralelo ou Composta. Depende de cada particular Sistema.

Na Figura 9.2 é apresentado o detalhamento do programa RAMP, para identificar e relacionar todos os parâmetros dos Componentes (Taxas de falhas, Recolocações, Parâmetros de forma, etc.), e mostrar como o fluxo de dados e cálculos são efetuados, inclusive para Sistemas Reparáveis, com troca total ou parcial de Componentes.

Quanto aos Sensores, existem três opções básicas; em cada módulo de cálculo:

1. Sem Sensor, ou seja, os valores calculados correspondem ao próprio Componente;
2. Sensor Real, cujos valores das taxas de falhas, Recolocações e Parâmetros de Forma são introduzidos individualmente (opção Componentes) ou por meio de Tabelas (opção Sistemas);
3. Sensor Perfeito, para os quais admite-se os valores indicados nos Capítulos 5 a 7.

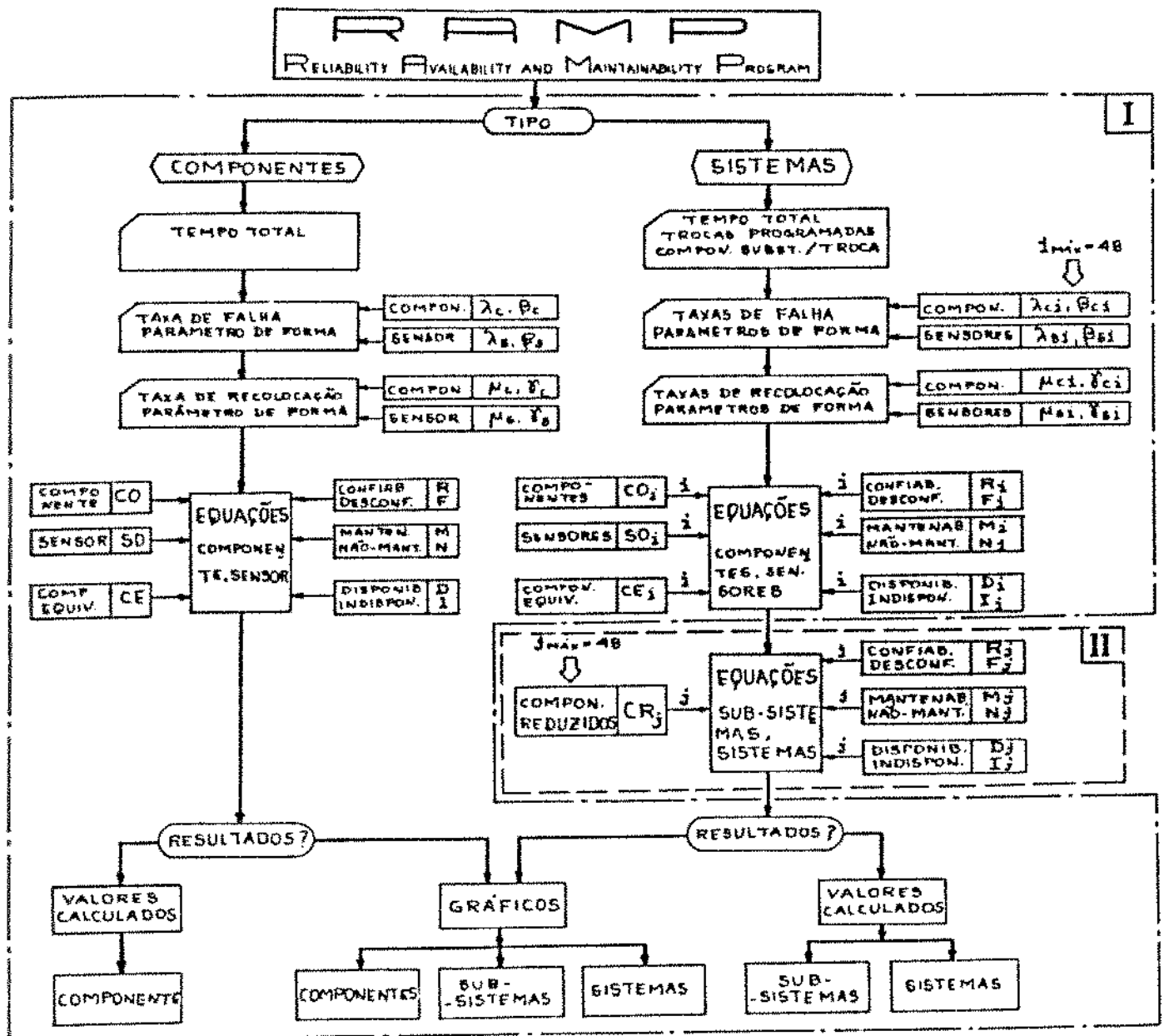


Figura 9.1: Estrutura do programa RAMP.

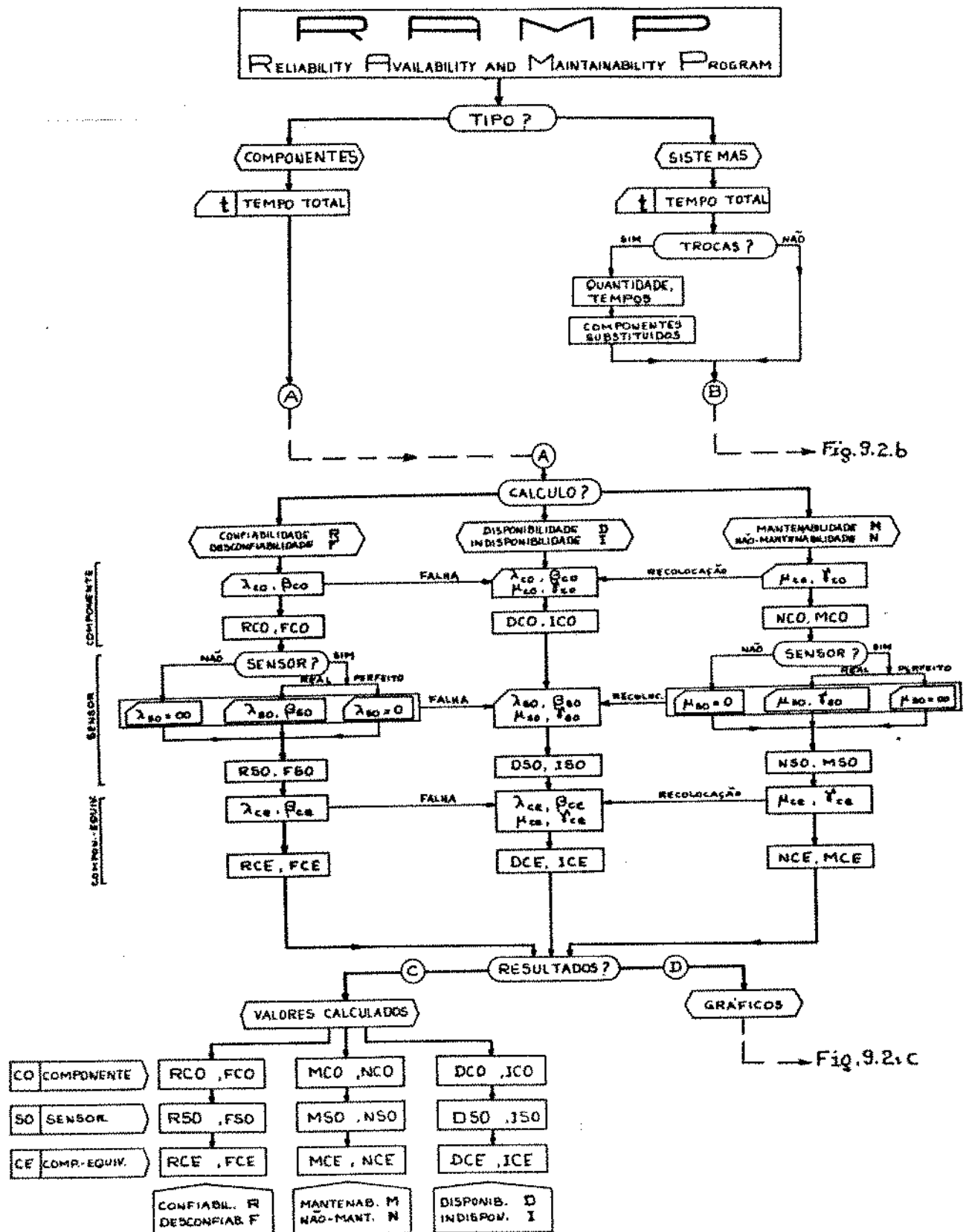


Figura 9.2: (a) Detalhamento da estrutura do programa RAMP.

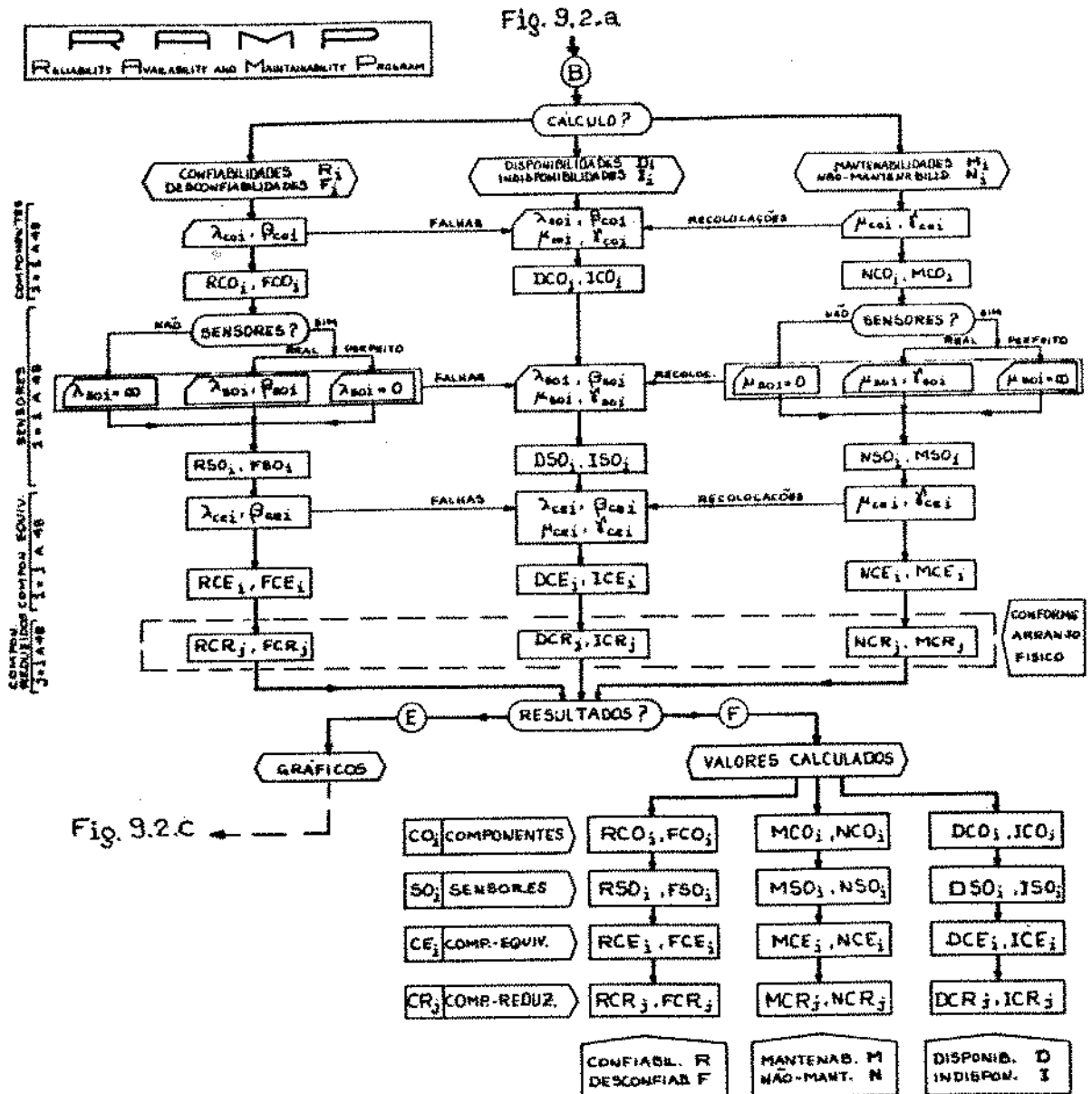


Figura 9.2: (b) Detalhamento da estrutura do programa RAMP (cont.).

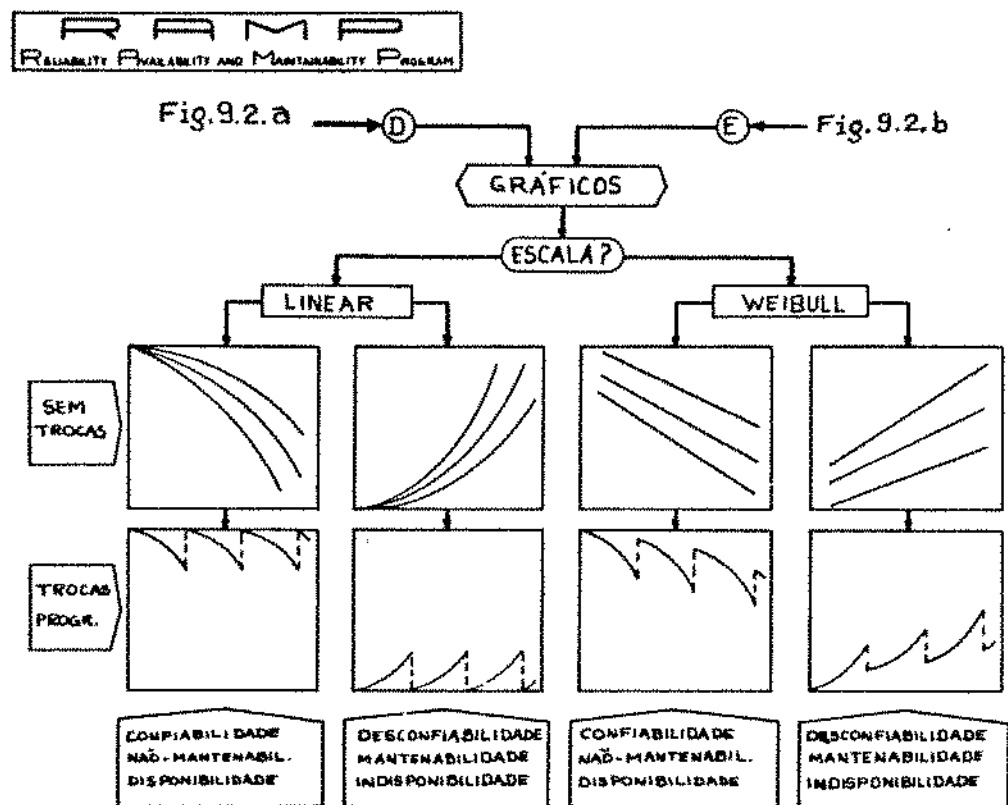


Figura 9.2: (c) Detalhamento da estrutura do programa RAMP (cont.).

Embora de estrutura e concepção complexas, o programa foi desenvolvido para ser “amigável”, na forma de “menu” e com passos ao longo do processo de cálculo comandados por opções tipo 1,2,3... ou A,B,C,D..., S/N (Sim ou Não), digite “Enter”, ou seja, é de fácil operação, não exigindo conhecimento de programação e comando de computadores.

Para todas as opções de cálculo, tem-se os seguintes quadros principais de prosseguimento:

a) Escolha do tipo de análise:

1. Confiabilidade/Desconfiabilidade
2. Disponibilidade/Indisponibilidade
3. Manutenibilidade/Não-Manutenibilidade
4. Fim

b) Escolha do cálculo:

1. Componente

2. Sistema

3. Fim

c) Tipo de Sistema:

1. Sem Sensor

2. Sensor Real

3. Sensor Perfeito

d) Tipos de gráficos (Componentes ou Sistemas):

1. Weibull, para Confiabilidade

2. Linear, para Confiabilidade

3. Weibull, para Desconfiabilidade

4. Linear, para Desconfiabilidade

1. Weibull, para Disponibilidade

2. Linear, para Disponibilidade

3. Weibull, para Indisponibilidade

4. Linear, para Indisponibilidade

1. Weibull, para Manutenibilidade

2. Linear, para Manutenibilidade

3. Weibull, para Não-Manutenibilidade

4. Linear, para Não-Manutenibilidade

Estas opções são apresentadas na Figura 9.2(c), correspondendo a 8 diferentes alternativas e 24 tipos de gráficos, considerando-se a troca de Componentes.

Na Figura 9.2(a) são apresentadas as opções de cálculo para Componentes e na Figura 9.2(b), as opções de cálculo para Sistemas, num total de 21 tipos (Confiabilidades, Desconfiabilidades, Disponibilidades, etc.), relativas aos Componentes, Componentes- Equivalentes e Componentes- Reduzidos. Considerando-se os três tipos de Sensores resultam 63 opções e ainda os dois tipos de Sistemas (reparáveis e não-reparáveis), chega-se a um total de 99 diferentes tipos de cálculos.

A apresentação (identificação) do programa RAMP é apresentada na Figura 9.3 com duração de aproximadamente 6 segundos, após o qual surge a Figura 9.4 para a escolha do tipo de análise (opções básicas de cálculo). A opção 4 (Fim) encerra o programa, após o qual o Computador pode ser desligado (por exemplo Fim, WOFF, etc.), com o correspondente levantamento da cabeça de leitura do disco rígido, ou reativado com o comando ENTER.

UNICAMP

Faculdade de Engenharia Mecânica

Departamento de Projeto Mecânico

Programa para cálculo da Confiabilidade, Disponibilidade
e da Manutenibilidade de Componentes e Sistemas

RAMP

Reliability, Availability and Maintainability Program

Autores: Henrique da Costa Fagundes (Programação)
Carlos Alberto do Prado Guido (Gráficos)
Waldemar Scudeller Jr. (Versão C / X11)
Nicesio Ronan Cascone (Concepção)

Orientador: Carlos Amadeu Pallerosi

Digite uma tecla para continuar:

Figura 9.3: Apresentação do programa RAMP.

RAMP	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Escolha do Tipo de Análise	
1 - Confiabilidade/Desconfiabilidade 2 - Disponibilidade/Indisponibilidade 3 - Manutenibilidade/Não Manutenibilidade 4 - Fim	
Escolha o número e digite-o	

Figura 9.4: Abertura do programa (opções básicas de análise).

9.2 CONFIABILIDADE DE COMPONENTES

9.2.1 Cálculo da Confiabilidade (R) e Desconfiabilidade (F)

- passo 1 : Opção 1 (Confiabilidade/Desconfiabilidade), Figura 9.4.
- passo 2 : Opção 1 (Componente) da Figura 9.5.
- passo 3 : Digitar os valores da Taxa de falha (λ_c) e Parâmetro de forma (β_c) do Componente (o valor de λ_c será automaticamente multiplicado por 10^{-6}), como mostrado na Figura 9.6.
- passo 4 : Opção 1 (Confiabilidade/Desconfiabilidade) da Figura 9.7 (escolha do cálculo).
- passo 5 : Opção 2 (Sensor real) da Figura 9.8 (Tipo de Sistema);
Nota: para as opções 1 (Sem Sensor) ou 2 (Sensor Perfeito), não existe o passo 6 (a seguir), pois o programa assume automaticamente os valores necessários.
- passo 6 : Digitar os valores da Taxa de Falha (λ_s) e Parâmetro de forma (β_s) do Sensor (o valor de λ_s será automaticamente multiplicado por 10^{-6}), como mostrado na Figura 9.9.
- passo 7 : Digitar o período desejado, no caso 8764 horas, como apresentado na Figura 9.10.
- passo 8 : Apresentação dos valores calculados da Confiabilidade e da Desconfiabilidade do Componente, Sensor e Componente-equivalente, bem como dos valores admitidos para o cálculo (Taxas de falha, Parâmetros de forma), como apresentado na Figura 9.11.
- passo 9 : Digitar "S" para retornar ao passo 3 (cálculo para outro Componente), ou "N" para retornar ao passo 2.
- passo 10 : Digitar a opção desejada de cálculo (Figuras 9.4 e 9.5) ou o número correspondente à opção "Fim" do programa em andamento.

9.2.2 Cálculo do Tempo Médio até Falha (TMAF)

- passo 1 : Opção 1 (Componente) da Figura 9.5 (Tipo de análise).
- passo 2 : Digitar o valor da Taxa de falha (λ_c) e do Parâmetro de forma, como apresentado no passo 3 do exemplo anterior (item 9.2.1), e mostrado na Figura 9.6.
- passo 3 : Opção 2 (Tempo Médio Até Falha) da Figura 9.7.
- passo 4 : Opção 2 (Sensor real) da Figura 9.8.
Nota: para as opções 1 ou 3, o programa assume automaticamente os valores necessários da Taxa de Falha e Parâmetro de forma do Sensor, ou seja, não existe o passo 5 (a seguir).

- passo 5 : Digitar os valores da Taxa de Falha (λ_s) e Parâmetro de forma (β_s), como mostrado na Figura 9.9.
- passo 6 : Digitar o período desejado (no caso 8764 horas), como mostrado na Figura 9.10.
- passo 7 : Apresentação dos valores calculados, no caso TMAF = 26251 horas, e dos valores residuais das Confiabilidades do Componente, Sensor e Componente-equivalente, para verificação da precisão do valor calculado (ver Figura 9.12).
- passo 8 : Digitar “S” para retornar ao passo 3 (Figura 9.7) ou “N” para retornar ao passo 1 (Figura 9.5).

9.2.3 Gráficos da Confiabilidade e Desconfiabilidade

- passo 1 : Opção 1 (Componente) da Figura 9.5 (Tipo de análise).
- passo 2 : Digitar o valor da Taxa de falha (λ_c) e do Parâmetro de forma (β_c), Figura 9.6.
- passo 3 : Opção 3 (Gráfico), Figura 9.7.
- passo 4 : Opção 2 (Sensor real), Figura 9.8.
- passo 5 : Digitar o valor da Taxa de Falha (λ_s) e Parâmetro de forma (β_s) do Sensor, Figura 9.9.
- passo 6 : Digitar o período máximo desejado (no caso 50000 horas), que corresponde à escala horizontal do gráfico (Figura 9.13).
- passo 7 : Digitar a opção escolhida (1 a 4), correspondentes aos quatro diferentes tipos de gráficos (Figura 9.14); nas Figuras 9.15 a 9.18 são apresentados os gráficos correspondentes às opções 1 a 4.
- passo 8 : Apresentação do gráfico escolhido.
- passo 9 : Digitar “S” caso deseje um novo tipo de gráfico (retorno ao passo 7) e “N” para encerrar (retorno ao passo 1).

RAMP	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Escolha do Tipo de Analise	
1 - Componente	
2 - Sistema	
3 - Fim	
Escolha o numero e digite-o	

Figura 9.5: Escolha do tipo de análise.

RAMP	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Parametros do Componente	
Taxa de falha[λ_c]:	50 $\times 10^{-6}$
Parametro de forma :	1.8
Digite o valor e pressione Enter	

Figura 9.6: Valores dos parâmetros do Componente.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Escolha do Calculo	
1 - Confiabilidade/Desconfiabilidade	
2 - Tempo Medio Até Falha(TMAF)	
3 - Grafico	
Escolha o numero e digite-o.	

Figura 9.7: Escolha do tipo de cálculo, para Componentes.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Tipo de sistema	
1 - Sem sensor	
2 - Com sensor real	
3 - Com sensor perfeito	
Escolha o numero e digite-o	

Figura 9.8: Escolha da aplicação de Sensor no Componente.

RAMP		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Parametros do Sensor		
Taxa de falha:	20	$\times 10^{-6}$
Parametro de forma:	3	
Digite o valor e pressione Enter		

Figura 9.9: Valores dos parâmetros do Sensor.

RAMP		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Qual o periodo desejado ?		
Periodo:	8764	Horas
Digite o valor e pressione Enter		

Figura 9.10: Valor do período (vida) desejado.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Componente com Sensor Real		
Parametros do Componente		
Taxa de falha :	50.0	$\times 10^{-6}$
Parametro de forma :	1.8	
Parametros do Sensor		
Taxa de falha :	20.0	$\times 10^{-6}$
Parametro de forma :	3.0	
Periodo		
	8764	Horas
Resultados		
	Confiabilidade	Desconfiabilidade
Componente :	0.797343	0.202657
Sensor :	0.994629	0.005371
Componente Equivalente :	0.976948	0.023052
Calcule para outro componente (S/N) ?		

Figura 9.11: Apresentação dos valores calculados da Confiabilidade e da Desconfiabilidade.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensor Real		
Parametros do Componente		
Taxa de falha :	50.0	$\times 10^{-6}$
Parametro de forma :	1.8	
Parametros do Sensor		
Taxa de falha :	20.0	$\times 10^{-6}$
Parametro de forma :	3.0	
Tempo Medio Até Falha (TMAF)		
	26251	Horas
Confinabilidade Residual		
Confiabilidade do Componente :	0.000459	
Confiabilidade do Sensor :	0.147215	
Confiabilidade do Componente Equivalente :	0.000979	
Calcule para outro componente (S/N) ?		

Figura 9.12: Apresentação do valor calculado do Tempo Médio Até Falha.

9.3 DISPONIBILIDADE DE COMPONENTES

9.3.1 Cálculo Disponibilidade (D) e Indisponibilidade (I)

- Passo 1 : Opção 2 da Figura 9.4 (Disponibilidade/Indisponibilidade).
- Passo 2 : Opção 1 da Figura 9.5 (Componente).
- Passo 3 : Digitar os valores da Taxa de Falha (λ_c), Parâmetro de forma (β_c), Taxa de Recolocação em serviço (μ_c) e Parâmetro de forma (γ_c) do Componente (Figura 9.19).
- Passo 4 : Opção 1 da Figura 9.20 (Disponibilidade/Indisponibilidade).
- Passo 5 : Opção 2 da Figura 9.8 (Sensor Real); caso tenha escolhido as opções 1 ou 3, não existe o passo seguinte (passo 6).
- Passo 6 : Digitar os valores da Taxa de Falha (λ_s), Fator de forma (β_s), Taxa de Recolocação em serviço (μ_s) e Parâmetro de forma da Recolocação (γ_s) do Sensor (Figura 9.21).
- Passo 7 : Digitar o período (vida) desejado (no caso 120 horas), Figura 9.21.
- Passo 8 : Apresentação dos valores calculados (Figura 9.23) da Disponibilidade e Indisponibilidade, para o Componente, Sensor e Componente-Equivalente.
- Passo 9 : Digitar "S" caso deseje um outro cálculo (retorno ao passo 3) ou "N" para retornar ao passo 2.

9.3.2 Tempo Médio até Indisponibilidade

- Passo 1 : Opção 2 da Figura 9.4 (Disponibilidade/Indisponibilidade).
- Passo 2 : Opção 1 da Figura 9.5 (Componente).
- Passo 3 : Digitar os Parâmetros do Componente (Figura 9.19).
- Passo 4 : Opção 2 da Figura 9.20 (Tempo Médio até Indisponibilidade).
- Passo 5 : Opção 2 da Figura 9.8 (Sensor Real).
Nota: para as opções 1 e 3, não existe o passo 6.
- Passo 6 : Digitar os Parâmetros do Sensor (Figura 9.21).
- Passo 7 : Apresentação do valor calculado do TMAI, no caso 102 horas, e dos valores residuais das Disponibilidades (Componente, Sensor e Componente-Equivalente), para verificação da precisão do cálculo efetuado (Figura 9.24).
- Passo 8 : Digitar "S" caso deseje um novo cálculo do TMAI (retorno ao passo 3), ou "N" para encerrar o procedimento e retornar ao passo 2.

9.3.3 Gráficos da Disponibilidade e Indisponibilidade

- Passo 1 : Opção 2 da Figura 9.4 (Disponibilidade/Indisponibilidade).

- Passo 2 : Opção 1 da Figura 9.5 (Componente).
- Passo 3 : Digitar os Parâmetros do Componente (Figura 9.19).
- Passo 4 : Opção 3 da Figura 9.20 (Gráfico).
- Passo 5 : Opção 2 da Figura 9.8 (Sensor Real).
Nota: para as opções 1 e 3, não existe o passo 6.
- Passo 6 : Digitar os Parâmetros do Sensor (Figura 9.21).
- Passo 7 : Digitar o período máximo, no caso 1000 horas, que corresponde à escala horizontal do gráfico (idem Figura 9.13).
- Passo 8 : Selecionar a opção desejada, dentre os 4 tipos disponíveis de gráficos, caso tenha digitado a opção "1", resulta a Figura 9.25.
- Passo 9 : Digitar "S" caso deseje outro tipo de gráfico, com retorno ao passo 8, resultando as Figuras 9.26 a 9.28 para as opções 2 a 4. Caso tenha digitado "N", o programa retorna ao passo 2. Digitando-se a opção 3 (Fim) o programa retorna ao passo 1.

9.4 MANTENABILIDADE DE COMPONENTES

9.4.1 Cálculo da Manutenibilidade (M) e da Não-Manutenibilidade (N)

- Passo 1 : Opção 3 da Figura 9.4 (Manutenibilidade/Não-Manutenibilidade).
- Passo 2 : Opção 1 da Figura 9.5 (Componente).
- Passo 3 : Digitar os valores da Taxa de Recolocação em Serviço (μ_c) e Parâmetro de forma (γ_c) do Componente (Figura 9.29).
- Passo 4 : Opção 1 da Figura 9.30 (Manutenibilidade/Não-Manutenibilidade).
- Passo 5 : Opção 2 da Figura 9.8 (Sensor Real); caso tenha escolhido as opções 1 ou 3, não existe o passo seguinte (passo 6).
- Passo 6 : Digitar os valores da Taxa de Recolocação em Serviço (μ_s) e Parâmetro de forma (γ_s) do Sensor (Figura 9.31).
- Passo 7 : Digitar o período desejado (no caso 120 horas) Figura 9.22.
- Passo 8 : Apresentação dos valores calculados (Figura 9.32) da Manutenibilidade e Não-Manutenibilidade, para o Componente, Sensor e Componente-Equivalente.
- Passo 9 : Digitar "S" caso deseje outro cálculo (retorno ao passo 3), ou "N" para retornar ao passo 2.

9.4.2 Cálculo do Tempo Médio até Recolocação (TMAR)

- Passo 1 : Opção 3 da Figura 9.4 (Manutenibilidade/Não-Manutenibilidade).
- Passo 2 : Opção 1 da Figura 9.5 (Componente).
- Passo 3 : Digitar os valores da Taxa de Recolocação em Serviço (μ_c) e Parâmetro de forma (γ_c) do Componente (Figura 9.27).

- Passo 4 : Opção 2 da Figura 9.30 (Tempo Médio Até Recolocação).
- Passo 5 : Opção 2 da Figura 9.8 (Sensor Real); caso tenha escolhido as opções 1 ou 3, não existe o passo seguinte (passo 6).
- Passo 6 : Digitar os valores da Taxa de Recolocação em Serviço (μ_s) e Parâmetro de forma (γ_s) do Sensor (Figura 9.31).
- Passo 7 : Apresentação do valor calculado do TMAR, no caso 120 horas, e dos valores residuais das Manutenibilidades (Componente, Sensor, Componente-Equivalente), para verificação da precisão do cálculo efetuado (Figura 9.33).
- Passo 8 : Digitar "S" caso deseje um novo cálculo do TMAR (retorno ao passo 3), ou "N" para encerrar o prosseguimento e retornar ao passo 2.

9.4.3 Gráficos da Manutenibilidade/Não-Manutenabilidade

- Passo 1 : Opção 3 da Figura 9.4 (Manutenibilidade/Não-Manutenabilidade).
- Passo 2 : Opção 1 da Figura 9.5 (Componente).
- Passo 3 : Digitar os parâmetros da Recolocação em Serviço do Componente (Figura 9.27).
- Passo 4 : Opção 3 da Figura 9.30 (Gráfico).
- Passo 5 : Opção 2 da Figura 9.8 (Sensor Real); caso tenha escolhido as opções 1 ou 3, não existe o passo seguinte (passo 6).
- Passo 6 : Digitar os Parâmetros do Sensor (Figura 9.31).
- Passo 7 : Digitar o período máximo (no caso 120 horas) Figura 9.34.
- Passo 8 : Selecionar a opção desejada (Figura 9.35) dentre os 4 tipos disponíveis de gráficos. Caso tenha digitado a opção 1, resulta a Figura 9.36.
- Passo 9 : Digitar "S" caso deseje outro tipo de gráfico, com retorno ao passo 8, resultando as Figuras 9.37 a 9.39, para as opções 2 a 4. Caso tenha digitado "N", o programa retorna ao passo 2; digitando-se a opção 3 (Fim), retorna-se ao passo 1.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Qual o Período Máximo ?		
Período:	50000	Horas
Digite o valor e pressione Enter		

Figura 9.13: Valor do período (Vida) máximo desejado no gráfico.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Tipo de gráfico		
1 - Weibull p/ Confiabilidade		
2 - Linear p/ Confiabilidade		
3 - Weibull p/ Desconfiabilidade		
4 - Linear p/ Desconfiabilidade		
Escolha o número e digite-o		

Figura 9.14: Escolha do tipo de gráfico desejado, para Componentes.

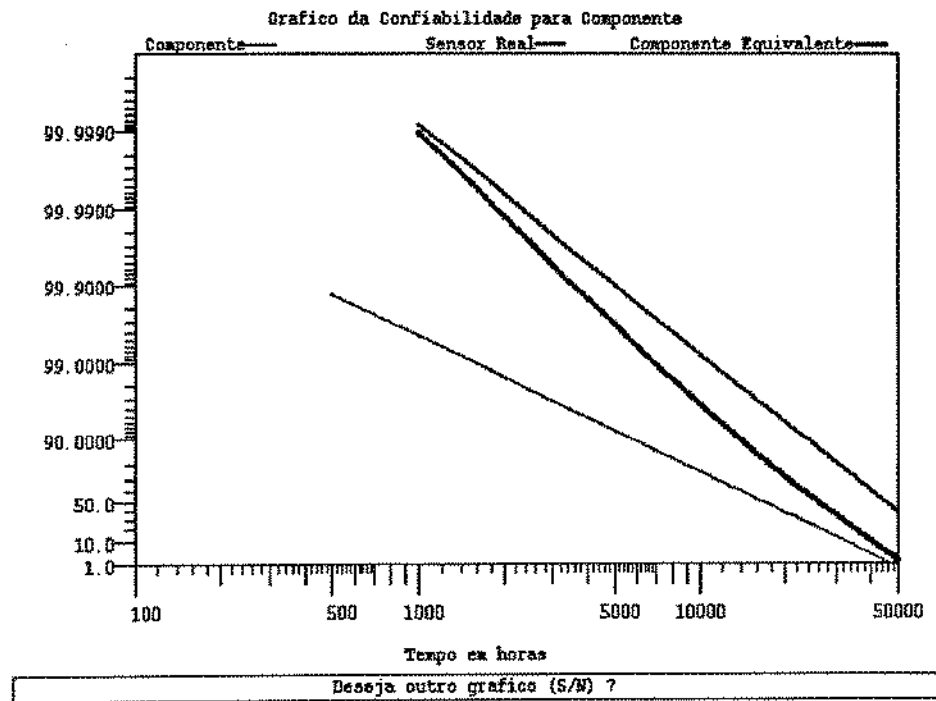


Figura 9.15: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Confiabilidade do Componente.

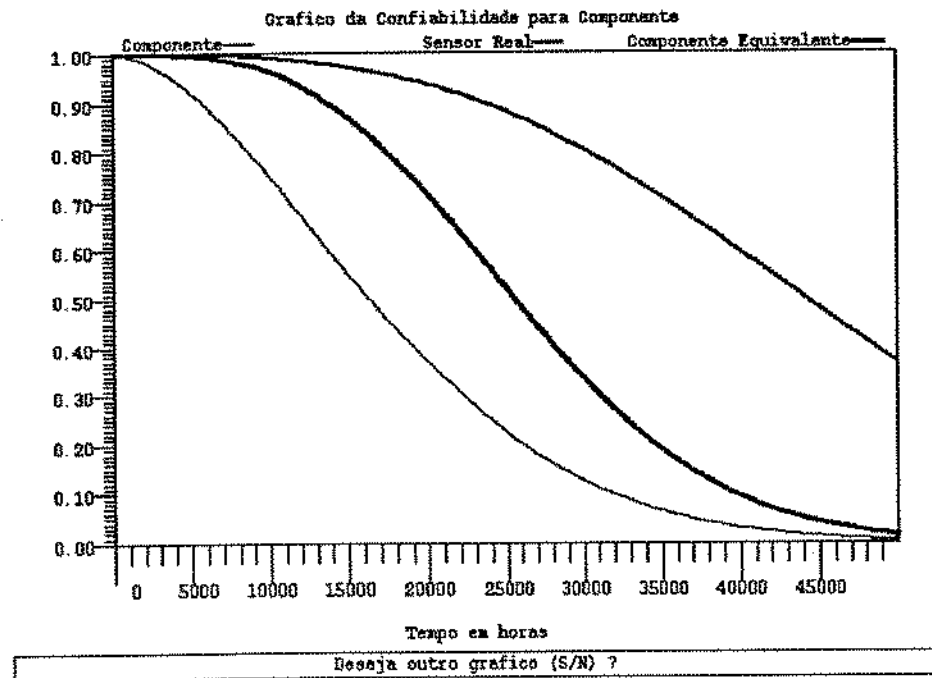


Figura 9.16: Gráfico (tipo Linear) da variação da Confiabilidade do Componente.

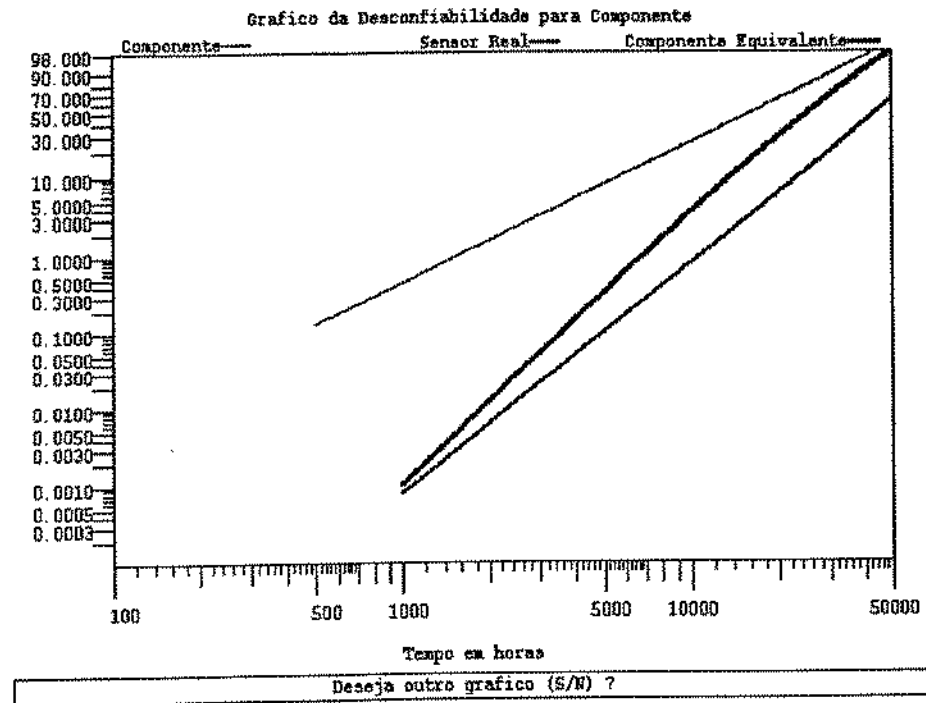


Figura 9.17: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Desconfiabilidade do Componente.

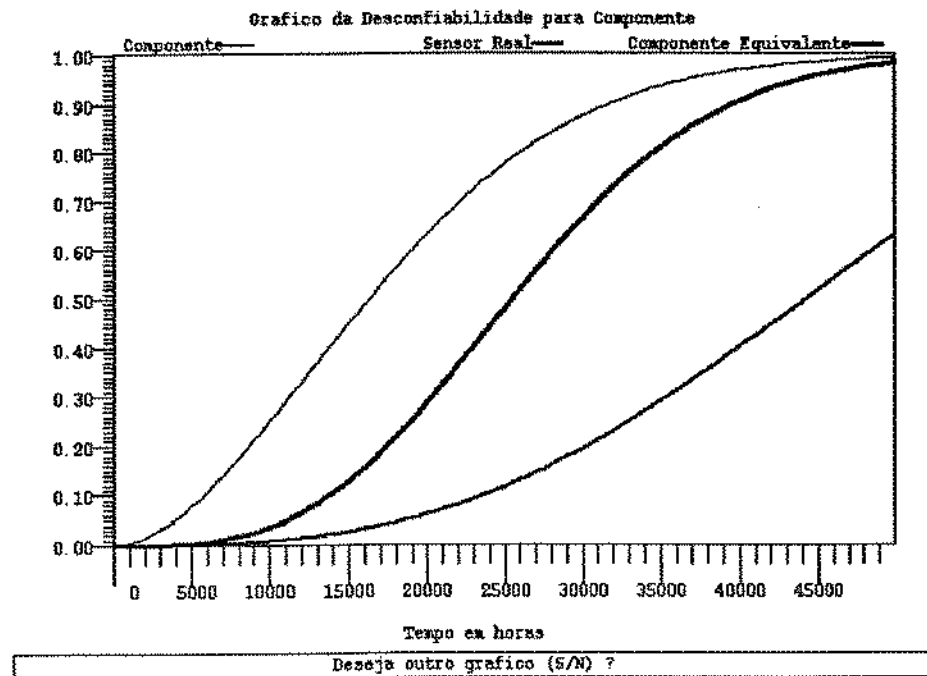


Figura 9.18: Gráfico (tipo Linear*) da variação da Desconfiabilidade do Componente.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Parametros do Componente Taxa de falha[λ]: 10165 $\times 10^{-6}$ Taxa de RS[μ]: 104000 $\times 10^{-6}$ Parametro de forma : 1.22 Parametro de Forma de RS[θ] : 3.61	
Digite o valor e pressione Enter	

Figura 9.19: Valores dos Parâmetros (Falha, Recolocação) do Componente.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Escolha do Calculo 1 - Disponibilidade/Indisponibilidade 2 - Tempo Medio Ate Indisponibilidade (TMAI) 3 - Grafico	
Escolha o numero e digite-o.	

Figura 9.20: Escolha do tipo de cálculo da Disponibilidade/Indisponibilidade do Componente.

R A M F		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Parametros do Sensor		
Taxa de falha:	18040	$\times 10^{-6}$
Parametro de forma:	1.36	
Taxa de RS[Ms]:	21100	$\times 10^{-6}$
Parametro de Forma de RS[Cs] :	4.15	
Digite o valor e pressione Enter		

Figura 9.21: Valores dos Parâmetros (Falha, Recolocação) do Sensor.

R A M F		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Qual o periodo desejado ?		
Periodo:	120	Horas
Digite o valor e pressione Enter		

Figura 9.22: Valor do período (Vida) do Componente.

R A M P					
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas					
Componente com Sensor Real					
Parametros do Componente					
Taxa de falha :	10165.0	$\times 10^6$	Taxa de RS[Mc] :	104000.0	$\times 10^6$
Parametro de forma :	1.2		Parametro de Forma de RS[Gc] :	3.6	
Parametros do Sensor					
Taxa de falha :	18040.0	$\times 10^6$	Taxa de RS[Ms] :	21100.0	$\times 10^6$
Parametro de forma :	1.4		Parametro de Forma de RS[Gs] :	4.2	
Periodo					
120 Horas					
Resultados					
		Disponibilidade		Indisponibilidade	
Componente	:	0.999859		0.000141	
Sensor	:	0.942947		0.057053	
Componente Equivalente	:	0.999992		0.000008	
Calculo para outro componente (S/N) ?					

Figura 9.23: Valores calculados da Disponibilidade/Indisponibilidade do Componente.

R A M P					
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas					
Sistema com Sensor Real					
Parametros do Componente					
Taxa de falha :	10165.0	$\times 10^6$	Taxa de RS[Mc] :	104000.0	$\times 10^6$
Parametro da forma :	1.2		Parametro de Forma de RS[Gc] :	3.6	
Parametros do Sensor					
Taxa de falha :	18040.0	$\times 10^6$	Taxa de RS[Ms] :	21100.0	$\times 10^6$
Parametro de forma :	1.4		Parametro de Forma de RS[Gs] :	4.2	
Tempo Medio Ate Indisponibilidade(TMAI)					
102 Horas					
Disponibilidade Residual					
Disponibilidade do Componente			:	0.999810	
Disponibilidade do Sensor			:	0.920741	
Disponibilidade do Componente Equivalente			:	0.999985	
Calculo para outro componente (S/N) ?					

Figura 9.24: Valor calculado do Tempo Médio Até Indisponibilidade, e dos valores residuais das Disponibilidades.

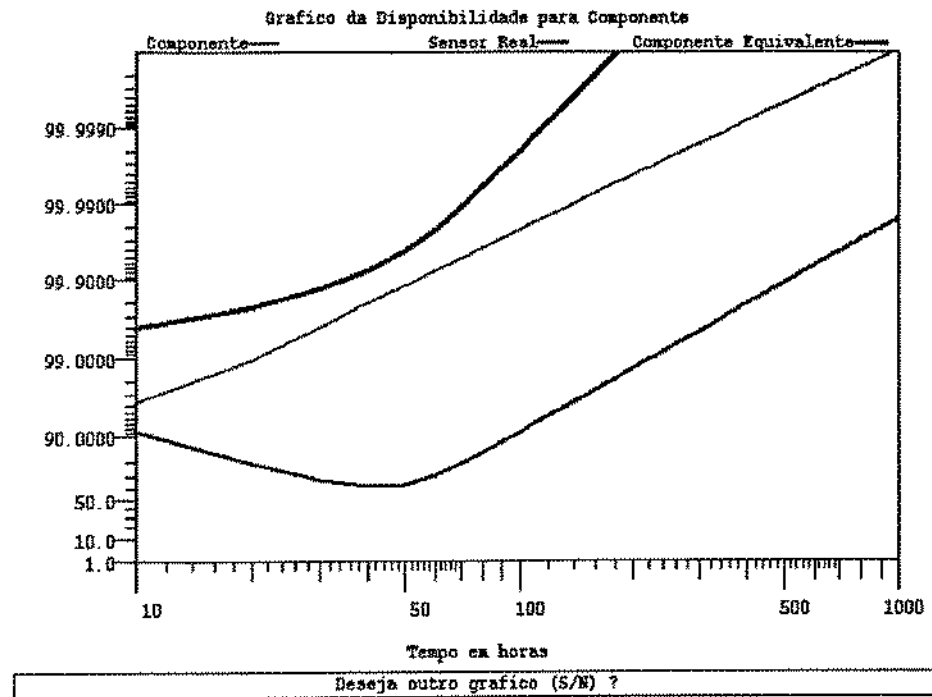


Figura 9.25: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Disponibilidade do Componente.

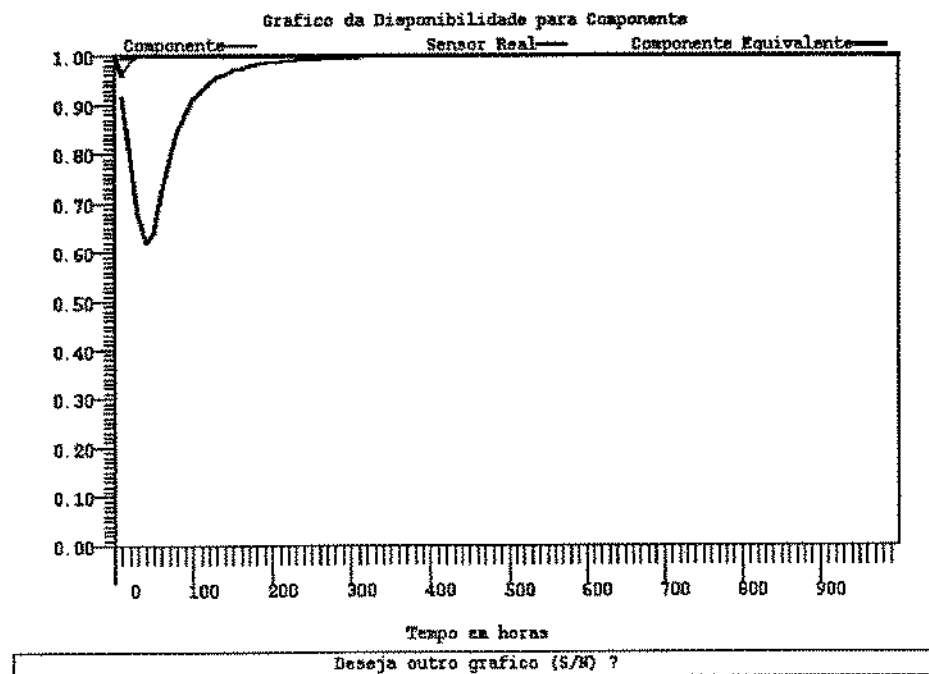


Figura 9.26: Gráfico (tipo Linear) da variação da Disponibilidade do Componente.

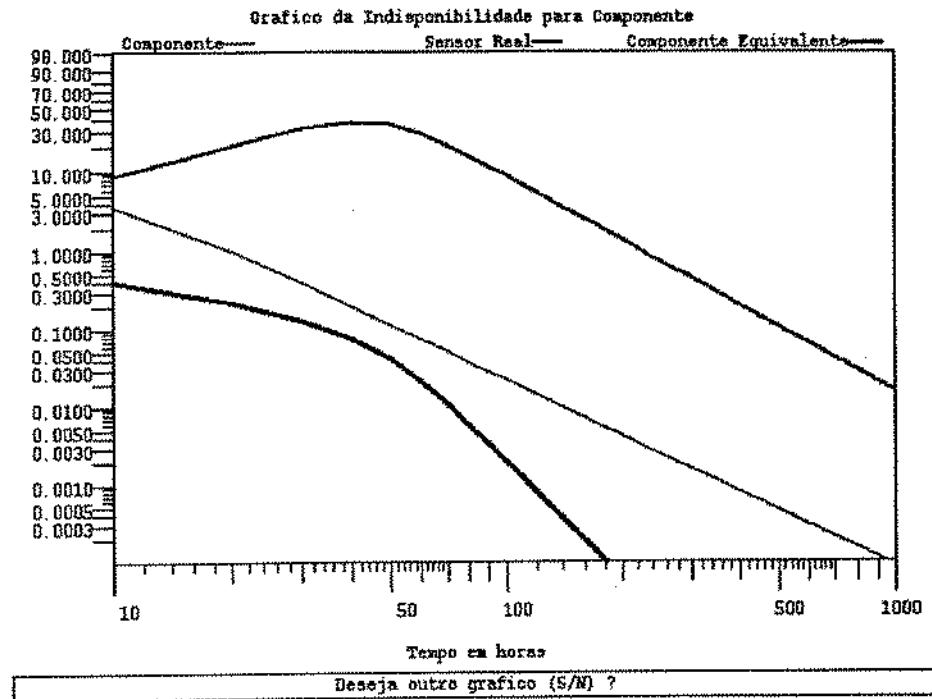


Figura 9.27: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Indisponibilidade do Componente.

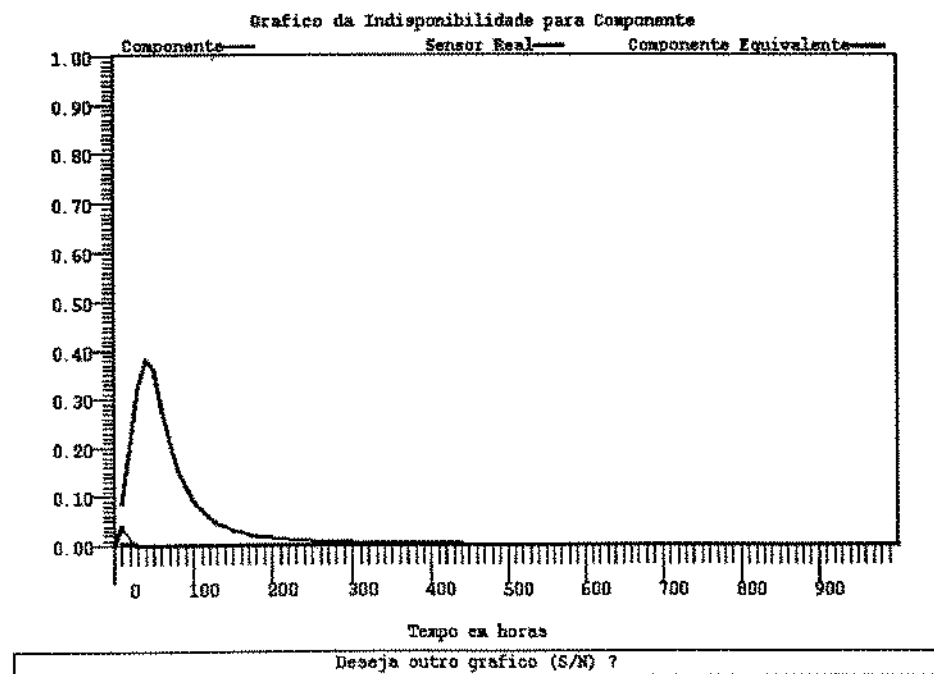


Figura 9.28: Gráfico (tipo Linear) da variação da Indisponibilidade do Componente.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Parametros do Componente	
Taxa de RS[Mc]:	104000 $\times 10^{-6}$
Parametro de Forma de RS[Mc]:	3.6
Digite o valor e pressione Enter	

Figura 9.29: Valores dos parâmetros do Componente.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Escolha do Calculo	
1 - Manutenibilidade/Nao Manutenibilidade	
2 - Tempo Medio Ate Recolocacao (TMAR)	
3 - Grafico	
Escolha o numero e digite-o.	

Figura 9.30: Escolha do tipo de cálculo da Manutenibilidade para Componentes.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenabilidade de Componentes e Sistemas	
Parametros do Sensor	
Taxa de RS[Ms]:	21100 $\times 10^6$
Parametro de Forma de RS[Os]:	4.2
Digite o valor e pressione Enter	

Figura 9.31: Valores dos parâmetros da Manutenabilidade do Sensor, para Componentes.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenabilidade de Componentes e Sistemas	
- Componente com Sensor Real	
Parametros do Componente	
Taxa de RS[Mc]:	104000.0 $\times 10^6$
Parametro de Forma de RS[Oc]:	3.6
Parametros do Sensor	
Taxa de RS[Ms]:	21100.0 $\times 10^6$
Parametro de Forma de RS[Os]:	4.2
Periodo	
120	Horas
Resultados	
	Mantenabilidade Nao Mantenabilidade
Componente :	0.999999 0.000001
Sensor :	0.999999 0.000001
Componente Equivalente :	0.999999 0.000001
Calculo para outro componente (S/N) ?	

Figura 9.32: Valores calculados da Manutenabilidade e da Não-Mantenabilidade do Componente, Sensor e Componente-Equivalente.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Sistema com Sensor Real	
Parametros do Componente	
Taxa de RS[Mc]	: 104000.0 $\times 10^6$
Parametro da Forma de RS[Gc]	: 3.6
Parametros do Sensor	
Taxa de RS[Ms]	: 21100.0 $\times 10^6$
Parametro de Forma de RS[Gs]	: 4.2
Tempo Medio Até Recolocacao (TMAR)	
11 Horas	
Manutenabilidade Residual	
Manutenabilidade do Componente	: 0.999904
Manutenabilidade do Sensor	: 0.016365
Manutenabilidade do Componente Equivalente	: 0.999027
Calculo para outro componente (S/N) ?	

Figura 9.33: Valor do Tempo Médio Até Recolocação em Serviço, do Componente.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Qual o Período Máximo ?	
Período:	120 Horas
Digite o valor e pressione Enter	

Figura 9.34: Valor do período máximo (tempo), para os gráficos da Manutenibilidade.

RAMP	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Tipo de grafico	
1 - Weibull p/ Manutenibilidade	
2 - Linear p/ Manutenibilidade	
3 - Weibull p/ Nao Manutenibilidade	
4 - Linear p/ Nao Manutenibilidade	
Escolha o numero e digite-o	

Figura 9.35: Escolha do tipo de gráfico da variação da Manutenibilidade do Componente.

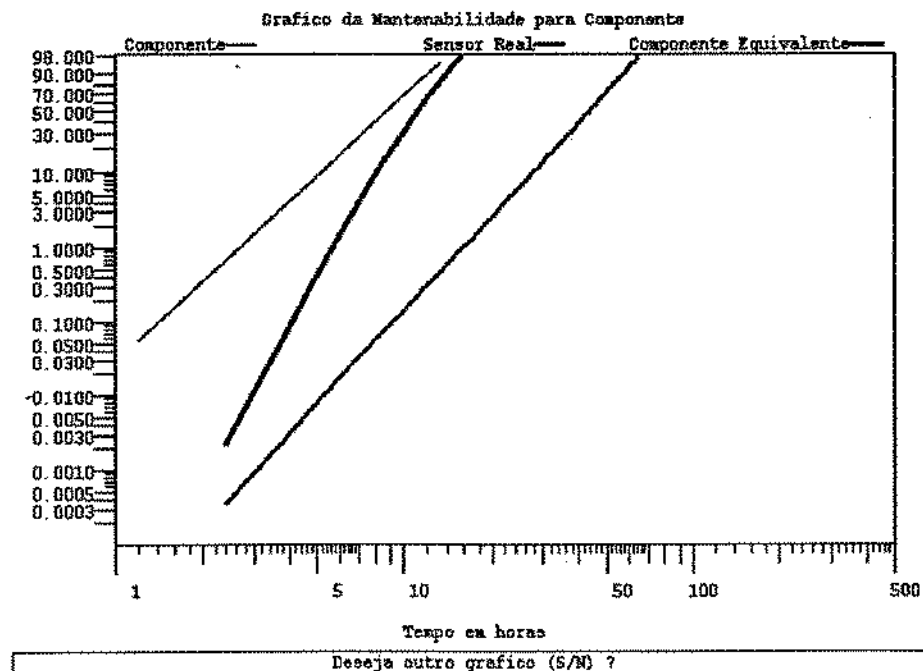


Figura 9.36: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Manutenibilidade do Componente.

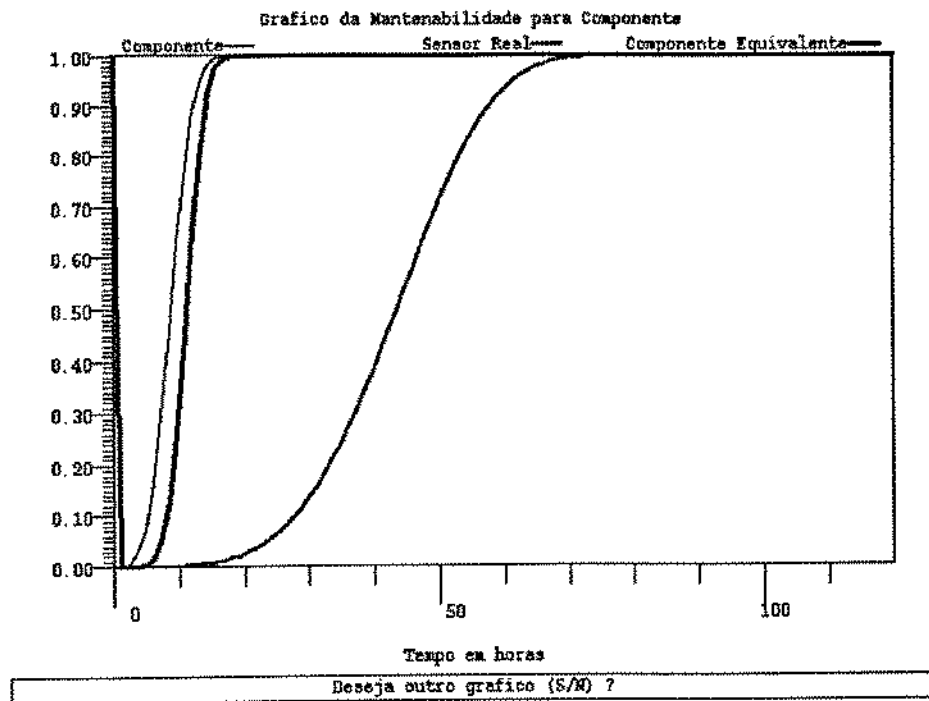


Figura 9.37: Gráfico (tipo Linear) da variação da Manutenibilidade do Componente.

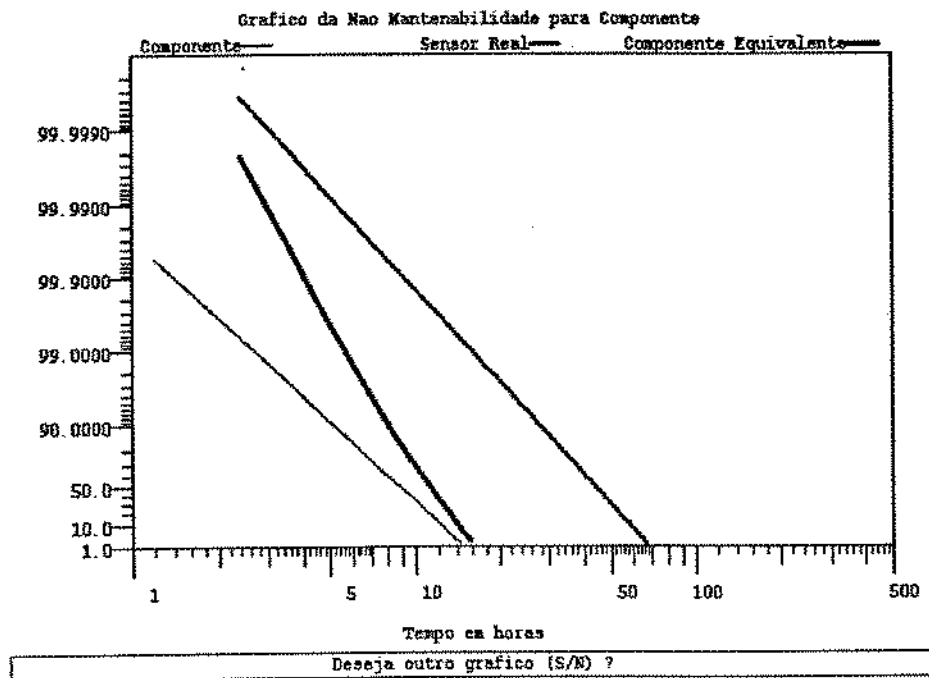


Figura 9.38: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Não-Mantenabilidade do Componente.

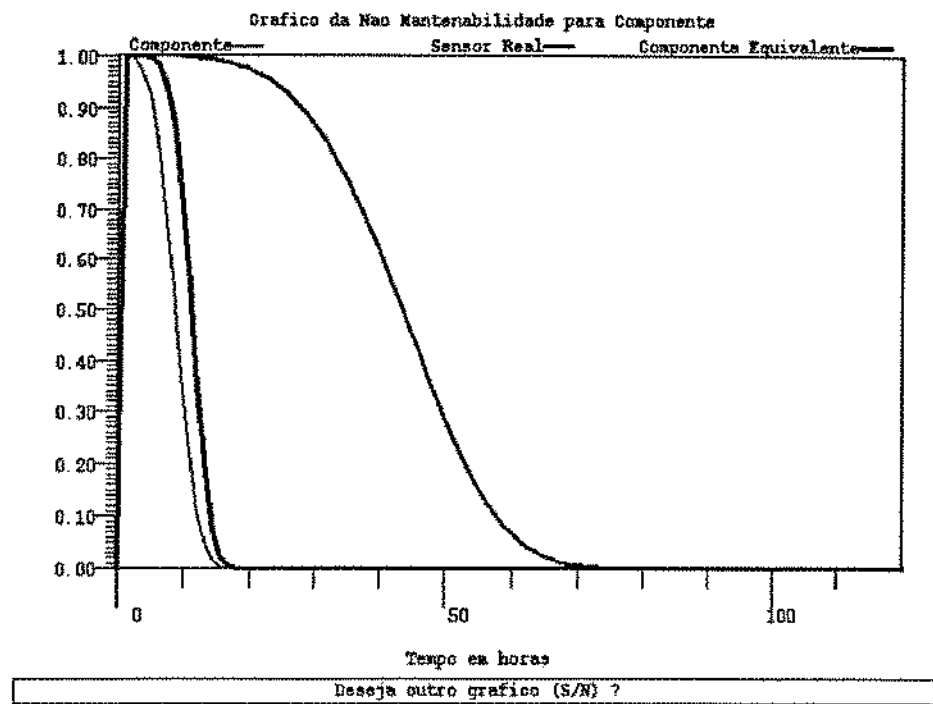


Figura 9.39: Gráfico (tipo Linear) da variação da Não-Mantenabilidade do Componente.

9.5 CONFIABILIDADE DE SISTEMAS

9.5.1 Cálculo das Confiabilidades (R_i) e Desconfiabilidades (F_i) dos Componentes

Como foi apresentado na Figura 9.1, o programa RAMP, para Sistemas, possui duas partes distintas (I,II). Na parte I o programa calcula a Confiabilidade e a Desconfiabilidade do “Componente-equivalente”, ou seja, do Componente e seu Sensor (ou Comutador). Quando não existe Sensor, o “Componente-equivalente” é o próprio Componente, calculado conforme Opção 1 da Figura 9.8. Na parte II são calculados os “Componentes-reduzidos”, próprios do particular sistema em estudo neste trabalho (Linha de produto, Figura 1.10). Na metodologia de cálculo adotada, a parte I corresponde aos passos 1 a 8, a seguir descritos, e a parte II ao passo 9.

- Passo 1 : Opção 1 da Figura 9.4 (Confiabilidade/Desconfiabilidade).
- Passo 2 : Opção 2 da Figura 9.5 (Sistema).
- Passo 3 : Apresentação das Tabelas com os valores das Taxas de falha característica (λ_{ci}) e Parâmetros de forma (β_{ci}) dos Componentes (total de 46 itens), Figura 9.40. Desejando-se modificar os valores constantes das Tabelas, adota-se a opção S(Sim), e a seguir o número de ordem do Componente, e os novos valores admitidos.
- Passo 4 : Opção “C” da Figura 9.41 (Confiabilidade/Desconfiabilidade).
Nota: As opções “A” e “B” permitem a variação dos parâmetros dos Componentes (retorno ao passo 3) ou dos Sensores (avanço para o passo 7).
- Passo 5 : Digitar o período de funcionamento, no caso 8764 horas, apresentado na Figura 9.42.
- Passo 6 : Opção 2 (Sensor Real), da Figura 9.8. Digitar “S” caso deseje visualizar os valores anteriormente adotados, e conseqüentemente modificá-los. Digitar “N” para passar diretamente ao passo 8.
- Passo 7 : Apresentação dos valores da Taxa de Falha característica (λ_{si}) e Parâmetro de forma (β_{si}) dos Sensores, Figura 9.43. Caso deseje modificar alguns valores, digitar S, a seguir o número de ordem do Sensor, e os novos valores para λ_{si} e β_{si} .
- Passo 8 : Apresentação dos valores calculados da Confiabilidade e da Desconfiabilidade “dos Componentes-equivalentes” de ordem CE01 a CE46, Figuras 9.44.

Os passos a seguir apresentados (basta digitar qualquer tecla) correspondem aos “Componentes-reduzidos” (ver Capítulo 8) e aparecem de modo sequencial, em forma de tabelas com os valores das correspondentes Confiabilidades e Desconfiabilidades:

- Passo 9 : Alimentação e dosagem de MP1, Figura 9.45.
- Passo 10 : Suprimento de Reagentes, MP4, MP5 e Água; Alimentação e controle do Reagente, Figura 9.46.
- Passo 11 : Misturador, Alimentação e Controle de MP4; Alimentação e controle de MP5, Figura 9.47.
- Passo 12 : Reator e Viscosímetro; Bomba do Produto, Figura 9.48.
- Passo 13 : Sub-sistemas e Sistema (Total), Figura 9.49.
- Passo 14 : Sistemas particulares, Figura 9.50.
- Passo 15 : Retorno ao passo 4, Figura 9.41. A opção "C" permite um novo cálculo das Confiabilidades e Desconfiabilidades dos "Componentes-reduzidos" CR01 a CR26. As opções D (Tempo Médio até Falha) e E (Gráficos) permitem a Continuidade do cálculos, sem retornar ao passo 1 (inicial), como a seguir apresentado.

9.5.2 Tempo Médio até Falha do Sistema

- Passo 1 : Opção D, Figura 9.41 (Tempo Médio até Falha).
- Passo 2 : Opção 2, Figura 9.8 (Sensor Real). Caso deseje visualizar os valores dos parâmetros dos Componentes, digitar a opção "S".
- Passo 3 : Apresentação dos valores calculados (Figura 9.51) do TMAF do Sistema, no caso 8894 horas. Digitar "ENTER" para continuar o processo de cálculo.
- Passo 4 : Retorno à Figura 9.41. Digitar F (Fim) para encerrar o seguimento com retorno à Figura 9.5, ou E (gráficos) para continuar.

9.5.3 Gráficos para Sistemas

a) Sem Manutenção (troca de Componentes)

- Passo 1 : Opção "E" da Figura 9.41 (Gráfico).
- Passo 2 : Opção 2, Figura 9.8 (Sensor real). Digitar "S" caso deseje visualizar os parâmetros adotados para os Sensores, e "N" para continuar.
- Passo 3 : Digitar o período máximo (escala horizontal), no caso 5000 horas, Figura 9.51.
- Passo 4 : Digitar "N", Figura 9.51, caso não ocorram manutenções (trocas de Componentes) no sistema em estudo.
- Passo 5 : Cálculo dos valores que geram o gráfico, até o valor escolhido para o período máximo, Figura 9.52. A seguir, digitar qualquer tecla para continuar.

- Passo 6 : Escolha do tipo de gráfico, Figura 9.14.
- Passo 7 : Digitar a opção 1 para o gráfico de variação de Confiabilidade (tipo Weibull), Figura 9.53.
- Passo 8 : Digitar "S" para retornar ao passo 6, obtendo-se sucessivamente as Figuras 9.54 a 9.56.
- Passo 9 : Digitar "N" para retornar à Figura 9.5 (Componentes/Sistemas/Fim). Caso deseje calcular Disponibilidades, Manutenibilidades, digitar a opção 3 (Fim), retornando à Figura 9.4.

b) Com Manutenção (troca de Componentes)

Os passos 1 a 3 são idênticos ao item "a".

- Passo 4 : Digitar "S", Figura 9.51, caso ocorram manutenções (trocas de Componentes).
- Passo 5 : Digitar os períodos entre Manutenções, Figura 9.57. No caso, foram escolhidos duas trocas, a 700 e 1400 horas.
- Passo 6 : Digitar os itens (Componentes), a serem trocados na 1ª Manutenção, Figura 9.58.
- Passo 7 : Digitar os itens (Componentes), a serem trocados na 2ª Manutenção, Figura 9.59.
- Passo 8 : Aguardar o processamento dos dados, até surgir na tela a instrução "Digitar qualquer tecla para continuar". A Figura correspondente é igual à Figura 9.53.
- Passo 9 : Escolha do tipo de gráfico, Figura 9.14.
- Passo 10 : Digitar a opção 1 para o gráfico de variação da Confiabilidade (tipo Weibull), Figura 9.60.
- passo 11 : Digitar "S" para retornar ao passo 9 (Figura 9.14), obtendo-se sucessivamente os gráficos mostrados nas Figuras 9.61 a 9.63.
- passo 12 : Digitar "N" para retornar à Figura 9.5 (Componentes/Sistemas/Fim). Caso deseje calcular Disponibilidades e Manutenibilidades, digitar a opção 3 (Fim), retornando à Figura 9.4.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de Falha (Lc) e Parametro de Forma (Bc) dos Componentes				
(Sem componente insira Lc = 0 e Bc = 1)				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Taxa Falha (Lc)	Param. Forma (Bc)
01)	0120.00	Linha de Alimentacao de MP1	53.24	1.41
02)	0101.00	Linha de Alimentacao de Reagente	45.60	1.23
03)	0114.00	Linha de Alimentacao de MP4	66.72	1.54
04)	0110.00	Linha de Alimentacao de MP5	48.97	1.22
05)	0202.00	Linha de Alimentacao de Agua a 25 C°	77.40	1.37
06)	0204.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 180 # ...	92.85	1.45
07)	0206.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 300 # ...	89.60	1.32
08)	2000.00	Banho de Temperatura Controlada	10.41	1.21
09)	0120.03	Transmissor de Controle Pressao/Succao ..	15.35	2.33
10)	0120.04	Valvula de Controle Pressao/Succao	19.80	2.75
11)	1565.00	Tanque Pulmao de MP1	8.71	1.51
12)	0731.00	Bomba de MP1	105.40	2.45
13)	1812.01	Misturador de MP1	46.55	1.74
14)	1812.02	Misturador de MP1	46.55	1.74
15)	0802.00	Bomba A de MP1	28.53	2.62
16)	0803.00	Bomba B de MP1	28.53	2.62
Deseja modificar algum valor desta tela ? (S/N)				

Figura 9.40: Valores adotados para os parâmetros dos Componentes do Sistema.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de Falha (Lc) e Parametro de Forma (Bc) dos Componentes				
(Sem componente insira Lc = 0 e Bc = 1)				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Taxa Falha (Lc)	Param. Forma (Bc)
17)	0120.05	Valvula de 3 vias, A	20.21	3.03
18)	0120.06	Valvula de 3 vias, B	20.21	3.03
19)	0206.02	Valvula de Controle de Fluxo,Vapor 200 #.	6.99	2.25
20)	0206.03	Valvula de Controle de Fluxo,agua 25 C° ..	17.14	3.17
21)	2316.00	Trocador de Calor, Reagente	14.17	4.22
22)	1520.00	Tanque de Reagente, Selagem	11.12	3.95
23)	0505.00	Bomba de Reagente, Selagem	12.13	3.74
24)	2318.00	Resfriador de Reagente, Selagem	33.22	2.45
25)	0204.01	Controlador de Temperatura	20.45	1.36
26)	0101.34	Transmissor do Controlador de Fluxo	13.15	2.85
27)	0101.35	Valvula de Controle de Fluxo	10.44	1.27
28)	1201.00	Misturador	13.17	1.85
29)	1539.00	Tanque de Suprimento de MP4	31.12	3.44
30)	0508.00	Bomba de Suprimento de MP4	41.67	2.43
31)	2319.00	Aquecedor de MP4	28.76	3.16
32)	1813.00	Filtro de MP4	231.00	2.42
Deseja modificar algum valor desta tela ? (S/N)				

Figura 9.40: Valores adotados para os parâmetros dos Componentes do Sistema (cont.).

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de Falha (Lc) e Parametro de Forma (Bc) dos Componentes				
(Sem componente insira Lc = 0 e Bc = 1)				
Indice	Cod. da	Descricao da Componente	Taxa	Param.
Identif.			Falha	Forma
			(Lc)	(Bc)
33)	1913.00	Amortecedor de Alimentacao de MP4	11.14	1.16
34)	0114.02	Transmissor de Fluxo	39.68	1.75
35)	0114.03	Valvula de Controle de Fluxo	26.49	2.93
36)	1543.00	Tanque de Suprimento de MP5	13.85	4.11
37)	0509.00	Bomba de Suprimento de MP5	35.50	2.65
38)	2315.00	Aquecedor de MP5	31.06	3.35
39)	1815.00	Filtro de MP5	194.20	2.56
40)	1915.00	Amortecedor da Alimentacao de MP5	15.75	4.08
41)	0110.02	Transmissor de Fluxo de MP5	48.67	2.97
42)	0110.03	Valvula de Controle de Fluxo de MP5	41.50	2.68
43)	1302.00	Reator	103.80	1.78
44)	0809.00	Bomba	42.65	2.14
45)	4711.00	Viscosimetro	24.69	1.99
46)	0706.00	Bomba	45.81	2.30
Deseja modificar algum valor desta tela ? (S/N)				

Figura 9.40: Valores adotados para os parâmetros dos Componentes do Sistema (cont.).

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
CALCULO	
A . Variacao dos Parametros dos Componentes. B . Variacao dos Parametros dos Sensores. C . Calculo da Confiabilidade/Desconfiabilidade do Sistema. D . Calculo do Tempo Medio Atc Falha (TMAT) E . Grafico. F . Fim da Secao de Calculo para Sistema.	
Escolha uma operacao e digite a letra correspondente:	

Figura 9.41: Opções de cálculo para Confiabilidade do Sistema.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Calculo da Confiabilidade/Desconfiabilidade do Sistema	
Periodo de funcionamento	8764 Horas

Figura 9.42: Valor do período de funcionamento do Sistema.

R A M P		Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
		Taxa de Falha (Le) e Parametro de Forma (Bs) dos Sensores	
		(Com sensor perfeito insira Le = 0 e Bs = 1)	
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Sensor	Taxa Falha (Le) Param. Forma (Bs)
01)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
02)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
03)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
04)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
05)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
06)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
07)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
08)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
09)	-----	Pressao de Alimentacao de MP1, Alarma ...	9.25 1.72
10)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
11)	1565.01	Nivel do Tanque de MP1, Alarma	16.30 1.46
12)	0120.02	Pressao da Bomba de MP1, Alarma	13.17 1.84
13)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00 1.00
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)			

Figura 9.43: Valores adotados para os parâmetros dos Sensores do Sistema.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenabilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de Falha (La) e Parametro de Forma (Bs) dos Sensores				
(Com sensor perfeito insira La = 0 e Bs = 1)				
Indice	Cod. de	Descricao do Sensor	Taxa Falha (La)	Param. Forma (Bs)
	Identif.			
14)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
15)	0120.07	Pressao da Bomba A de MP1, Alarma	24.30	1.95
16)	0120.08	Pressao da Bomba B, Alarma	24.30	1.95
17)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
18)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
19)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
20)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
21)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
22)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
23)	0101.03	Pressao de Reagente	5.47	2.07
24)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
25)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
26)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)				

Figura 9.43: Valores adotados para os parâmetros dos Sensores do Sistema (cont.).

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenabilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de Falha (La) e Parametro de Forma (Bs) dos Sensores				
(Com sensor perfeito insira La = 0 e Bs = 1)				
Indice	Cod. de	Descricao do Sensor	Taxa Falha (La)	Param. Forma (Bs)
	Identif.			
27)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
28)	0120.09	Pressao de Saida do Misturador	14.79	1.16
29)	-----	Nivel do Tanque Suprim. MP4, Alarma	9.75	1.54
30)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
31)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
32)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
33)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
34)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
35)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
36)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
37)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
38)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
39)	-----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)				

Figura 9.43: Valores adotados para os parâmetros dos Sensores do Sistema (cont.).

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de Falha (La) e Parametro de Forma (Bs) dos Sensores (Com sensor perfeito insira La = 0 e Bs = 1)				
Indice Cod. de Identif.	Descricao do Sensor	Taxa Falha (La)	Param. Forma (Bs)	
40) -----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00	
41) -----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00	
42) -----	Componente sem Sensor	100000000.00	1.00	
43.1) 0120.10	Temperatura de Entrada Reator	27.23	2.65	
43.2) 0124.06	Temperatura de Saida Reator	22.50	2.35	
44) 0124.01	Pressao da Bomba	19.82	1.41	
45) 0124.04	Temperatura	26.28	2.07	
46.1) 0124.02	Pressao da Succao	10.52	1.87	
46.2) 0124.03	Pressao de Descarga	8.25	1.74	
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)				

Figura 9.43: Valores adotados para os parâmetros dos Sensores do Sistema (cont.).

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais VALORES DA CONFIABILIDADE/DESCONFIABILIDADE				
Indice Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente Confiab./Desconf.		
01) 0120.00	Linha de Alimentacao de MP1	0.710807	0.289193	
02) 0101.00	Linha de Alimentacao de Reagente	0.723517	0.276483	
03) 0114.00	Linha de Alimentacao de MP4	0.645559	0.354441	
04) 0110.00	Linha de Alimentacao de MP5	0.700265	0.299735	
05) 0202.00	Linha de Alimentacao de Agua a 25 C°	0.555663	0.444337	
06) 0204.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 180 #	0.476325	0.523675	
07) 0206.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 300 #	0.483455	0.516545	
08) 2000.00	Barho de Temperatura Controlada	0.946314	0.053686	
09) 0120.03	Transmissor de Controle Pressao/Succao	0.999856	0.000144	
10) 0120.04	Valvula de Controle Pressao/Succao	0.991937	0.008063	
11) 1565.00	Tanque Pulvao de MP1	0.998650	0.001350	
12) 0731.00	Bomba de MP1	0.793640	0.206360	
13) 1812.01	Misturador de MP1	0.810481	0.189519	
14) 1812.02	Misturador de MP1	0.810481	0.189519	
15) 0802.00	Bomba A de MP1	0.998423	0.001577	
16) 0803.00	Bomba B de MP1	0.998423	0.001577	
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.44: Valores calculados para as Confiabilidades e Desconfiabilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais				
VALORES DA CONFIABILIDADE/DESCONFIABILIDADE				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente Confiab./Desconf.	
17)	0120.05	Valvula de 3 vias, A	0.994739	0.005261
18)	0120.06	Valvula de 3 vias, B	0.994739	0.005261
19)	0206.02	Valvula de Controle de Fluxo, vapor 200#	0.998135	0.001865
20)	0206.03	Valvula de Controle de Fluxo, agua 25 C ^o	0.997547	0.002453
21)	2316.00	Trocador de Calor, Reagente	0.999850	0.000150
22)	1520.00	Tanque de Reagente, Selagem	0.999899	0.000101
23)	0505.00	Bomba de Reagente, Selagem	0.999999	0.000001
24)	2318.00	Resfriador de Reagente, Selagem	0.952518	0.047482
25)	0204.01	Controlador de Temperatura	0.907992	0.092008
26)	0101.34	Transmissor do Controlador de Fluxo	0.997886	0.002114
27)	0101.35	Valvula de Controle de Fluxo	0.953161	0.046839
28)	1201.00	Misturador	0.998220	0.001780
29)	1539.00	Tanque de Suprimento de MP4	0.999681	0.000319
30)	0508.00	Bomba de Suprimento de MP4	0.917150	0.082850
31)	2319.00	Aquecedor de MP4	0.987238	0.012762
32)	1813.00	Filtro de MP4	0.004039	0.995961
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.44: Valores calculados para as Confiabilidades e Desconfiabilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema (cont.).

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais				
VALORES DA CONFIABILIDADE/DESCONFIABILIDADE				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente Confiab./Desconf.	
33)	1913.00	Amortecedor de Alimentacao de MP4	0.934928	0.065072
34)	0114.02	Transmissor de Fluxo	0.854293	0.145707
35)	0114.03	Valvula de Controle de Fluxo	0.986236	0.013764
36)	1543.00	Tanque de Suprimento de MP5	0.999828	0.000172
37)	0509.00	Bomba de Suprimento de MP5	0.955694	0.044306
38)	2315.00	Aquecedor de MP5	0.987290	0.012710
39)	1815.00	Filtro de MP5	0.020211	0.979789
40)	1915.00	Amortecedor da Alimentacao de MP5	0.999690	0.000310
41)	0110.02	Transmissor de Fluxo de MP5	0.923472	0.076528
42)	0110.03	Valvula de Controle de Fluxo de MP5	0.935664	0.064336
43)	1302.00	Reator	0.776757	0.223243
44)	0809.00	Bomba	0.984407	0.015593
45)	4711.00	Viscosimetro	0.996786	0.003214
46)	0706.00	Bomba	0.990721	0.009279
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.44: Valores calculados para as Confiabilidades e Desconfiabilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema (cont.).

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
ALIMENTACAO E DOSAGEM DE MP1			
Sub-Sistema		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
Suprimento de MP1	RCR-01	0.710807	0.289193
Controles de Alimentacao de MP1	RCR-02	0.991794	0.008206
Tanque e Bomba de MP1	RCR-03	0.792569	0.207431
Filtros de MP1	RCR-04	0.980785	0.019215
Bombas A e B de MP1	RCR-05	0.999998	0.000002
Valvulas de 3 vias, A e B	RCR-06	0.999972	0.000028
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.45: Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades, na alimentação e dosagem de MP1.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
SUPRIMENTO DE REAGENTE, MP4, MP5 E AGUA			
Sub-Sistema		Confiabilidade/Desconfiab.	
Suprimento de Reagente, MP4 e MP5.....	RCR-07	0.327075	0.672925
Suprimento de Agua e vapor para Trocadores	RCR-08	0.127959	0.872041
Banho de Temperatura Controlada.....	RCR-09	0.946314	0.053686
ALIMENTACAO E CONTROLE DO REAGENTE			
Sub-Sistema		Confiabilidade/Desconfiab.	
Trocador e Valvulas de Controle de Fluxo....	RCR-10	0.995537	0.004463
Tanque, Bomba e Resfriador do Reagente.....	RCR-11	0.952421	0.047579
Valvulas de Controle de Fluxo do Reagente....	RCR-12	0.863632	0.136368
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.46: Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades no Suprimento de Reagentes, MP4, MP5 e Água, Alimentação e Controle do Reagente.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
MISTURADOR			
Sub-Sistema		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
Misturador (MP1, Reagente)	RCR-13	0.998220	0.001780
ALIMENTACAO E CONTROLE DE MP4			
Sub-Sistema		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
Alimentacao, Resfriamento, Filtragem e Controle de Fluxo de MP4	RCR-14	0.002880	0.997120
ALIMENTACAO E CONTROLE DE MP5			
Sub-Sistema		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
Alimentacao, Aquecimento, Filtragem e Controle de Fluxo de MP5	RCR-15	0.016470	0.983530
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.47: Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades para o Misturador, Alimentação e Controle do MP4; Alimentação e Controle do MP5.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
REATOR E VISCOSIMETRO			
Sub-Sistema		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
Reator e Viscosímetro	RCR-16	0.762187	0.237813
BOMBA DO PRODUTO			
Sub-Sistema		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
Bomba do Produto	RCR-17	0.990721	0.009279
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.48: Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades do Reator e Viscosímetro; Bomba do produto.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais				
SUB - SISTEMAS		CONFIABILIDADE/DESCONFIAB.		
Alimentacao e Controle de MP1:		RCR-18	0.547988	0.452012
Alimentacao de Reagente, MP4, MP5, Agua e Vapor: RCR-19			0.039605	0.960395
Alimentacao e Controle de Reagente:		RCR-20	0.018870	0.181130
Alimentacao e Controle de MP4 e MP5:		RCR-21	0.000047	0.999953
Reator, Viscosimetro e Bomba de Produto:		RCR-22	0.755115	0.244885
CONFIABILIDADE TOTAL DO SISTEMA COM SENSORES REAIS :			0.000001	
DESCONFIABILIDADE TOTAL DO SISTEMA COM SENSORES REAIS :			0.999999	
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.49: Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades dos Sub-sistemas e do Sistema.

R A M P Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas Sistema com Sensores Reais			
SISTEMAS PARTICULARES		CONFIABILIDADE/DESCONFIAB.	
Alimentacao, dosagem e controle de MP1:	RCR-18	0.547988	0.452012
Alimentacao, dosagem e controle de Reagente: RCR-24		0.071741	0.928259
Alimentacao, dosagem e controle de MP4:	RCR-25	0.000225	0.999775
Alimentacao, dosagem e controle de MP5:	RCR-26	0.001397	0.998603
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.50: Valores das Confiabilidades e Desconfiabilidades de Sistemas particulares.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Haverão manutenções no sistema ? (S/N)		
Qual o período máximo desejado		
Período:	5000	Horas
Deseja Alterar o Valor (S/N) ?		

Figura 9.51: Valor do período máximo (escala horizontal) do gráfico para Confiabilidades e Desconfiabilidades do Sistema.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Aguarde, processando			
Sistema com Sensor Real			
		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
5000	Horas	0.0133	0.9867
Sistema com Sensor Perfeito			
		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
5000	Horas	0.0134	0.9866
Sistema com Sensor			
		Confiabilidade/Desconfiabilidade	
5000	Horas	0.0076	0.9924
Digite uma tecla para continuar !			

Figura 9.52: Valor limite da Confiabilidade do Sistema, para o período máximo desejado.

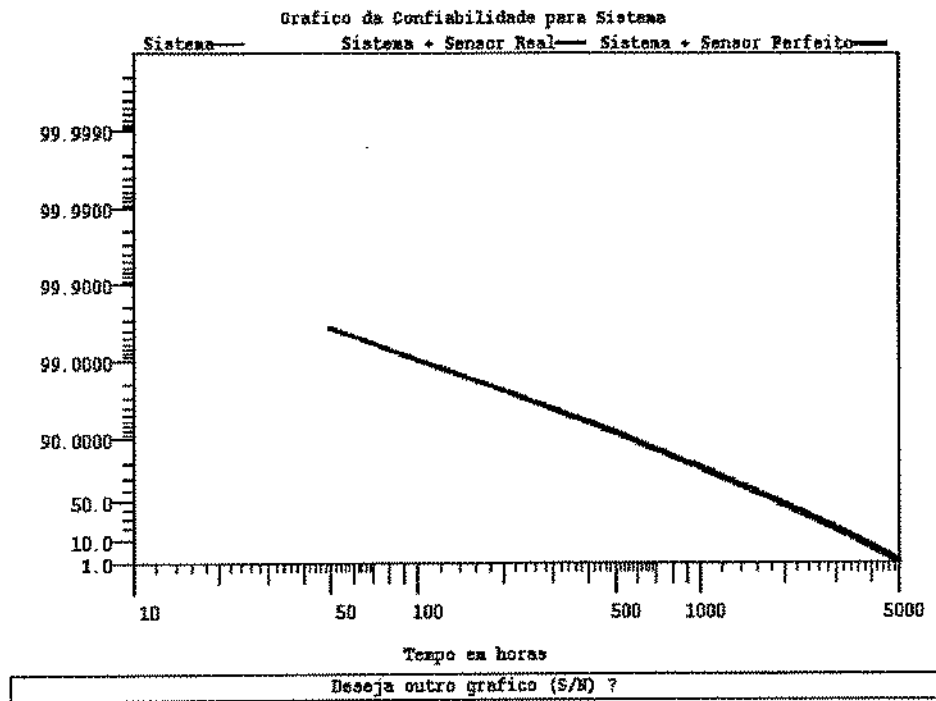


Figura 9.53: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Confiabilidade do Sistema.

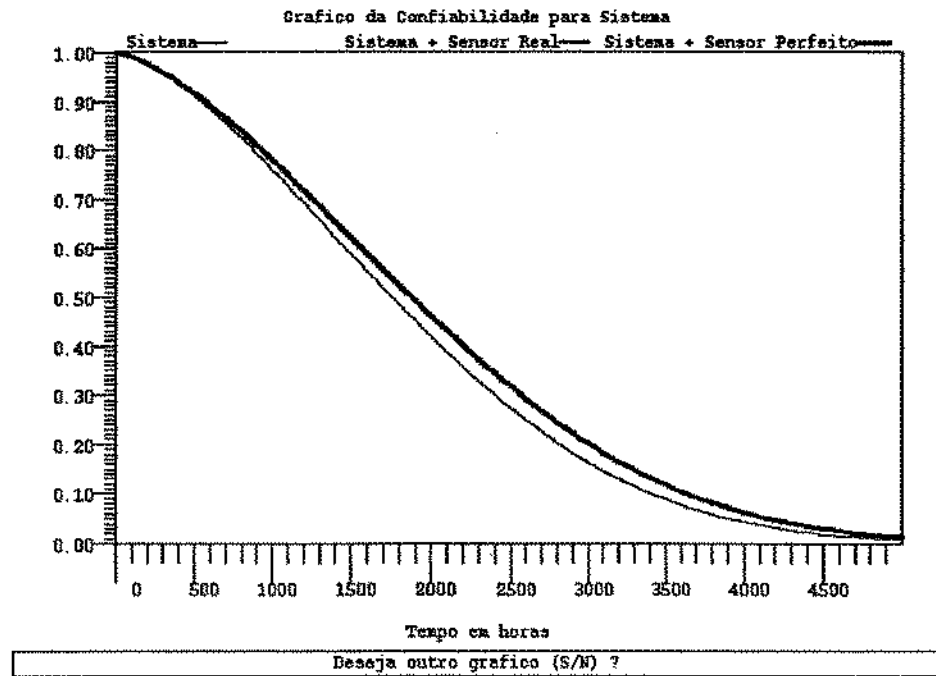


Figura 9.54: Gráfico (tipo Linear) da variação da Confiabilidade do Sistema.

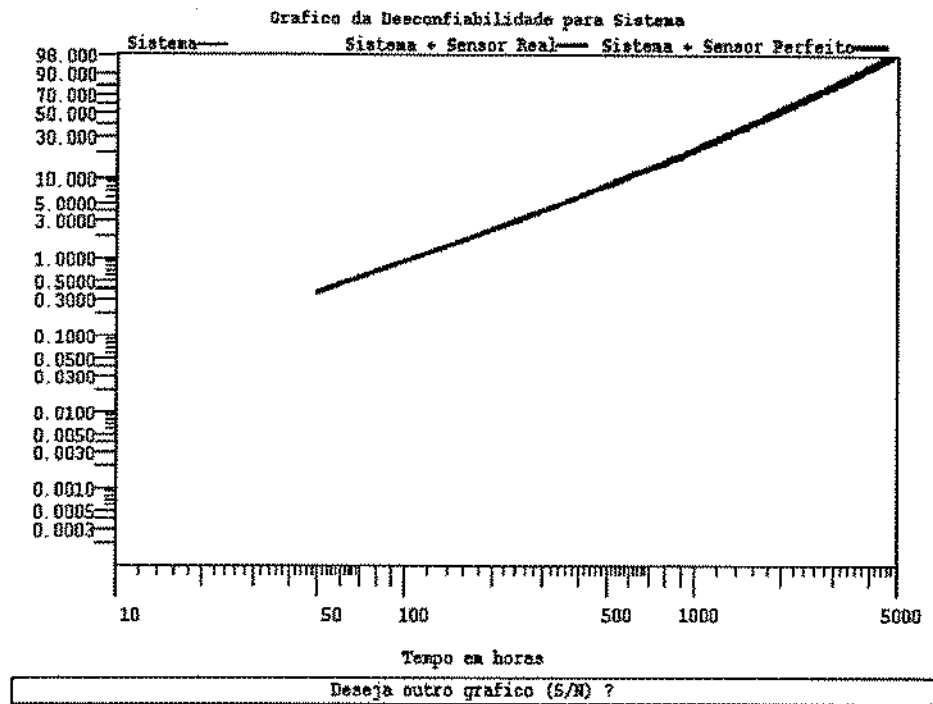


Figura 9.55: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Desconfiabilidade do Sistema.

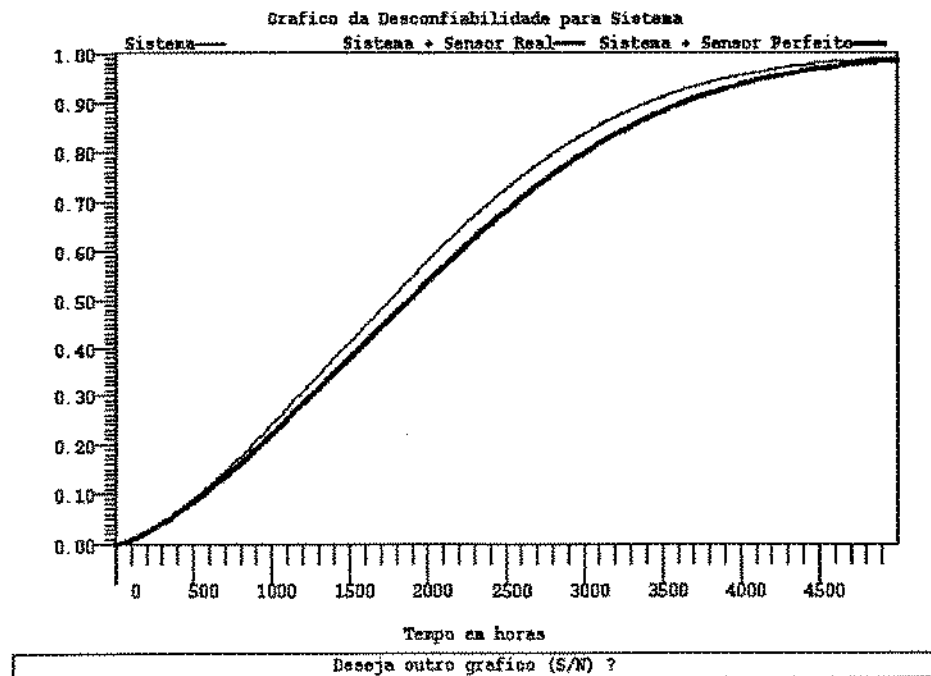


Figura 9.56: Gráfico (tipo Linear) da variação da Desconfiabilidade do Sistema.

9.6 DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS

9.6.1 Cálculo dos Valores das Disponibilidades (D_i) e Indisponibilidades (I_i)

Neste caso valem as mesmas observações apresentadas no Capítulo 9.5.1, agora relativas à Disponibilidade e Indisponibilidade.

- Passo 1 : Opção 2 da Figura 9.4 (Disponibilidade/Indisponibilidade).
- Passo 2 : Opção 1 da Figura 9.5 (Sistema).
- Passo 3 : Apresentação sequencial das Tabelas dos parâmetros das falhas dos Componentes (λ_{ci}, β_{ci}) anteriormente apresentadas (Figura 9.40) e dos parâmetros da recolocação em serviço dos Componentes (μ_{ci}, γ_{ci}), mostradas nas Figuras 9.64.
 Nota: desejando modificar os valores constantes nas tabelas, digitar a opção "S" e a seguir o número de ordem do Componente, e os novos valores admitidos.
- Passo 4 : Opção "C" da Figura 9.66 (cálculo dos valores das Disponibilidades/Indisponibilidades).
- Passo 5 : Digitar o período de funcionamento, no caso 8764 horas, (Figura idêntica à Figura 9.42).
- Passo 6 : Opção 2 (Sensores Reais), da Figura 9.8. Digitar "S" caso deseje visualizar os valores anteriormente adotados (Figura 9.43, e consequentemente modificá-los. Digitar "N" para passar diretamente ao passo 8.
- Passo 7 : Visualização dos valores dos parâmetros dos Sensores, de modo sequencial, primeiro para as falhas (γ_{si}, β_{si}), anteriormente apresentadas (Figura 9.43) e das recolocações em serviço (Figura 9.65).
- Passo 8 : Apresentação dos valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Componentes-equivalentes (CE01 a CE46), Figuras 9.67.

Os passos a seguir apresentados (basta digitar qualquer tecla) correspondem aos "Componentes-reduzidos" (ver Capítulo 8) e aparecem de modo sequencial, em forma de Tabelas com os valores das correspondentes Confiabilidades e Desconfiabilidades:

- Passo 9 : Alimentação e dosagem de MP1, Figura 9.68.
- Passo 10 : Suprimento de Reagentes, MP4, MP5 e Água; Alimentação e controle do Reagente, Figura 9.69.
- Passo 11 : Misturador, Alimentação e Controle de MP4; Alimentação e controle de MP5, Figura 9.70.
- Passo 12 : Reator e Viscosímetro; Bomba do Produto, Figura 9.71.
- Passo 13 : Sub-sistemas e Sistema Total, Figura 9.72.

- Passo 14 : Sistemas particulares, Figura 9.73.
- Passo 15 : Retorno ao passo 4 (Figura 9.66). A opção F (Fim) permite retornar à Figura 9.5 (Componente/Sistema/Fim). A opção 3 (Fim) retorna à Figura 9.4.

9.6.2 Tempo Médio Até Indisponibilidade do Sistema

Passos 1 a 3, idênticos aos apresentados no Capítulo 9.6.1.

- Passo 4 : Opção D da Figura 9.66 (cálculo do Tempo Médio Até Indisponibilidade).
- Passo 5 : Opção 2 da Figura 9.8 (Sensores Reais). Digitar "S" caso deseje visualizar os valores anteriormente adotados e consequentemente modificá-los. Digitar "N" para passar diretamente ao passo 7.
- Passo 6 : Visualização dos valores dos parâmetros dos Sensores (S001 a S046), anteriormente apresentados (Figuras 9.43 e 9.65), de modo sequencial (8 Tabelas).
- Passo 7 : Apresentação dos valores calculados do TMAI, no caso 6535 horas, Figura 9.74.
- Passo 8 : Retorno ao passo 4 (Figura 9.66). A opção F (Fim) permite retornar ao passo 2 (Figura 9.5) e novamente Fim, retornar ao passo 1 (Figura 9.4). As outras opções (A até E) novos cálculos ou gráficos.

9.6.3 Gráficos para Disponibilidade e Indisponibilidade de Sistemas

a) Sem Manutenção (Trocias)

Passos 1 a 3, idênticos ao Capítulo 9.6.1.

- Passo 4 : Opção E (Gráficos), da Figura 9.66.
- Passo 5 : Idêntico ao Capítulo 9.6.1.
- Passo 6 : Digitar o período desejado, no caso 1000 horas, (Figura 9.75) e a opção "N" (Não).
- Passo 7 : Apresentação do seguimento de cálculo (iterações) para 3 condições (Sem Sensores/Sensores reais/Sensores perfeitos) e os valores calculados para as correspondentes Disponibilidades e Indisponibilidades para o período máximo (Vida) desejado (Figura 9.76).
- Passo 8 : Escolha do tipo de gráfico (opções 1 a 4), Figura 9.77. Digitar a opção 1 para obter a Figura 9.78, correspondente às Disponibilidades no gráfico tipo Weibull.
- Passo 9 : Digitar "S" e escolher a opção desejada (Figura 9.76), obtendo os gráficos apresentados nas Figuras 9.79 a 9.81.

Passo 10 : Digitar “N” para encerrar a opção “Gráficos”, retornando ao passo 4 (Figura 9.66) e com a opção “Fim”, retornar aos passos 2 (Figura 9.5) e 1 (Figura 9.4).

b) Com Manutenção (Trocas)

Passos 1 a 5: idênticos aos apresentados no item (a).

Passo 6 : Digitar o período desejado, no caso 2 000 horas, e a opção “S” (Sim, com trocas).

Passo 7 : Digitar os períodos entre manutenções, Figura 9.57. No exemplo, foram escolhidos dois períodos, a 700 e 14 00 h.

Passo 8 : Digitar os itens (Componentes) a serem trocados na 1ª Manutenção, Figura 9.58.

Passo 9 : Digitar os itens (Componentes) a serem trocados na 2ª Manutenção, Figura 9.59.

Passo 10 : Aguardar o processo iterativo de cálculo (Figura 9.76) para geração dos pontos dos gráficos, até surgir na tela a instrução “Digitar qualquer tecla para continuar”.

Passo 11 : Opção 1 da Figura 9.77 (tipo de gráfico), obtendo a Figura 9.83 (Gráfico tipo Weibull para a Disponibilidade).

Passo 12 : Digitar a opção S (Sim) para retornar ao passo 11, obtendo sucessivamente os gráficos mostrados nas Figuras 9.84 a 9.86.

Passo 13 : Digitar “N” para encerrar a opção “Gráficos”, retornando ao passo 4 (Figura 9.66) e com a opção “Fim” aos passos 2 (Figura 9.5) e 1 (Figura 9.4).

9.7 MANTENABILIDADE DE SISTEMAS

9.7.1 Cálculo dos Valores das Manutenibilidades (M_i) e Não-Mantenabilidades (N_i)

Neste caso valem as mesmas observações apresentadas no Capítulo 9.5.1, agora relativas à Manutenibilidade e Não-Mantenabilidade.

Passo 1 : Opção 3 (Manutenibilidade/Não-Mantenabilidade) da Figura 9.4.

Passo 2 : Opção 2 (Sistema) da Figura 9.5.

Passo 3 : Apresentação das Tabelas com os valores das Taxas de Recolocação Característica (μ_{ci}) e Parâmetros de forma (γ_{ci}) dos Componentes (46 itens), Figura 9.46. Desejando modificar os valores constantes das Tabelas, adotar a opção S (Sim) e a seguir o número de ordem do Componente, e os novos valores admitidos.

Passo 4 : Opção "C" da Figura 9.87 (Mantenabilidade/Não-Mantenabilidade).

Nota: As opções "A" e "B" permitem a variação dos parâmetros dos Componentes (retorno ao passo 3) ou dos Sensores (avanço ao passo 7).

Obs: Continua na página 174.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Digite o Tempo total decorrido e tecle <<ENTER>> ! Para encerrar a leitura, digite um Tempo = "0" horas !	
Tempo total (em horas) ate a manutencao numero	: 1 700
Tempo total (em horas) ate a manutencao numero	: 2 1400
Tempo total (em horas) ate a manutencao numero	: 3 0

Figura 9.57: Períodos entre manutenções (trocas) dos Componentes do Sistema.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Troca de itens da 1ª manutenção:	
Digite o número do item e tecla <<ENTER>> !	
O item "0" encerra a leitura !	
Em caso de item com sub-índice, digite primeiro o índice !	
De: 1	Ate: 7
Item: 12	
De: 15	Ate: 20
Item: 23	
Item: 28	
Item: 30	
Item: 32	
Item: 35	
Item: 37	
Item: 39	
De: 44	Ate: 46.1
Item: 0	

Figura 9.58: Componentes a serem trocados na 1ª Manutenção do Sistema.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Troca de itens da 2ª manutenção:	
Digite o número do item e tecla <<ENTER>> !	
O item "0" encerra a leitura !	
Em caso de item com sub-índice, digite primeiro o índice !	
Item: 5	
De: 12	Ate: 16
Item: 23	
De: 25	Ate: 27
Item: 31	
Item: 35	
Item: 39	
Item: 43.2	
Item: 0	

Figura 9.59: Componentes a serem trocados na 2ª Manutenção do Sistema.

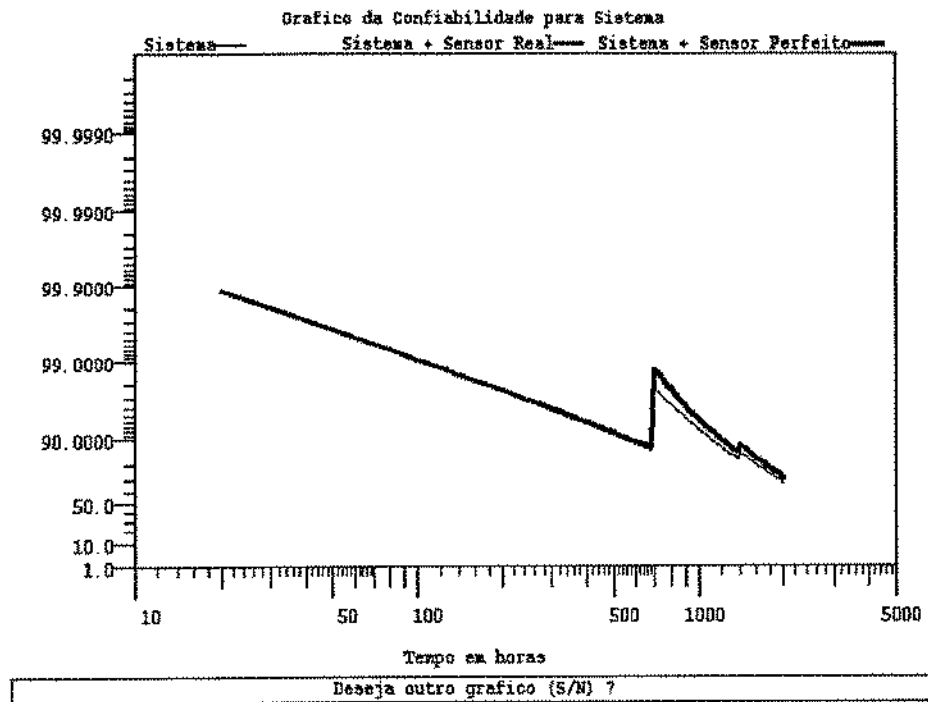


Figura 9.60: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Confiabilidade do Sistema, com troca de Componentes.

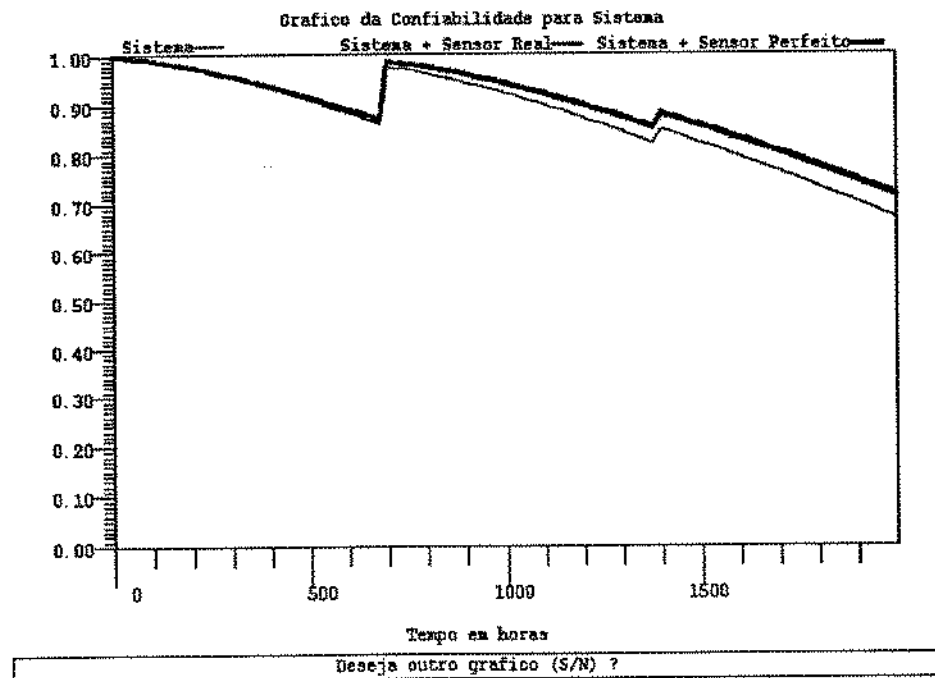


Figura 9.61: Gráfico (tipo Linear) da variação da Confiabilidade do Sistema, com troca de Componentes.

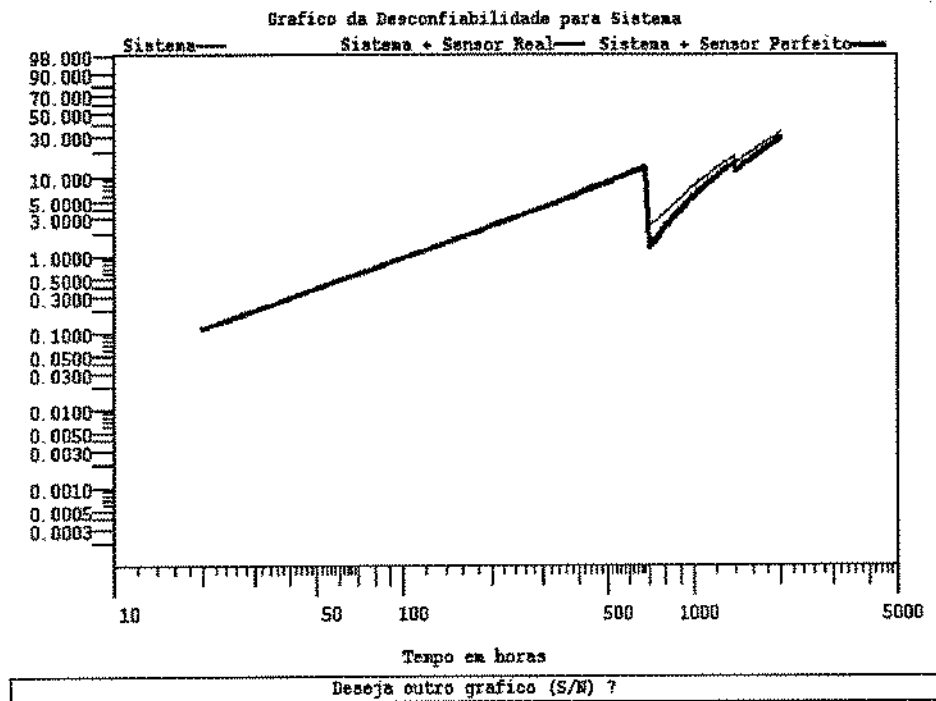


Figura 9.62: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Desconfiabilidade do Sistema, com troca de Componentes.

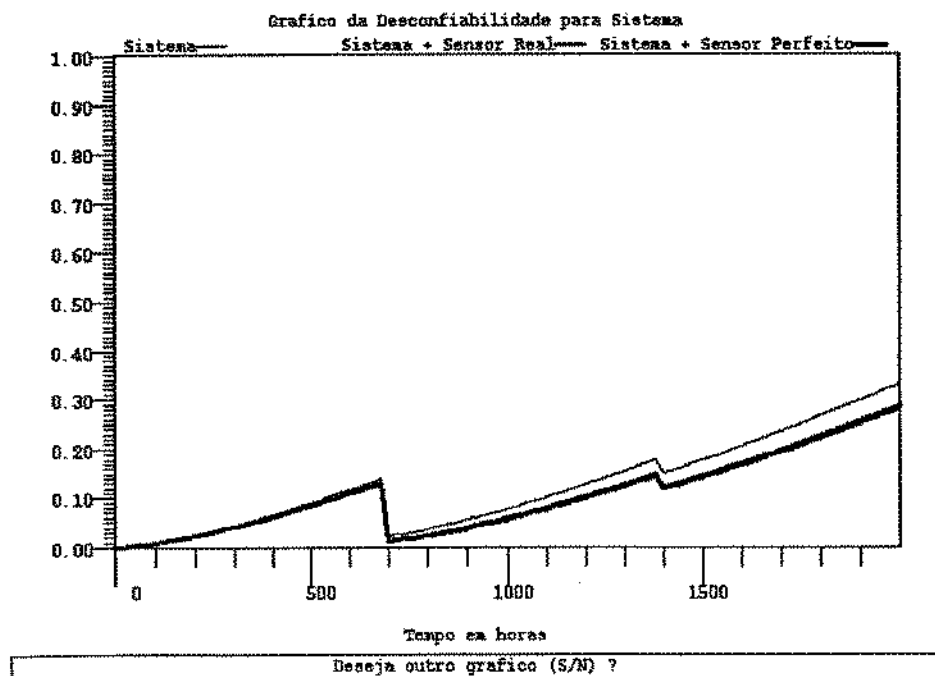


Figura 9.63: Gráfico (tipo Linear) da variação da Desconfiabilidade do Sistema, com troca de Componentes.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de RS(Mc) e Parametro de Forma de RS(0c) dos Componentes (Onde RS significa "Recolocacao em Servico")				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Taxa RS (Mc)	Param. RS (0c)
01)	0120.00	Linha de Alimentacao de MP1	10600.00	1.41
02)	0101.00	Linha de Alimentacao de Reagente	14500.00	3.62
03)	0114.00	Linha de Alimentacao de MP4	19050.00	3.87
04)	0110.00	Linha de Alimentacao de MP5	11750.00	4.05
05)	0202.00	Linha de Alimentacao de Agua a 25 C °	21400.00	3.73
06)	0204.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 180 #	17050.00	5.26
07)	0206.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 380 #	19100.00	4.55
08)	2000.00	Banho de Temperatura Controlada	45650.00	4.38
09)	0120.03	Transmissor de Controle Pressao/Succion	50200.00	4.25
10)	0120.04	Valvula de Controle Pressao/Succion	55050.00	6.64
11)	1565.00	Tanque Pulver de MP1	60450.00	6.15
12)	0731.00	Bomba de MP1	6800.00	3.91
13)	1812.01	Misturador de MP1	15050.00	5.83
14)	1812.02	Misturador de MP1	15050.00	4.09
15)	0802.00	Bomba A de MP1	8350.00	4.09
16)	0803.00	Bomba B de MP1	8350.00	6.17
6.17				
Deseja modificar algum valor desta tela ? (S/N)				

Figura 9.64: Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Componentes do Sistema.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de RS(Mc) e Parametro de Forma de RS(0c) dos Componentes (Onde RS significa "Recolocacao em Servico")				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Taxa RS (Mc)	Param. RS (0c)
17)	0120.05	Valvula de 3 vias, A	22800.00	5.58
18)	0120.06	Valvula de 3 vias, B	22800.00	5.58
19)	0205.02	Valvula de Controle de Fluxo, Vapor 200 #	46700.00	3.93
20)	0205.03	Valvula de Controle de Fluxo, agua 25 C °	41950.00	3.74
21)	2315.00	Trocador de Calor, Reagente	61450.00	4.27
22)	1520.00	Tanque de Reagente, Selagem	12200.00	3.88
23)	0505.00	Bomba de Reagente, Selagem	9150.00	6.05
24)	2318.00	Resfriador de Reagente, Selagem	25500.00	4.42
25)	0204.01	Controlador de Temperatura	44800.00	6.25
26)	0101.34	Transmissor do Controlador de Fluxo	37700.00	6.91
27)	0101.35	Valvula de Controle de Fluxo	32150.00	4.49
28)	1201.00	Misturador	16450.00	3.71
29)	1539.00	Tanque de Suprimento de MP4	97150.00	4.05
30)	0508.00	Bomba de Suprimento de MP4	27600.00	6.62
31)	2319.00	Aquecedor de MP4	32100.00	4.63
32)	1813.00	Filtro de MP4	125500.00	7.90
Deseja modificar algum valor desta tela ? (S/N)				

Figura 9.64: Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Componentes do Sistema (Cont.).

R A M F				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Taxa de RS(Mc) e Parâmetro de Forma de RS(Oc) dos Componentes				
(Onde RS significa "Recolocação em Serviço")				
Indice	Cod. de Identif.	Descrição do Componente	Taxa RS	Param. RS
				(Mc) (Oc)
33)	1913.00	Amortecedor de Alimentação de MP4	65050.00	5.26
34)	0114.02	Transmissor de Fluxo	72250.00	7.71
35)	0114.03	Valvula de Controle de Fluxo	43300.00	5.93
36)	1543.00	Tanque de Suprimento de MP5	81150.00	3.82
37)	0509.00	Bomba de Suprimento de MP5	25650.00	6.55
38)	2315.00	Aquecedor de MP5	31900.00	3.97
39)	1815.00	Filtro de MP5	114200.00	7.81
40)	1915.00	Amortecedor da Alimentação de MP5	95050.00	4.66
41)	0110.02	Transmissor de Fluxo de MP5	44350.00	6.25
42)	0110.03	Valvula de Controle de Fluxo de MP5	26650.00	5.62
43)	1302.00	Reator	11100.00	3.65
44)	0809.00	Bomba	22450.00	6.67
45)	4711.00	Viscosímetro	25550.00	5.51
46)	0706.00	Bomba	28650.00	7.03
Deseja modificar algum valor desta tela ? (S/N)				

Figura 9.64: Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Componentes do Sistema (Cont.).

R A M F				
Taxa de RS(Ms) e Parâmetro de Forma de RS(Os) dos Sensores				
(Onde RS significa "Recolocação em Serviço")				
Indice	Cod. de Identif.	Descrição do Sensor	Taxa RS	Param. RS
				(Ms) (Os)
01)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
02)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
03)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
04)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
05)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
06)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
07)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
08)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
09)	-----	Pressão de Alimentação de MP1, Alarma ...	58600.00	3.89
10)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
11)	1565.01	Nível do Tanque de MP1, Alarma	63400.00	5.75
12)	0120.02	Pressão da Bomba de MP1, Alarma	35500.00	4.23
13)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)				

Figura 9.65: Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Sensores do Sistema.

R A M P			
Taxa de RS(Ms) e Parâmetro de Forma de RS(Gs) do Sensores (Onde RS significa "Recolocacao em Serviço")			
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Sensor	Taxa RS Param. RS (Ms) (Gs)
14)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
15)	0120.07	Pressao da Boaba A de MPI, Alarac	41650.00 6.24
16)	0120.08	Pressao da Boaba B, Alarac	57750.00 7.12
17)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
18)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
19)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
20)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
21)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
22)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
23)	0101.03	Pressao de Reagente	68050.00 5.94
24)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
25)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
26)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)			

Figura 9.65: Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Sensores do Sistema (Cont.).

R A M P			
Taxa de RS(Ms) e Parâmetro de Forma de RS(Gs) do Sensores (Onde RS significa "Recolocacao em Serviço")			
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Sensor	Taxa RS Param. RS (Ms) (Gs)
27)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
28)	0120.09	Pressao da Saida do Misturador	71350.00 4.66
29)	-----	Nivel do Tanque Suprim. MP4, Alarac	80000.00 4.60
30)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
31)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
32)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
33)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
34)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
35)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
36)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
37)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
38)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
39)	-----	Componente sem Sensor	0.00 1.00
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)			

Figura 9.65: Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Sensores do Sistema (Cont.).

R A M P				
Taxa de RS (Rs) e Parâmetro de Forma de RS (Gs) do Sensores (Onde RS significa "Recolocacao em Servico")				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Sensor	Taxa RS	Param. RS (Gs)
40)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
41)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
42)	-----	Componente sem Sensor	0.00	1.00
43.1)	0120.10	Temperatura de Entrada Reator	96700.00	5.94
43.2)	0124.06	Temperatura de Saida Reator	106750.00	6.07
44)	0124.01	Pressao da Bomba	112400.00	7.13
45)	0124.04	Temperatura	10850.00	7.10
46.1)	0124.02	Pressao de Succao	25650.00	6.22
46.2)	0124.03	Pressao de Descarga	57900.00	5.31
Deseja modificar algum sensor nesta tela ? (S/N)				

Figura 9.65: Valores dos parâmetros da Recolocação em serviço dos Sensores do Sistema (Cont.).

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
CALCULO	
A . Variacao dos Parametros dos Componentes. B . Variacao dos Parametros dos Sensores. C . Calculo da Disponibilidade/Indisponibilidade do Sistema. D . Calculo do Tempo Medio Ate Indisponibilidade (TMAI) E . Grafico. F . Fim da Secao de Calculo para Sistema.	
Escolha uma operacao e digite a letra correspondente:	

Figura 9.66: Opções de cálculo e gráficos para a Disponibilidade/Indisponibilidade do Sistema.

R A M F			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
VALORES DA DISPONIBILIDADE/INDISPONIBILIDADE			
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente Disponib./Indisp.
01)	0120.00	Linha de Alimentacao de MP1	0.999997 0.000003
02)	0101.00	Linha de Alimentacao de Reagente	0.999999 0.000001
03)	0114.00	Linha de Alimentacao de MP4	0.999999 0.000001
04)	0110.00	Linha de Alimentacao de MP5	0.999997 0.000003
05)	0202.00	Linha de Alimentacao de Agua a 25 C °.....	0.999999 0.000001
06)	0204.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 180 #	0.999999 0.000001
07)	0206.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 300 #	0.999999 0.000001
08)	2000.00	Banho de Temperatura Controlada	0.999999 0.000001
09)	0120.03	Transmissor de Controle Pressao/Succao.....	0.999999 0.000001
10)	0120.04	Valvula de Controle Pressao/Succao	0.999999 0.000001
11)	1565.00	Tanque Pulvao de MP1	0.999999 0.000001
12)	0731.00	Bomba de MP1	0.999999 0.000001
13)	1812.01	Misturador de MP1	0.999999 0.000001
14)	1812.02	Misturador de MP1	0.999999 0.000001
15)	0802.00	Bomba A de MP1	0.999999 0.000001
16)	0803.00	Bomba B de MP1	0.999999 0.000001
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.67: Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Componentes-Equivalentes do Sistema.

R A M F			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
VALORES DA DISPONIBILIDADE/INDISPONIBILIDADE			
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente Disponib./Indisp.
17)	0120.05	Valvula de 3 vias, A	0.999999 0.000001
18)	0120.06	Valvula de 3 vias, B	0.999999 0.000001
19)	0206.02	Valvula de Controle de Fluxo,vapor 200#.....	0.999999 0.000001
20)	0206.03	Valvula de Controle de Fluxo,agua 25 C °....	0.999999 0.000001
21)	2316.00	Trocador de Calor, Reagente	0.999999 0.000001
22)	1520.00	Tanque de Reagente, Selagem	0.999999 0.000001
23)	0505.00	Bomba de Reagente, Selagem	0.999999 0.000001
24)	2318.00	Resfriador de Reagente, Selagem	0.999999 0.000001
25)	0204.01	Controlador de Temperatura	0.999999 0.000001
26)	0101.34	Transmissor do Controlador de Fluxo	0.999999 0.000001
27)	0101.35	Valvula de Controle de Fluxo	0.999999 0.000001
28)	1201.00	Misturador	0.999999 0.000001
29)	1539.00	Tanque de Suprimento de MP4	0.999999 0.000001
30)	0508.00	Bomba de Suprimento de MP4	0.999999 0.000001
31)	2319.00	Aquecedor de MP4	0.999999 0.000001
32)	1813.00	Filtro de MP4	0.999999 0.000001
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.67: Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Componentes-Equivalentes do Sistema (Cont.).

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
VALORES DA DISPONIBILIDADE/INDISPONIBILIDADE			
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente Disponib./Indisp.
33)	1913.00	Amortecedor de Alimentacao de MP4	0.999999 0.000001
34)	0114.02	Transmissor de Fluxo	0.999999 0.000001
35)	0114.03	Valvula de Controle de Fluxo	0.999999 0.000001
36)	1543.00	Tanque de Suprimento de MP5	0.999999 0.000001
37)	0509.00	Bomba de Suprimento de MP5	0.999999 0.000001
38)	2315.00	Aquecedor de MP5	0.999999 0.000001
39)	1815.00	Filtro de MP5	0.999999 0.000001
40)	1915.00	Amortecedor da Alimentacao de MP5	0.999999 0.000001
41)	0110.02	Transmissor de Fluxo de MP5	0.999999 0.000001
42)	0110.03	Valvula de Controle de Fluxo de MP5	0.999999 0.000001
43)	1302.00	Reator	0.999999 0.000001
44)	0809.00	Bomba	0.999999 0.000001
45)	4711.00	Viscosimetro	0.999999 0.000001
46)	0706.00	Bomba	0.999999 0.000001
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.67: Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Componentes-Equivalentes do Sistema (Cont.).

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
ALIMENTACAO E DOSAGEM DE MP1			
Sub-Sistema		Disponibilidade/Indisponibilidade	
Suprimento de MP1	DCR-01	0.999997	0.000003
Controles de Alimentacao de MP1	DCR-02	0.999999	0.000001
Tanque e Bomba de MP1	DCR-03	0.999999	0.000001
Filtros de MP1	DCR-04	0.999999	0.000001
Bombas A e B de MP1	DCR-05	0.999999	0.000001
Valvulas de 3 vias, A e B	DCR-06	0.999999	0.000001
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.68: Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades para a alimentação e dosagem de MP1.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensores Reais		
SUPRIMENTO DE REAGENTE, MP4, MP5 E AGUA		
Sub-Sistema	Disponibilidade/Indisponib.	
Suprimento de Reagente, MP4 e MP5.....DCR-07	0.999996	0.000004
Suprimento de Água e vapor para Trocadores .DCR-08	0.999998	0.000002
Banho de Temperatura Controlada.....DCR-09	0.999999	0.000001
ALIMENTACAO E CONTROLE DO REAGENTE		
Sub-Sistema	Disponibilidade/Indisponib.	
Trocador e Valvulas de Controls de Fluxo....DCR-10	0.999998	0.000002
Tanque, Bomba e Resfriador do Reagente.....DCR-11	0.999998	0.000002
Valvulas de Controle de Fluxo do Reagente...DCR-12	0.999998	0.000002
Digite qualquer tecla para continuar.		

Figura 9.69: Valores calculados para as Disponibilidades e Indisponibilidades do Suprimento de reagentes MP4, MP5 e Água; Alimentação e Controle do reagente.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensores Reais		
MISTURADOR		
Sub-Sistema	Disponibilidade/Indisponibilidade	
Misturador (MP1, Reagente) DCR-13	0.999999	0.000001
ALIMENTACAO E CONTROLE DE MP4		
Sub-Sistema	Disponibilidade/Indisponibilidade	
Alimentacao, Resfriamento, Filtragem e Controle de Fluxo de MP4 DCR-14	0.999996	0.000004
ALIMENTACAO E CONTROLE DE MP5		
Sub-Sistema	Disponibilidade/Indisponibilidade	
Alimentacao, Aquecimento, Filtragem e Controle de Fluxo de MP5 DCR-15	0.000000	1.000000
Digite qualquer tecla para continuar.		

Figura 9.70: Valores calculados para as Disponibilidades e Indisponibilidades do Misturador, Alimentação e Controle de MP4; Alimentação e Controle de MP5.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
REATOR E VISCOSIMETRO			
Sub-Sistema		Disponibilidade/Indisponibilidade	
Reator e Viscosímetro	BCR-16	0.999998	0.000002
BOMBA DO PRODUTO			
Sub-Sistema		Disponibilidade/Indisponibilidade	
Bomba do Produto	BCR-17	0.999999	0.000001
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.71: Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades do Reator e Viscosímetro; Bomba do produto.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais				
SUB - SISTEMAS		DISPONIBILIDADE/INDISPONIB.		
Alimentacao e Controle de MP1:		DCR-18	0.999994	0.000006
Alimentacao de Reagente, MP4, MP5, Agua e Vapor: DCR-19			0.999994	0.000006
Alimentacao e Controle de Reagente:		DCR-20	0.999995	0.000005
Alimentacao e Controle de MP4 e MP5:		DCR-21	0.999992	0.000008
Reator, Viscosimetro e Bomba de Produto:		DCR-22	0.999998	0.000002
DISPONIBILIDADE TOTAL DO SISTEMA COM SENSORES REAIS :		0.999971		
INDISPONIBILIDADE TOTAL DO SISTEMA COM SENSORES REAIS :		0.000029		
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.72: Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades dos Sub-Sistemas e Sistema Total.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
SISTEMAS PARTICULARES		DISPONIBILIDADE/INDISPONIB.	
Alimentacao, dosagem e controle de MP1: DCR-18		0.999994	0.000006
Alimentacao, dosagem e controle de Reagentes: DCR-24		0.999991	0.000009
Alimentacao, dosagem e controle de MP4: DCR-25		0.999993	0.000007
Alimentacao, dosagem e controle de MP5: DCR-26		0.999991	0.000009
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.73: Valores calculados das Disponibilidades e Indisponibilidades de Sistemas particulares.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensores Reais		
Tempo (Horas)	TMAI Parcial	Disponibilidade Residual
1109	1108.5731	0.9999720
TEMPO MEDIO ATE INDISPONIBILIDADE (TMAI) = 1109 Horas		
Pressione <<ENTER>> para continuar.		

Figura 9.74: Valores calculados do Tempo Médio até Indisponibilidade do Sistema.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Haverão manutenções no sistema ? (S/N)			
Qual o período máximo desejado			
Período:	1000	Horas	
Deseja Alterar o Valor (S/N) ?			

Figura 9.75: Período desejado para a escala horizontal do gráfico e opções para sistemas (com ou sem troca de Componentes).

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Aguarde, processando			
Sistema com Sensor Real			
		Disponibilidade/Indisponibilidade	
1000	Horas	1.0000	0.0000
Sistema com Sensor Perfeito			
		Disponibilidade/Indisponibilidade	
1000	Horas	1.0000	0.0000
Sistema sem Sensor			
		Disponibilidade/Indisponibilidade	
1000	Horas	1.0000	0.0000
Digite uma tecla para continuar !			

Figura 9.76: Processo iterativo para geração dos pontos nos gráficos.

RAMP	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
Tipo de grafico	
1 - Weibull p/ Disponibilidade	
2 - Linear p/ Disponibilidade	
3 - Weibull p/ Indisponibilidade	
4 - Linear p/ Indisponibilidade	
Escolha o numero e digite-o	

Figura 9.77: Tipos de gráficos para Disponibilidades e Indisponibilidades do Sistema.

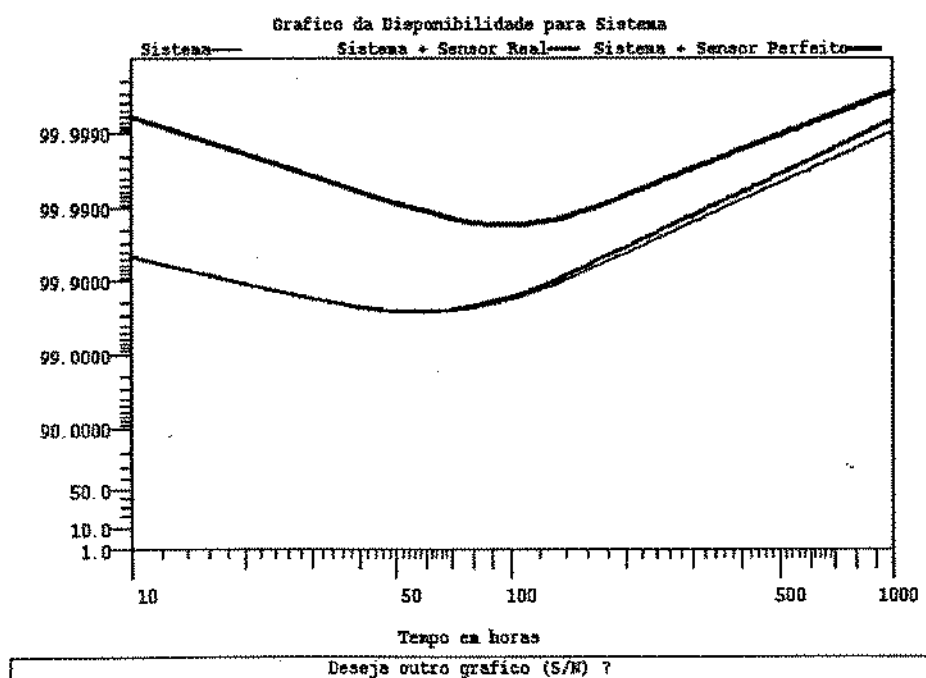


Figura 9.78: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Disponibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.

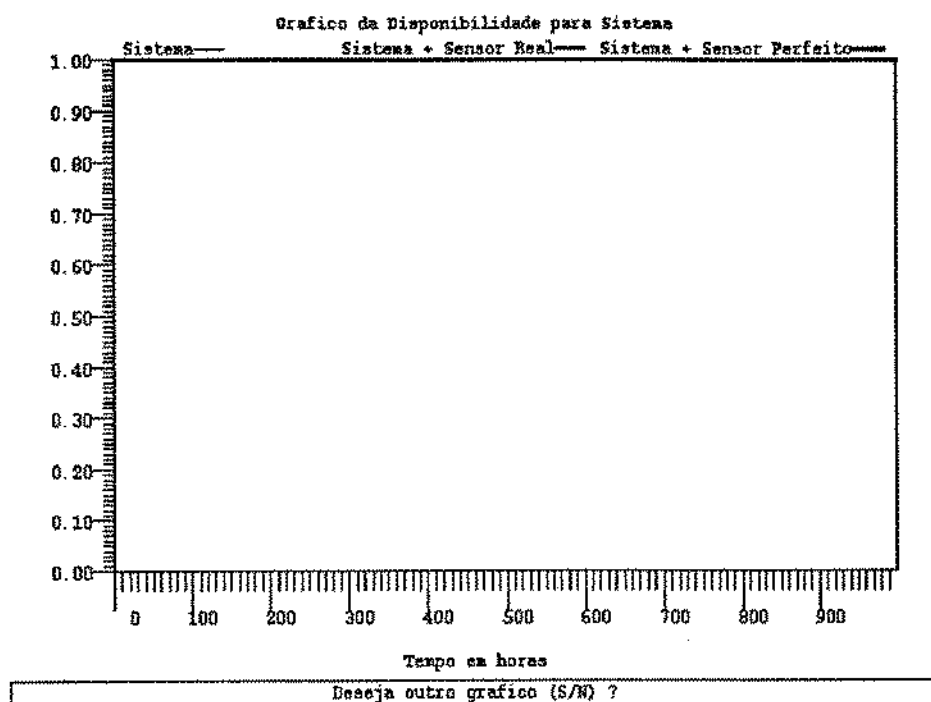


Figura 9.79: Gráfico (tipo Linear) da variação da Disponibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.

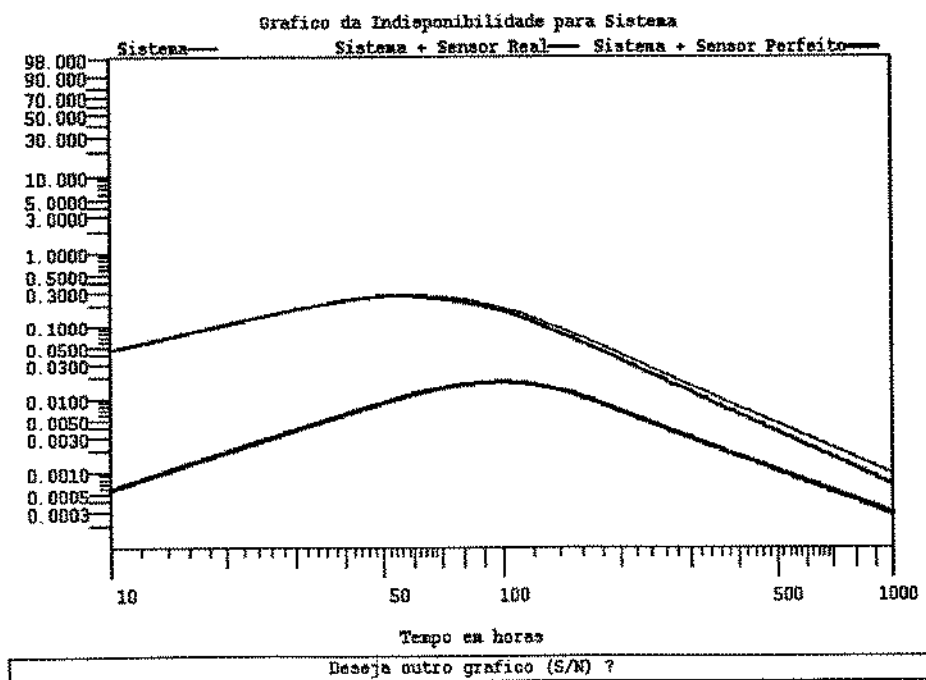


Figura 9.80: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Indisponibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.

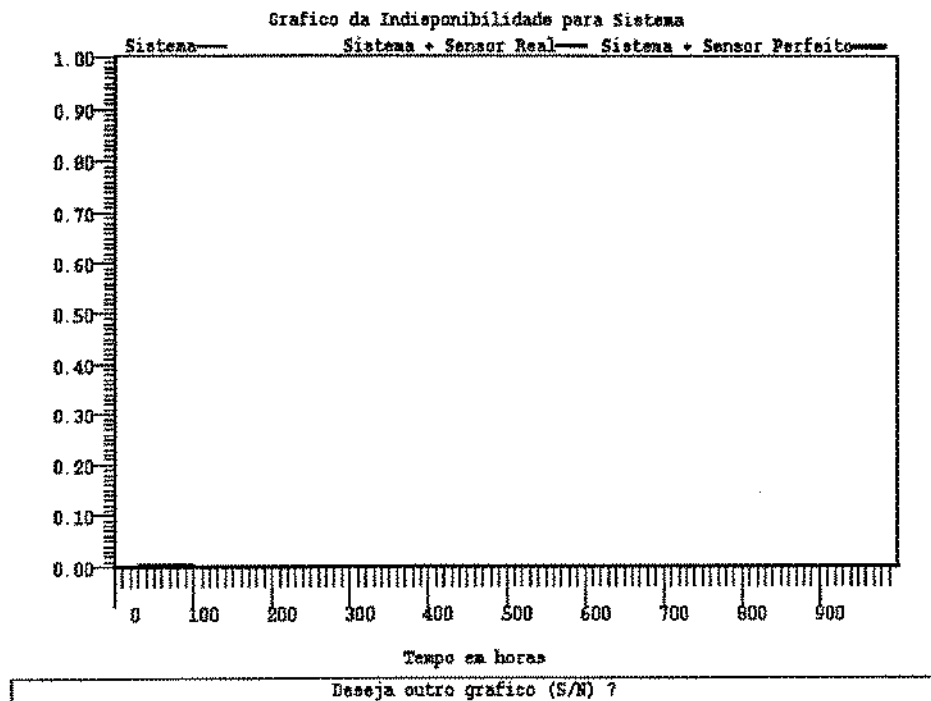


Figura 9.81: Gráfico (tipo Linear) da variação da Indisponibilidade do Sistema, sem troca de Componentes.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Digite o Tempo total decorrido e tecle <<ENTER>> ! Para encerrar a leitura, digite um Tempo = "0" horas !		
Tempo total (em horas) ate a manutencao numero	:	1 700
Tempo total (em horas) ate a manutencao numero	:	2 1400
Tempo total (em horas) ate a manutencao numero	:	3 0

Figura 9.82: Períodos entre manutenções do Sistema.

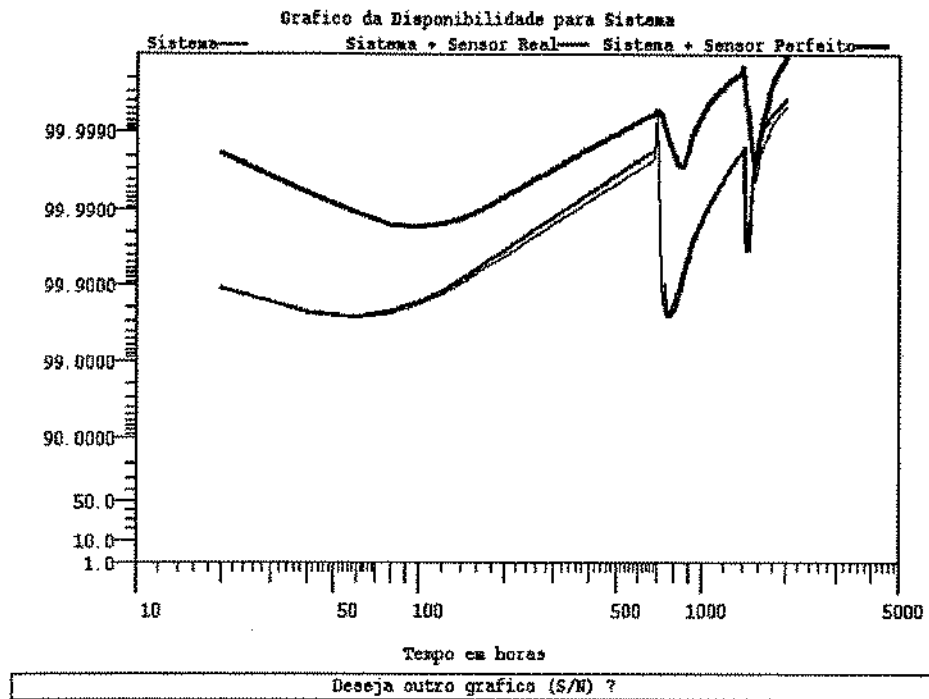


Figura 9.83: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Disponibilidade do Sistema, com troca de Componentes.

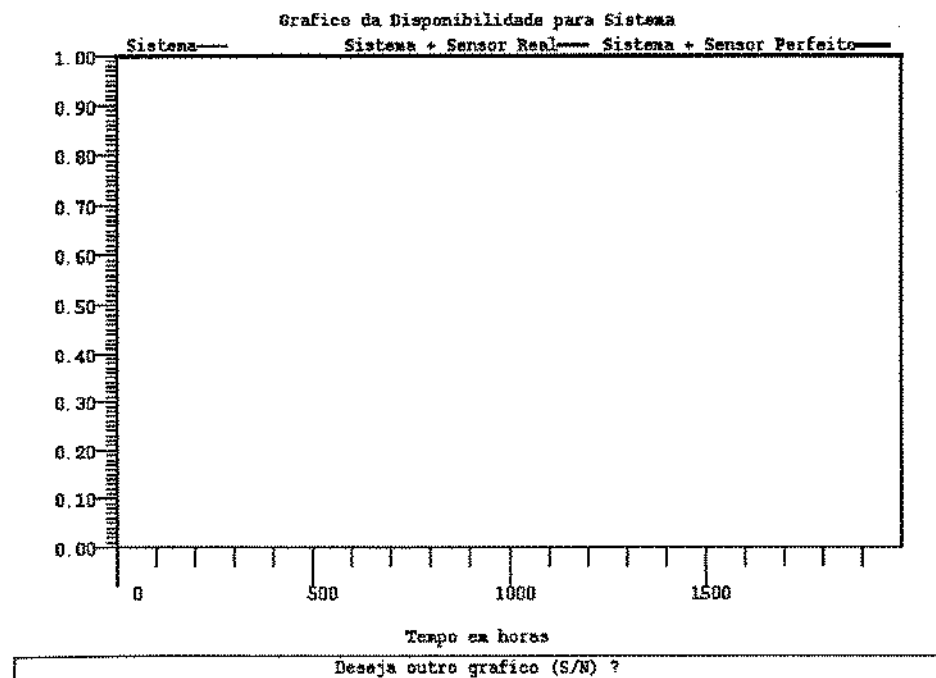


Figura 9.84: Gráfico (tipo Linear) da variação da Disponibilidade do Sistema, com troca de Componentes.

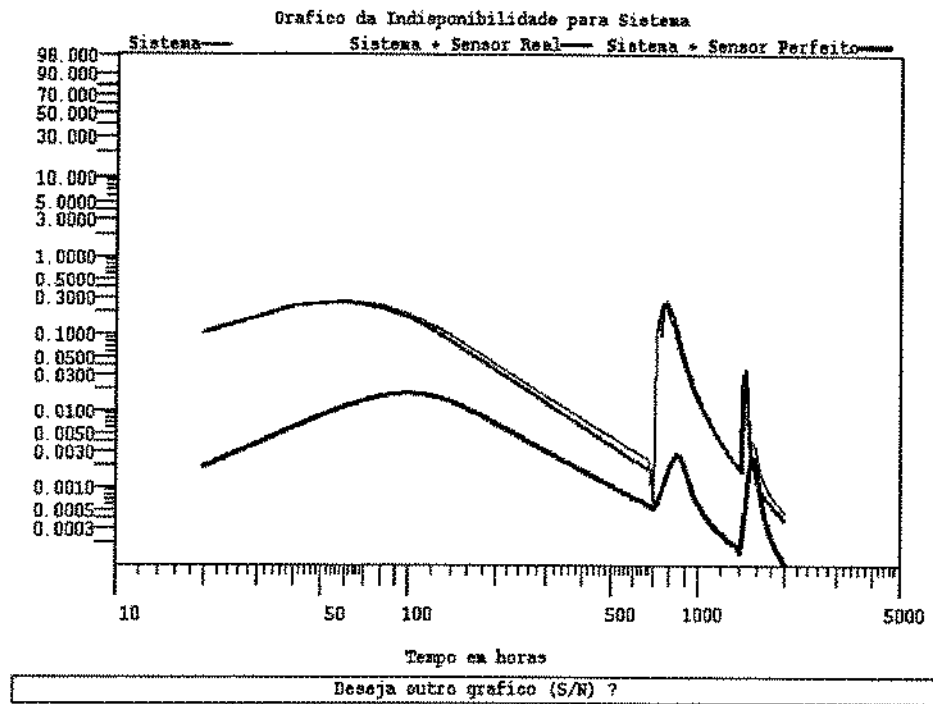


Figura 9.85: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Indisponibilidade do Sistema, com troca de Componentes.

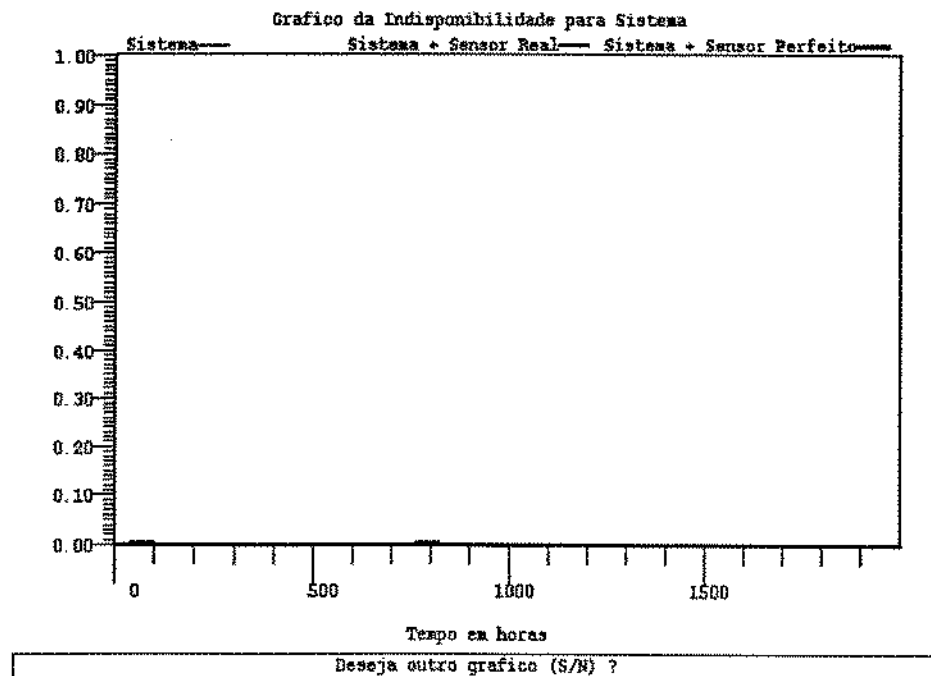


Figura 9.86: Gráfico (tipo Linear) da variação da Indisponibilidade do Sistema, com troca de Componentes.

- Passo 5 : Digitar o período de funcionamento, no caso 100 horas.
- Passo 6 : Opção 2 (Sensor real), da Figura 9.8. Digitar "S" caso deseje visualizar os valores anteriormente adotados, e consequentemente modificá-los. Digitar "N" para passar diretamente ao passo 8.
- Passo 7 : Apresentação dos valores das Taxas de Recolocação Característica (μ_{si}) e Parâmetros de forma (γ_{si}) dos Sensores, Figuras 9.43. Caso deseje modificar algum valor, digitar "S", a seguir o número de ordem do Sensor, e os novos valores para (μ_{si}) e (γ_{si}).
- Passo 8 : Apresentação dos valores calculados da Manutenibilidade e da Não-Mantenabilidade "dos Componentes-equivalentes" de ordem CE01 a CE46, Figuras 9.88.

Os passos a seguir apresentados (basta digitar qualquer tecla) correspondem aos "Componentes-reduzidos" (ver Capítulo 8) e aparecem de modo sequencial, em forma de Tabelas com valores das correspondentes Manutenibilidades e Não-Mantenabilidades:

- Passo 9 : Alimentação e Dosagem de MP1, Figura 9.89.
- Passo 10 : Suprimento de Reagentes, Mp4, Mp5 e Água; Alimentação e Controle do Reagente, Figura 9.90.
- Passo 11 : Misturador, Alimentação e Controle de Mp4; Alimentação e Controle de Mp5, Figura 9.91.
- Passo 12 : Reator e Viscosímetro; Bomba do Produto, Figura 9.92.
- Passo 13 : Sub-sistemas e Sistema (Total), Figura 9.93.
- Passo 14 : Sistemas particulares, Figura 9.94.
- Passo 15 : Retorno ao passo 4, Figura 9.87. A opção "C" permite um cálculo das Manutenibilidades e Não-Mantenabilidades dos "Componentes-reduzidos" CR01 a CR26. As opções D (Tempo Médio até Recolocação) e E (Gráficos) permitem a continuidade dos cálculos, sem retornar ao passo 1 (inicial), como a seguir apresentado.

9.7.2 Tempo Médio até Recolocação do Sistema

- Passo 1 : Opção "D", Figura 9.87 (Tempo Médio até Recolocação).
- Passo 2 : Opção 2, Figura 9.8 (Sensor real). Caso deseje visualizar os valores dos parâmetros dos Componentes, digitar a opção "S".
- Passo 3 : Apresentação do valor calculado (Figura 9.95) do Sistema, no caso 8 horas. Digitar "ENTER" para continuar o processo de cálculo.

Passo 4 : Retorno à Figura 9.87. Digitar F (Fim) para encerrar o seguimento com retorno à Figura 9.5, ou E (Gráficos) para continuar.

9.7.3 Gráficos da Manutenibilidade e da Não-Manutenibilidade de Sistemas

a) Com troca total dos Componentes .

- Passo 1 : Opção E (Gráfico) da Figura 9.87.
- Passo 2 : Opção 2, Figura 9.8 (Sensor real). Digitar "S" caso deseje visualizar os parâmetros adotados para os Sensores, e "N" para continuar.
- Passo 3 : Digitar o período máximo (escala horizontal), no caso 200 horas, Figura 9.96.
- Passo 4 : Digitar S (Figura 9.96) caso ocorra a troca total de Componentes no sistema em estudo.
- Passo 5 : Cálculo dos valores que geram o gráfico, até o valor escolhido para o período máximo, Figura 9.97. A seguir, digitar qualquer tecla para continuar.
- Passo 6 : Escolha do tipo de gráfico, Figura 9.98.
- Passo 7 : Digitar a opção 1 para o gráfico de variação de Confiabilidade (tipo Weibull), Figura 9.99.
- Passo 8 : Digitar "S" para retornar ao passo 6, obtendo-se sucessivamente os gráficos mostrados nas Figuras 9.100 a 9.102.
- Passo 9 : Digitar "N" para retornar à Figura 9.5 (Componentes/Sistemas/Fim). Caso deseje calcular Confiabilidades, Disponibilidades, digitar a opção 3 (Fim), retornando à Figura 9.4.

b) Com troca parcial dos Componentes .

Os passos 1 a 3 são idênticos ao item "a".

- Passo 4 : Digitar "N", Figura 9.96, caso não ocorra a troca total de Componentes.
- Passo 5 : Digitar os itens (Componentes) a serem trocados na Manutenção, Figura 9.104.
- Passo 6 : Aguardar o processamento dos dados, até surgir na tela a instrução "Digitar qualquer tecla para continuar", Figura 9.104.
- Passo 7 : Escolha do tipo do gráfico, Figura 9.98.
- Passo 8 : Digitar a opção 1 para o gráfico de variação da Manutenibilidade (tipo Weibull), Figura 9.105.
- Passo 9 : Digitar "S" para retornar ao passo 9 (Figura 9.98 obtendo-se, sucessivamente, os gráficos mostrados nas Figuras 9.106 a 9.108.
- Passo 10 : Digitar "N" para retornar à Figura 9.5 (Componentes/Sistemas/Fim). Caso deseje calcular Confiabilidades ou Disponibilidades, digitar a opção 3 (Fim), retornando ao passo 2 (Figura 9.4).

Na Figura 9.109 é apresentada a análise comparativa dos valores da Não-Mantenabilidade (N) e na Figura 9.110 dos valores da Manutenibilidade (M), referida aos seguintes casos:

- a) Redundância ativa [1/2];
- b) Apenas um Componente;
- c) Componente e Sensor Real;
- d) Componente e Sensor Perfeito.

Obs.: continua na página 189.

RAMP	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas	
CALCULO	
A . Variacao dos Parametros dos Componentes. B . Variacao dos Parametros dos Sensores. C . Calculo da Manutenibilidade/Nao Manutenibilidade do Sistema. D . Calculo do Tempo Medio Até Recolocacao (TMAR) E . Grafico. F . Fim da Secao de Calculo para Sistema.	
Escolha uma operacao e digite a letra correspondente:	

Figura 9.87: Opções de cálculo e gráfico para a Manutenibilidade e Não-Mantenabilidade.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais				
VALORES DA MANTENABILIDADE/NAO MANTENABILIDADE				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente	
			Mantenab.	/Nao Mant.
01)	0120.00	Linha de Alimentacao de MP1	0.995293	0.004707
02)	0101.00	Linha de Alimentacao de Reagente	0.999999	0.000001
03)	0114.00	Linha de Alimentacao de MP4	0.999999	0.000001
04)	0110.00	Linha de Alimentacao de MP5	0.999747	0.000253
05)	0202.00	Linha de Alimentacao de Agua a 25 C°	0.999999	0.000001
06)	0204.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 180 #	0.999999	0.000001
07)	0206.00	Linha de Alimentacao de Vapor a 300 #	0.999999	0.000001
08)	2000.00	Banho de Temperatura Controlada	0.999999	0.000001
09)	0120.03	Transmissor de Controle Pressao/Sucao	0.999999	0.000001
10)	0120.04	Valvula de Controle Pressao/Sucao	0.999999	0.000001
11)	1565.00	Tanque Pulao de MP1	0.999999	0.000001
12)	0731.00	Bomba de MP1	0.309156	0.690844
13)	1012.01	Misturador de MP1	0.999999	0.000001
14)	1012.02	Misturador de MP1	0.999999	0.000001
15)	0802.00	Bomba A de MP1	0.909249	0.090751
16)	0803.00	Bomba B de MP1	0.909249	0.090751
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.88: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais				
VALORES DA MANTENABILIDADE/NAO MANTENABILIDADE				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente	
			Mantenab.	/Nao Mant.
17)	0120.05	Valvula de 3 vias, A	0.999999	0.000001
18)	0120.06	Valvula de 3 vias, B	0.999999	0.000001
19)	0206.02	Valvula de Controle de Fluxo, vapor 200#	0.999999	0.000001
20)	0206.03	Valvula de Controle de Fluxo, agua 25 C°	0.999999	0.000001
21)	2316.00	Trocador de Calor, Reagente	0.999999	0.000001
22)	1520.00	Tanque de Reagente, Selagem	0.999970	0.000030
23)	0505.00	Bomba de Reagente, Selagem	0.991246	0.008754
24)	2319.00	Resfriador de Reagente, Selagem	0.999999	0.000001
25)	0204.01	Controlador de Temperatura	0.999999	0.000001
26)	0101.34	Transmissor do Controlador de Fluxo	0.999999	0.000001
27)	0101.35	Valvula de Controle de Fluxo	0.999999	0.000001
28)	1201.00	Misturador	0.999999	0.000001
29)	1539.00	Tanque de Suprimento de MP4	0.999999	0.000001
30)	0508.00	Bomba de Suprimento de MP4	0.999999	0.000001
31)	2319.00	Aquecedor de MP4	0.999999	0.000001
32)	1013.00	Filtro de MP4	0.999999	0.000001
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.88: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema (cont.).

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais				
VALORES DA MANTENABILIDADE/NAO MANTENABILIDADE				
Indice	Cod. de Identif.	Descricao do Componente	Componente Equivalente	Mantenab./Nao Mant.
33)	1913.00	Amortecedor de Alimentacao de MP4	0.999999	0.000001
34)	0114.02	Transmissor de Fluxo	0.999999	0.000001
35)	0114.03	Valvula de Controle de Fluxo	0.999999	0.000001
36)	1543.00	Tanque de Suprimento de MP5	0.999999	0.000001
37)	0509.00	Bomba de Suprimento de MP5	0.999999	0.000001
38)	2315.00	Aquecedor de MP5	0.999999	0.000001
39)	1815.00	Filtro de MP5	0.999999	0.000001
40)	1915.00	Amortecedor da Alimentacao de MP5	0.999999	0.000001
41)	0110.02	Transmissor de Fluxo de MP5	0.999999	0.000001
42)	0110.03	Valvula de Controle de Fluxo de MP5	0.999999	0.000001
43)	1302.00	Reator	0.988012	0.011988
44)	0809.00	Bomba	0.999999	0.000001
45)	4711.00	Viscosimetro	0.999999	0.000001
46)	0706.00	Bomba	0.999999	0.000001
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.88: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades dos Componentes-equivalentes do Sistema (cont.).

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Sistema com Sensores Reais				
ALIMENTACAO E DOSAGEM DE MP1				
Sub-Sistema		Manutenabilidade/Nao Manutenibilidade		
Suprimento de MP1	MCR-01	0.995293	0.004707	
Controles de Alimentacao de MP1	MCR-02	0.999999	0.000001	
Tanque e Bomba de MP1	MCR-03	0.309155	0.690845	
Filtros de MP1	MCR-04	0.999999	0.000001	
Bombas A e B de MP1	MCR-05	0.991764	0.008236	
Valvulas de 3 vias, A e B	MCR-06	0.999999	0.000001	
Digite qualquer tecla para continuar.				

Figura 9.89: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades da Alimentação e dosagem de MP1.

R A M F		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensores Reais		
SUPRIMENTO DE REAGENTE, MP4, MP5 E AGUA		
Sub-Sistema	Manutenabilidade/Nao Manten.	
Suprimento de Reagente, MP4 e MP5.....MCR-07	0.999745	0.000255
Suprimento de Agua e vapor para Trocadores .MCR-08	0.999998	0.000002
Barba de Temperatura Controlada.....MCR-09	0.999999	0.000001
ALIMENTACAO E CONTROLE DO REAGENTE		
Sub-Sistema	Manutenabilidade/Nao Manten.	
Trocador e Valvulas de Controle de Fluxo....MCR-10	0.999998	0.000002
Tanque, Bomba e Resfriador do Reagente.....MCR-11	0.991216	0.008784
Valvulas de Controle de Fluxo do Reagente...MCR-12	0.999998	0.000002
Digite qualquer tecla para continuar.		

Figura 9.90: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Mantenibilidades do Suprimento de reagentes, MP4, MP5 e Água; Alimentação e Controle do Reagente.

R A M F		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensores Reais		
MISTURADOR		
Sub-Sistema	Manutenabilidade/Nao Manutenibilidade	
Misturador (MP1,Reagente) MCR-13	0.999999	0.000001
ALIMENTACAO E CONTROLE DE MP4		
Sub-Sistema	Manutenabilidade/Nao Manutenibilidade	
Alimentacao, Resfriamento, Filtragem e Controle de Fluxo de MP4 MCR-14	0.999996	0.000004
ALIMENTACAO E CONTROLE DE MP5		
Sub-Sistema	Manutenabilidade/Nao Manutenibilidade	
Alimentacao, Aquecimento, Filtragem e Controle de Fluxo de MP5 MCR-15	0.999996	0.000004
Digite qualquer tecla para continuar.		

Figura 9.91: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Mantenibilidades do Misturador, Alimentação e Controle de MP4; Alimentação e Controle de MP5.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensores Reais		
REATOR E VISCOSIMETRO		
Sub-Sistema	Manutenabilidade/Nao Manutenibilidade	
Reator e Viscosimetro	MCR-16	0.988011 0.011989
BOMBA DO PRODUTO		
Sub-Sistema	Manutenabilidade/Nao Manutenibilidade	
Bomba do Produto	MCR-17	0.999999 0.000001
Digite qualquer tecla para continuar.		

Figura 9.92: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades do Reator e Viscosímetro; Bomba do Produto.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensores Reais		
SUB - SISTEMAS	MANUTENABILIDADE/NAO MANTEN.	
Alimentacao e Controle de MP1:	MCR-18	0.305685 0.694315
Alimentacao de Reagente, MP4, MP5, Agua e Vapor:	MCR-19	0.999744 0.000256
Alimentacao e Controle de Reagente:	MCR-20	0.991213 0.008787
Alimentacao e Controle de MP4 e MP5:	MCR-21	0.999992 0.000008
Reator, Viscosimetro e Bomba de Produto:	MCR-22	0.988011 0.011989
MANUTENABILIDADE TOTAL DO SISTEMA COM SENSORES REAIS :		0.299287
NAO MANUTENABILIDADE TOTAL DO SISTEMA COM SENSORES REAIS :		0.700713
Digite qualquer tecla para continuar.		

Figura 9.93: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades dos Sub-Sistemas e Sistema total.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas			
Sistema com Sensores Reais			
SISTEMAS PARTICULARES		MANUTENABILIDADE/NAO MANTEN.	
Alimentacao, dosagem e controle de MP1: MCR-18		0.305685	0.694315
Alimentacao, dosagem e controle de Reagente: MCR-24		0.991211	0.008789
Alimentacao, dosagem e controle de MP4: MCR-25		0.999994	0.000006
Alimentacao, dosagem e controle de MP5: MCR-26		0.999741	0.000259
Digite qualquer tecla para continuar.			

Figura 9.94: Valores calculados das Manutenibilidades e Não-Manutenibilidades de Sistemas particulares.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas		
Sistema com Sensores Reais		
Tempo (Horas)	TMAR Parcial	Manutenibilidade Residual
126	121.8279	0.9999995
TEMPO MEDIO ATÉ RECOLOCACAO (TMAR) = 122 Horas		
Pressione <<ENTER>> para continuar.		

Figura 9.95: Valor calculado do Tempo Médio até Recolocação do Sistema.

R A M P		
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenabilidade de Componentes e Sistemas		
Qual o período máximo desejado		
Período:	500	Horas
Digite o valor e pressione Enter		

Figura 9.96: Período máximo (escala Horizontal) para os gráficos da Manutenabilidade e Não-Mantenabilidade do Sistema.

R A M P			
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenabilidade de Componentes e Sistemas			
Aguarde, processando			
Sistema com Sensor Real			
		Manutenabilidade/Nao Manutenabilidade	
130	Horas	1.0000	0.0000
Sistema com Sensor Perfeito			
		Manutenabilidade/Nao Manutenabilidade	
130	Horas	1.0000	0.0000
Sistema sem Sensor			
		Manutenabilidade/Nao Manutenabilidade	
115	Horas	1.0000	0.0000
Digite uma tecla para continuar !			

Figura 9.97: Cálculo iterativo dos valores para geração dos gráficos da Manutenabilidade e Não-Mantenabilidade do Sistema.

R A M P	
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenabilidade de Componentes e Sistemas	
Tipo de grafico	
1 - Weibull p/ Manutenabilidade 2 - Linear p/ Manutenabilidade 3 - Weibull p/ Nao Manutenabilidade 4 - Linear p/ Nao Manutenabilidade	
Escolha o numero e digite-o	

Figura 9.98: Escolha do tipo de gráfico da Manutenabilidade e Não-Mantenabilidade do Sistema.

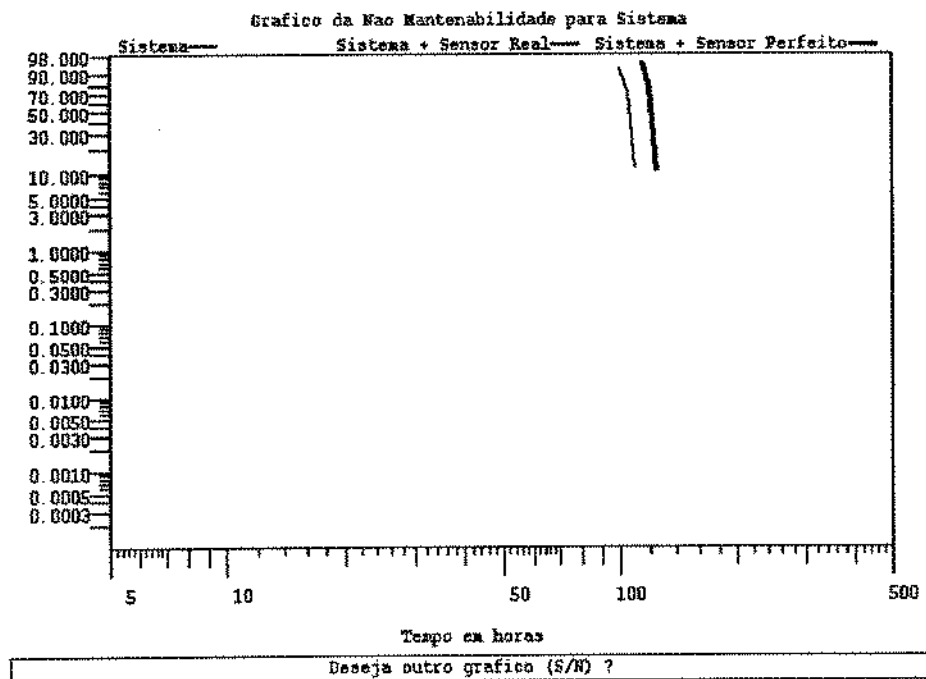


Figura 9.99: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Manutenabilidade do Sistema, com troca total de Componentes.

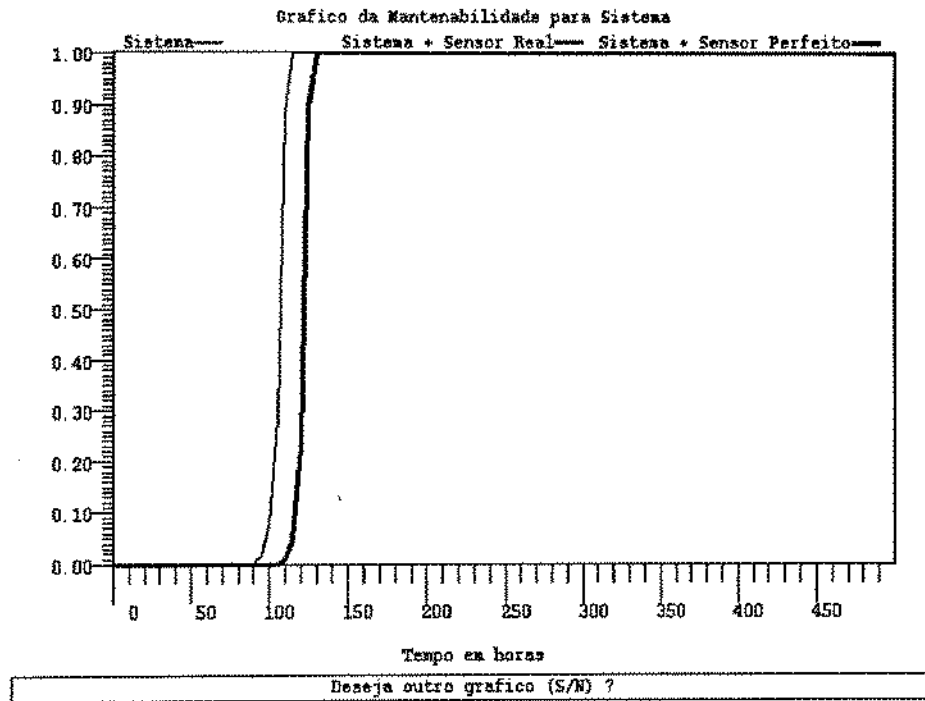


Figura 9.100: Gráfico (tipo Linear) da variação da Manutenibilidade do Sistema, com troca total de Componentes.

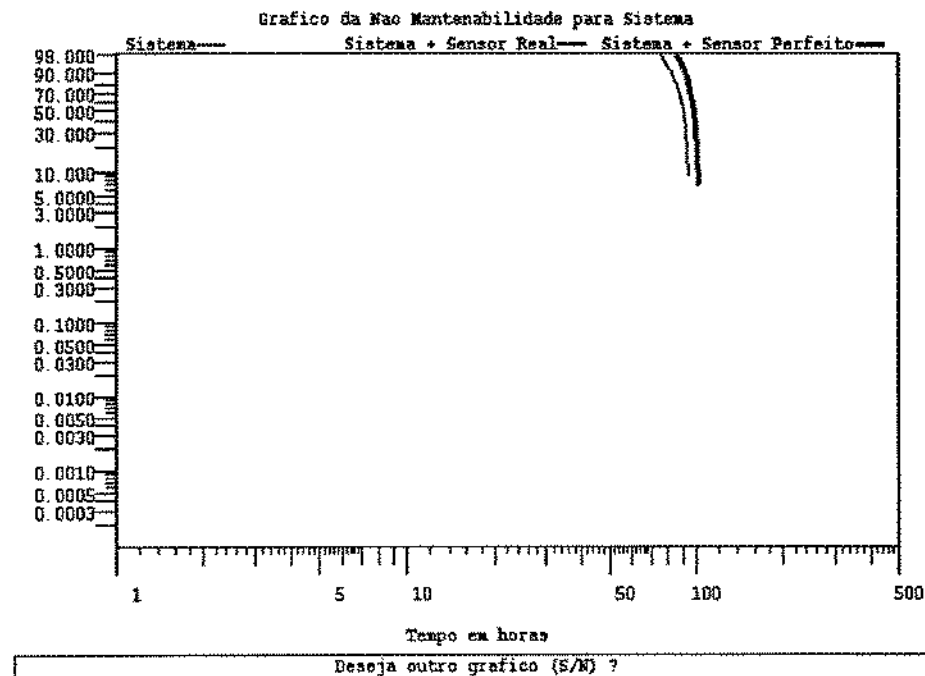


Figura 9.101: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Não-Manutenibilidade do Sistema, com troca total de Componentes.

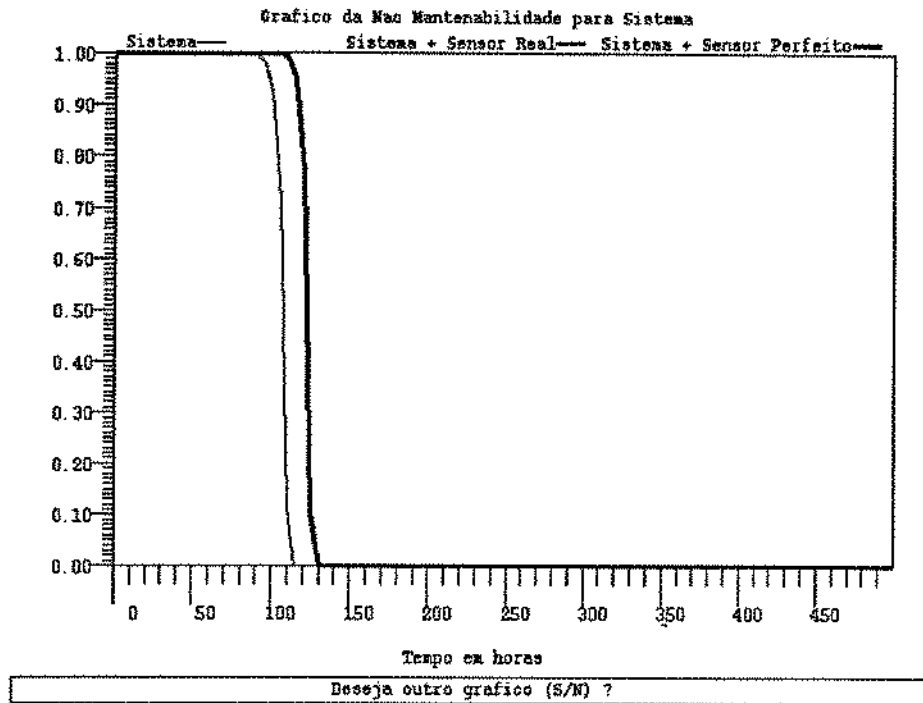


Figura 9.102: Gráfico (tipo Linear) da variação da Não-Mantenabilidade do Sistema, com troca total de Componentes.

RAMP Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenabilidade de Componentes e Sistemas	
Itens que deverão ser trocados: Digite o número do item e tecle <<ENTER>> ! O item "0" encerra a leitura ! Em caso de item com sub-índice, digite primeiro o índice !	
Item: 9	
Item: 11	
Item: 12	
Item: 15	
Item: 16	
Item: 23	
Item: 28	
Item: 29	
Item: 43.1	
De: 43.2 Até: 46.2	
Item: 0	

Figura 9.103: Componentes a serem trocados (substituídos) na Manutenção.

R A M P				
Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de Componentes e Sistemas				
Aguarde, processando				
Sistema com Sensor Real				
		Manutenabilidade/Nao Manutenabilidade		
104	Horas	1.0000	0.0000	
Sistema com Sensor Perfeito				
		Manutenabilidade/Nao Manutenabilidade		
104	Horas	1.0000	0.0000	
Sistema sem Sensor				
		Manutenabilidade/Nao Manutenabilidade		
96	Horas	1.0000	0.0000	
Digite uma tecla para continuar !				

Figura 9.104: Valores calculados da Manutenibilidade/Não-Manutenibilidade para o período máximo desejado.

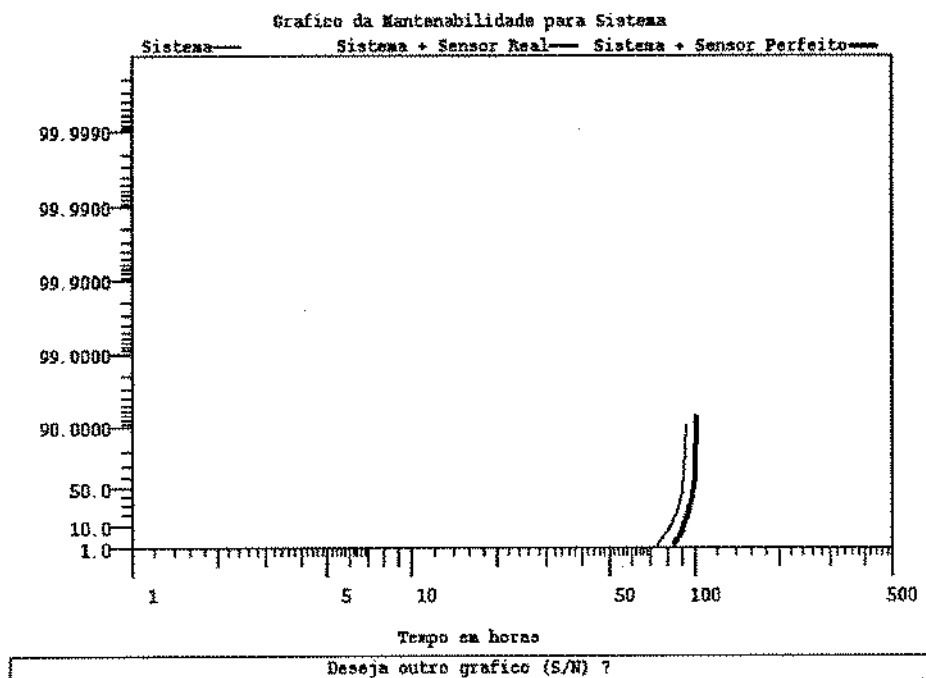


Figura 9.105: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Manutenibilidade do Sistema, com troca parcial de Componentes.

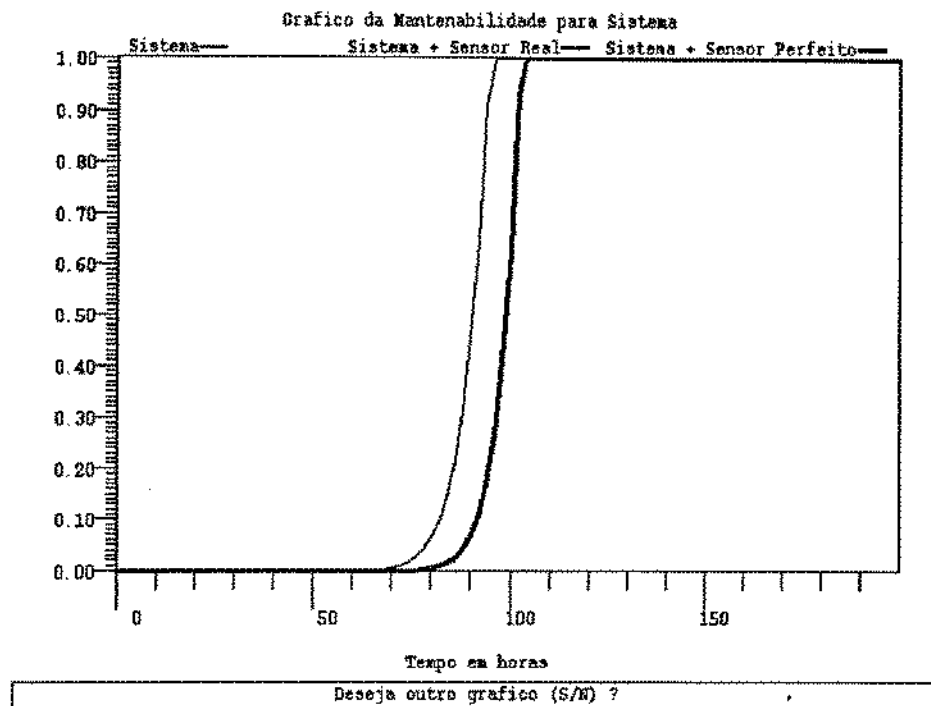


Figura 9.106: Gráfico (tipo Linear) da variação da Manutenibilidade do Sistema, com troca parcial de Componentes.

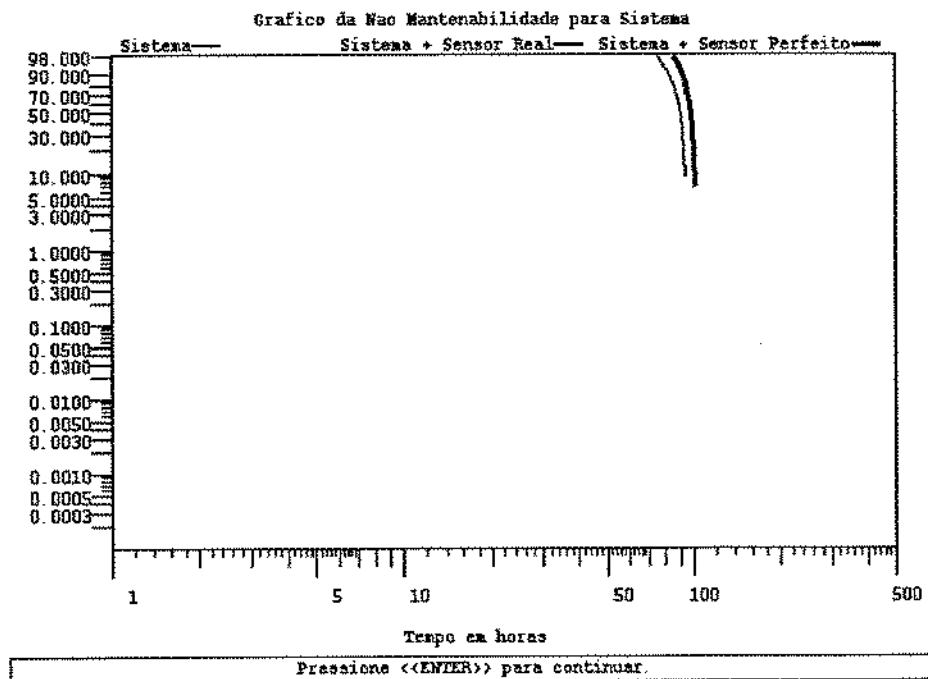


Figura 9.107: Gráfico (tipo Weibull) da variação da Não-Manutenibilidade do Sistema, com troca parcial de Componentes.

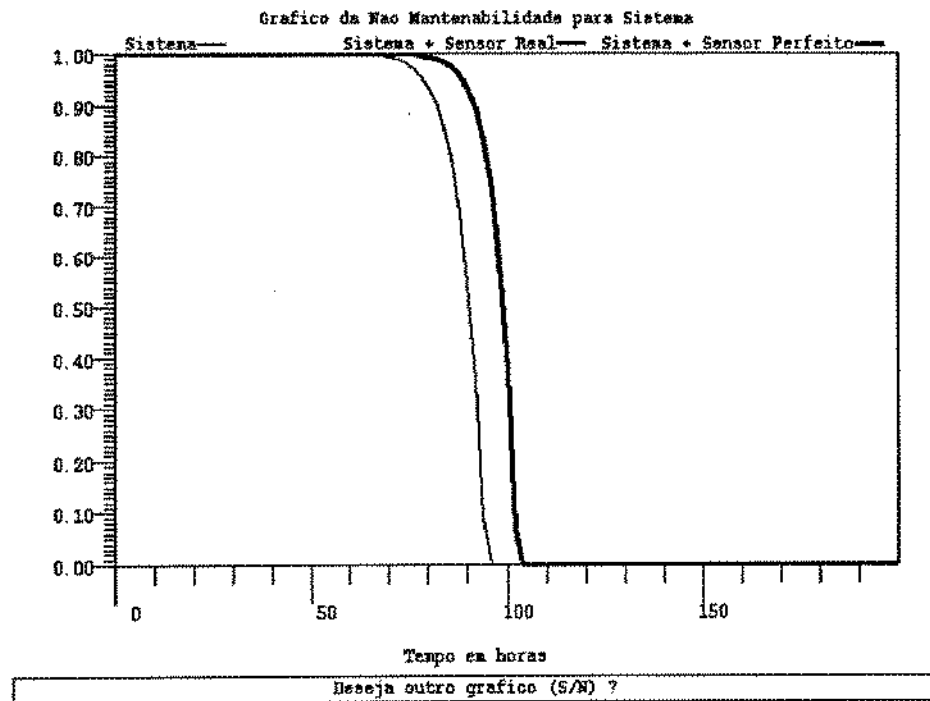


Figura 9.108: Gráfico (tipo Linear) da variação da Não-Mantenabilidade do Sistema, com troca parcial de Componentes.

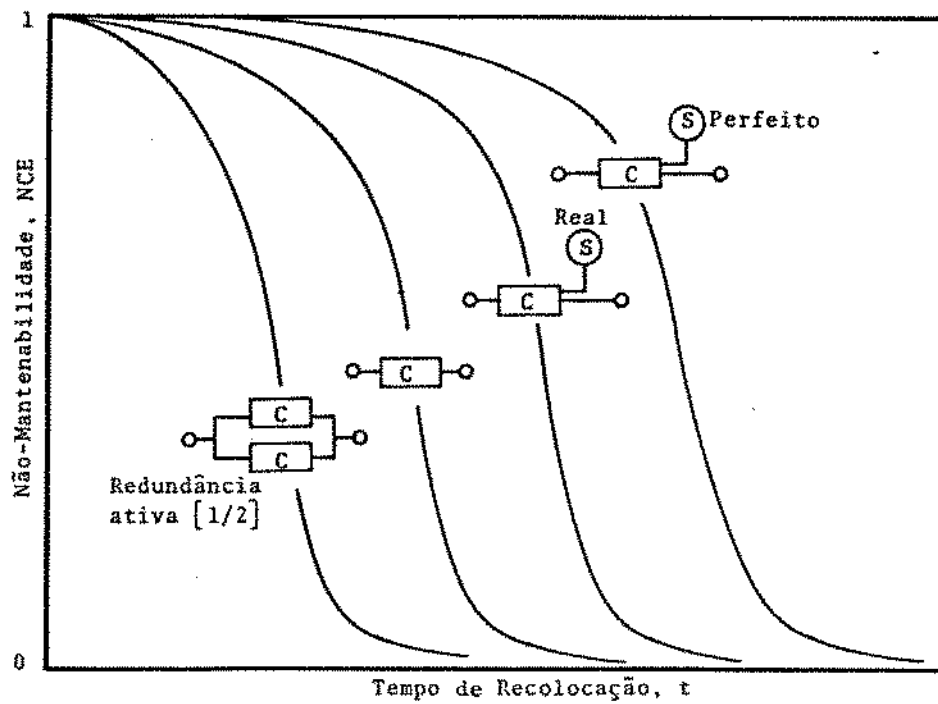


Figura 9.109: Gráfico da variação da Não-Mantenabilidade do Sistema, com diferentes arranjos físicos para Componentes e Sensores.

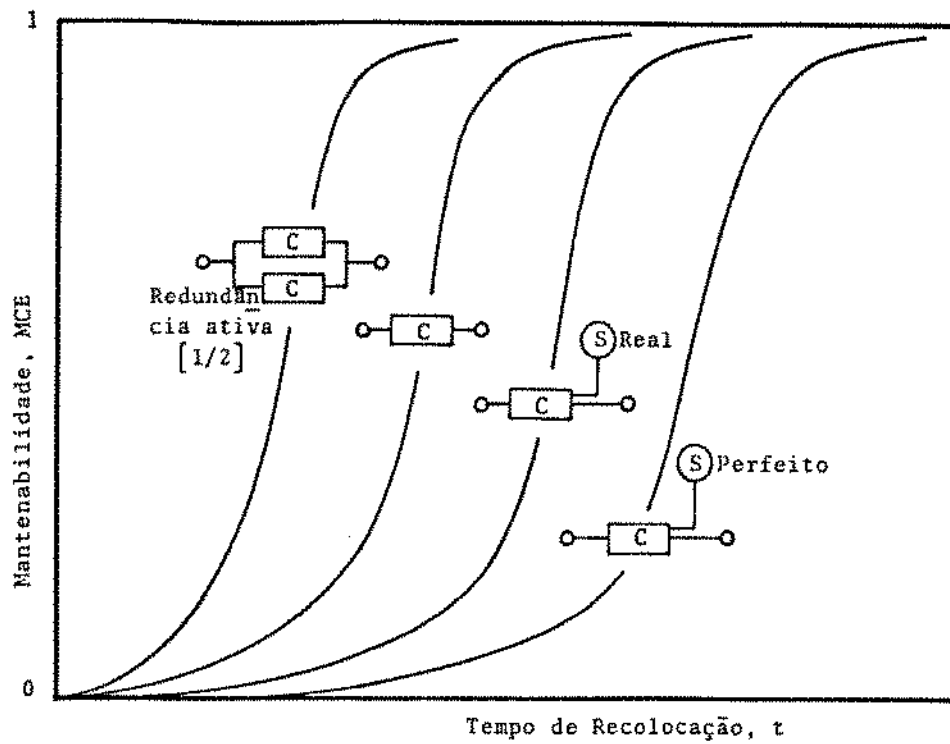


Figura 9.110: Gráfico da variação da Manutenabilidade do Sistema, com diferentes arranjos físicos dos Componentes e Sensores.

Nota-se na Figura 9.109, para um dado tempo (T), que os valores da Não-Mantenabilidade são crescentes no sentido da Redundância ativa para o Sensor Perfeito. O maior valor da Não-Mantenabilidade corresponde a maiores intervenções (reparos), indicadas pelo Sensor Perfeito, e o menor valor a uma intervenção (reparo) apenas após a falha dos dois Componentes (reserva ativa, 1/2). O mesmo ocorre para a Manutenabilidade (M) cujo menor valor corresponde ao Sensor Perfeito.

Capítulo 10

OBTENÇÃO DOS DADOS

10.1 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES

A identificação dos parâmetros essenciais a serem obtidos no campo, devido à complexidade da função manutenção, exige um planejamento minucioso. Outros fatores, tais como o “Fator Humano” e a quantidade de dados gerados, complementam esta necessidade. Portanto, fez-se necessário implementar um sistema, de forma a obter os dados com a precisão requerida para um trabalho desta natureza, sem torná-lo um processo burocratizante.

Como toda inovação, ou mudança de rotina, tornou-se imprescindível um trabalho de geração de valores, envolvendo todos os níveis, desde a alta gerência (para obtenção dos recursos e apoio), até o pessoal operacional, estes essenciais para o registro dos dados com precisão. Neste processo, o primeiro passo foi a identificação dos principais dados a serem obtidos para a aplicação desta metodologia, quais sejam:

- Taxa de Falha;
- Tempo de parada;
- Tempo de Recolocação em Serviço;
- Componente avariado;
- Período;
- Modo de Falha;
- Tipo de Manutenção.

Buscou-se ainda ampliar o campo de atuação, aproveitando-se o mesmo sistema para a geração de dados de interesse gerencial (Produtividade e Custos). Foram então introduzidos os formulários **Pedido de Trabalho (PdT)**, para obtenção dos seguintes dados:

a) Equipamentos, Componentes

- Causa da Falha;
- Tempo Médio entre Falhas;
- Tempo de Reparo;
- Materiais Utilizados;
- Dados Históricos (causas);
- Ações tomadas;
- Segurança;
- Tipo de Intervenções;
- Custos;
- Componentes Defeituosos.

b) Pessoal

- Horas Trabalhadas;
- Especialidade Requerida;
- Saturação;
- Planejamento e Programação;
- Segurança;
- Custos.

Os PdT (Pedidos de Trabalho) fazem parte de um programa mais abrangente, denominado GAMA (Gestão e Aperfeiçoamento da Manutenção), desenvolvido e aplicado de 1987 a 1989, cujos principais enfoques foram:

- Sistema de coleta e registro de dados (formulário PdT);
- Manutenção Preventiva e Preditiva;
- Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade;
- Programação e Planejamento da Manutenção;
- Medidas de performance de Manutenção;
- Informatização da Manutenção (programa MIS/R);
- Treinamento.

Como uma segunda fase deste trabalho, o sistema foi ampliado para um nível de manutenção de classe mundial, denominado GAMA 90 com as seguintes prioridades:

- Forte compromisso da Gerência com a Manutenção planejada;
- Manutenção de rotina feita por operadores treinados e capacitados para as tarefas especificadas;
- Sistema dedicado ao planejamento de manutenção;
- Alta prioridade da manutenção preventiva para os itens relacionados com a segurança;
- Programa Formal de Lubrificação;
- Programa de Manutenção Preditiva;
- Sistema de Inspeções;
- Plano de auditoria para assegurar que as inspeções ocorram;
- Registro das inspeções e ações de manutenção;
- Análises dos dados Históricos;
- Gerenciamento dos materiais de manutenção;
- Programa Formal de Manutenção Controlada, com objetivos estabelecidos para a melhoria contínua;
- Sistema de Engenharia de Confiabilidade;
- Programa de Treinamento para o pessoal;
- Medidas de Performance.

10.2 PROGRAMA COMPUTACIONAL

Analisando-se a necessidade de tabulação dos dados disponíveis, optou-se pela utilização de um programa computacional (Software) devido à quantidade e à complexidade das informações envolvidas. Para atingir este objetivo, haviam duas opções básicas:

- A. Desenvolvimento de um programa **específico** para as necessidades da fábrica;
- B. Utilização de um programa para gerenciamento e tabulação de dados, **disponível** no mercado.

Foram então analisadas as vantagens de cada uma das opções, (A,B), considerando-se os aspectos operacionais e a adequação às necessidades, disponibilidade e organização dos dados.

Outro fator relevante foi o **Investimento**, tanto em “Software” como “Hardware”. Estudos desenvolvidos, cotações e pesquisa de mercado, resultaram em relações de custo quase 10 vezes maiores para a alternativa A. Para a alternativa B, foi elaborado uma pesquisa internacional, e o resultado desta análise foi a escolha do programa MIS/R [27] para computadores pessoais, Padrão PC (AT286/386). Além da facilidade para a migração a um sistema “Main Frame”, este programa exigiu um pequeno investimento inicial.

10.3 COLETA DOS DADOS

Avaliando-se as necessidades identificadas em relação à disponibilidade do programa MIS/R, elaborou-se dois formulários para a solicitação de trabalhos de manutenção, que denominamos **PdT** (Pedido de Trabalho), apresentados nas Figuras 10.1 e 10.3, cujas funções e modelos de preenchimento serão apresentados a seguir.

Os “PdT” são os únicos documentos de solicitação de serviços para a Engenharia. Qualquer pessoa que tiver necessidade de um serviço pode emití-los, desde que siga rigorosamente as instruções do seu manual de emissão.

Existem 2 tipos de **PdT** (formulários Azul ou Vermelho), aplicáveis a 3 diferentes situações:

- **Manutenção Programada (Código S), formulário cor Azul**

Correspondem aos serviços gerais ou específicos de manutenção, que podem ser feitos sob planejamento e/ou programação, quais sejam, as Manutenções **Corretiva**, **Preventiva** e **Preditiva**, cujo formulário é apresentado na Figura 10.1 e o correspondente fluxograma de gerenciamento na Figura 10.2.

- **Serviço Capitalizado (Código C), formulário cor Azul**

Correspondem aos serviços de novas instalações, melhorias, execução de novos projetos e desenhos. Todos os serviços classificados como “C”, antes de serem enviados para o Planejamento, deverão ter o campo de análise de risco de processo preenchido e com a aprovação do Superintendente da área envolvida.

- **Manutenção de Emergência (Código E), formulário cor Vermelha**

São os serviços cuja realização deve ser imediata, utilizando-se todos os recursos disponíveis, nos casos de se colocarem em risco imediato a segurança do pessoal, das instalações industriais e do meio ambiente. Visam reduzir os prejuízos do não atendimento do programa de produção.

Obs.: Só será reconhecido como emergência o **PdT** que se encaixar nesta definição e que for preenchido no impresso “Vermelho”, apresentados nas Figuras 10.3 (frente) e 10.4 (verso).

O fluxograma de gerenciamento da situação de **manutenção de emergência** é apresentado na Figura 10.5. Na etapa final, os dados obtidos são registrados no programa MIS/R [27], que possibilita a análise das falhas, por meio de um “Loop” de controle, que envolve a intervenção de diversas especialidades da Manutenção, e seus respectivos históricos.

10.4 FORMULÁRIOS

O formulário para **Manutenção Programada e Serviço Capitalizado** (Figura 10.1) possui 24 “campos” para as informações e autorizações inerentes à metodologia adotada, cujo fluxograma operacional é apresentado na Figura 10.2. A diferença entre este formulário e o correspondente à **Manutenção de Emergência** (Figuras 10.3 e 10.4), é a ausência dos campos de número 12, 13, e 15 que correspondem aos “campos” destinados à programação e ao planejamento dos trabalhos. Neste caso, eles não são utilizados porque a **Manutenção de Emergência** não é objeto de programação ou planejamento, devido à aleatoriedade de sua ocorrência. Quantitativamente, espera-se um nível inferior a 5% de solicitações de Manutenções de Emergência. Obviamente, ela é indesejada, mas são inevitáveis, mesmo em ótimas condições operacionais da Manutenção Programada, e da Confiabilidade dos Sistemas.

10.4.1 Formulário (PdT) para Manutenção Programada

Para os “campos” reservados ao preenchimento, tem-se as seguintes considerações e códigos auxiliares, a serem preenchidos pelo Solicitante (S), Planejador de Manutenção (P) ou Executante (E).

Campo	Preenchido	Instruções
Nº	por	
1	(S)	FAB (Fábrica): Número de Código do setor, Galpão, etc, como por exemplo: 1. Produto 1 (Pneus). 2. Produto 2 (Fios). 3. Produto 3 (Polímero).
	(S)	PR (Prioridade): Preencher com as letras. S - Manutenção Programada; C - Serviços de Capitalização (Instalações, melhorias, projetos, etc).

11 VIA

**Pedido de Trabalho
PdT**

1. TIPO		2. EQUIPAMENTO		3. BENTÃO		4. TIPO DE MANUTENÇÃO	
1		450205		61603		☒ PREVENTIVA ☐ PREDITIVA ☐ CORRETIVA ☐ INSTALAÇÃO E MELHORIAS	
5. PAROU?		6. DATA DA PARADA		7. DATA DA ABERTURA		8. LIBERAÇÃO	
☐ SIM ☒ NÃO		DIA MÊS ANO 1 1 17		DIA MÊS ANO 30 09 11		DIA MÊS ANO 04 10 10	
9. CHAMADA DA MANUT.		10. TRABALHO REQUERIDO		11. SEGURANÇA - NECESSITA DE ANÁLISE DE RISCO DE PROCESSO?		12. DATA DESEJADA	
015/10/15		Trocar rolamentos dos dois mandris da unidade de enrolamento		SIM ☐ NÃO ☒		DIA MÊS ANO 05 05 11	
				SUPERVISOR <u>Jose da Silva</u>		13. DATA PROGRAMADA	
				DATA DA A.R.P.: - / - / -		DIA MÊS ANO 05 10 11	
						14. DATA FIM TRABALHO	
						DIA MÊS ANO 05 10 11	
						15. REVISÃO DE HORAS P.O. TRABALHO	
						ESP. SEÇÃO HORAS 10 20 0103010	
						16. TRABALHO EXECUTADO	
						TRILCADA 010519 ROLAMENTOS	
						17. COMPLEMENTO	
						BARRILICIAÇÃO E TRILCADO ANEIS E COMPLEMENTOS E O RES	
						18. COMPONENTE	
						R014 VBR S3D 010215	
						19. SEGURANÇA - LOCAIS A SEREM TRANC., ETIC., EXP., VERIF., INDL.	
						A. UNIDADE DE ACONDICIONAMENTO	
						B. PAINEL DE CONTROLE	
						C.	
						D.	
						E.	
						20. PEÇAS REPOSIÇÃO	
						QUANT. CUSTO 0101151265 0101014 40,00	
						0101151327 0101012 35,00	
						21. SOLICITANTE	
						SUP/SUPTE	
						22. SUPTE DA ÁREA	
						APROV. ENG.	
						23. ACEITAÇÃO	
						DATA 05/05/11	

OBS.: PARA SERVIÇOS NÃO ROTINEIROS É OBRIGATÓRIO A ANÁLISE DE SEGURANÇA NO TRABALHO

Figura 10.1: Formulário (PdT) para Manutenção Programada (S) e Serviço Capitalizado(C).

FLUXO DE MNT PLANEJADA/PROGRAMADA

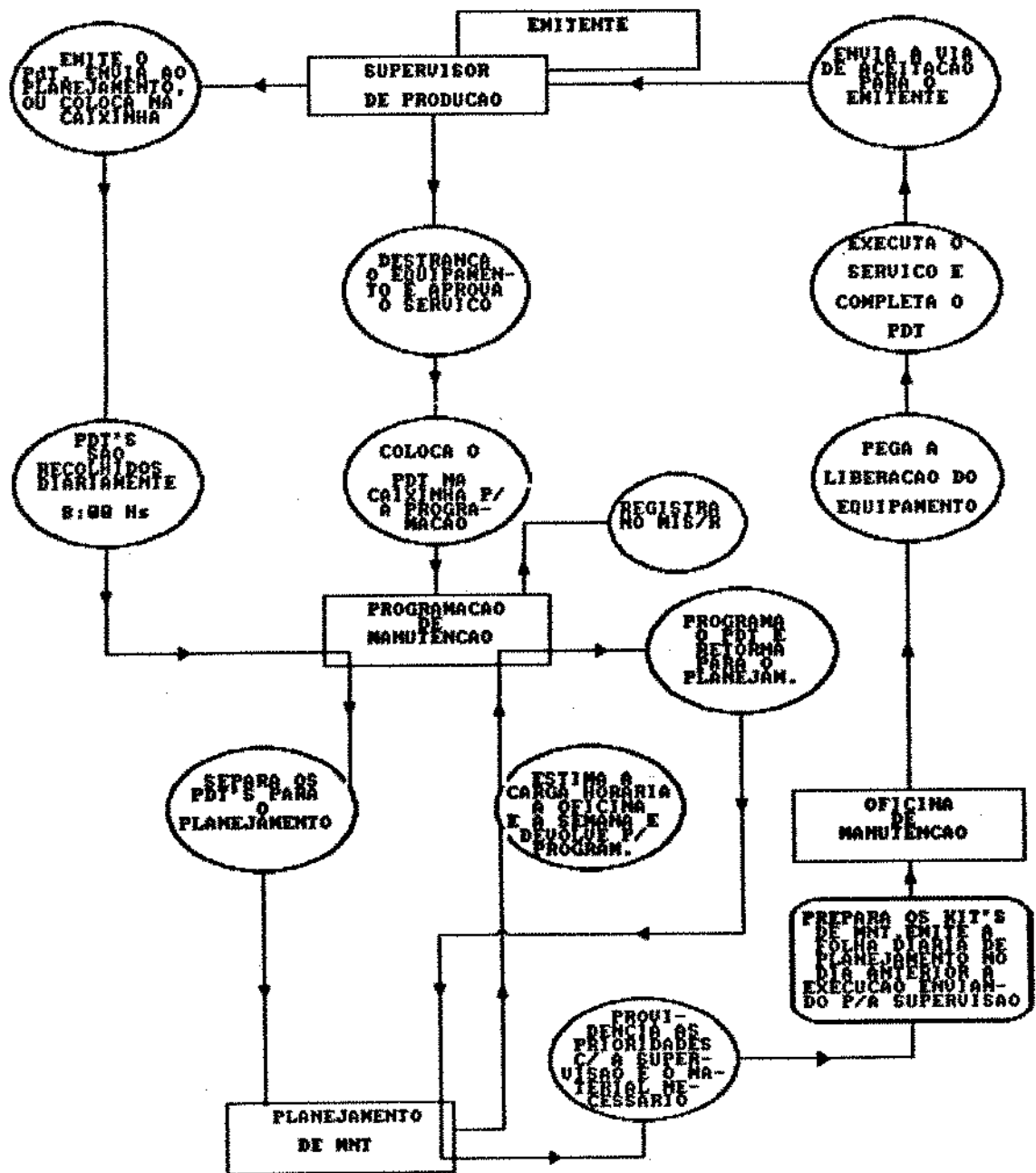


Figura 10.2: Fluxograma de gerenciamento das ações de Manutenção Programada (S).

**Pedido de Trabalho
PdT - Emergência**

1) TIPO		2) DATA		3) EQUIPAMENTO		4) SERVO		5) TIPO DE MANUTENÇÃO		6) PREÇO	
1	E	01/13/26		2101502		6625		PREL	DET	15	E
7) PARADO		8) DATA DA PARADA		9) DATA DA ABERTURA		10) ABERTURA		11) DATA DA ABERTURA		12) DATA DA ABERTURA	
7	N	08/06/10		08/07/10	06/10	08/06/15		08/06/10			

13) **TRABALHO REQUERIDO**
 MOTOR DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DE MP1 PERDEU CONTROLE DE VELOCIDADE

14) **JUSTIFICAÇÃO**
 LINHA DE MP1 FORA DE OPERAÇÃO

ESTE PdT SÓ PODE SER UTILIZADO NOS CASOS DE SE COLOCAREM EM RISCO IMEDIATO A SEGURANÇA DO PESSOAL, INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS E O MEIO AMBIENTE E/OU QUE VISAM REDUZIR OS PREJUÍZOS DO NÃO ATENDIMENTO DO PROGRAMA DE PRODUÇÃO.

VIDE VERSO

15) **TRABALHO EXECUTADO:**
 SUBSTITUIÇÃO DE MOTOR

16) **COMPLEMENTO:**
 CONTROLO

17) **DATA FIN. TRABALHO**
 DIA: 08, MES: 07, ANO: 10

18) SEGURANÇA - REQUISITA ANÁLISE DE RISCO DE PROCESSO?	19) SEGURANÇA - LOCAL A SER EM TRAB. EST. EXP. SERV. IND.
☐ SIM ☐ NÃO	☒ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

20) **PEÇAS REPOSIÇÃO**

QUANT.	VALOR	VALOR
025162	0001	02100

21) **REQUISITO**

22) **REQUISITO**

23) **REQUISITO**

24) **REQUISITO**

25) **REQUISITO**

26) **REQUISITO**

27) **REQUISITO**

28) **REQUISITO**

29) **REQUISITO**

30) **REQUISITO**

31) **REQUISITO**

32) **REQUISITO**

33) **REQUISITO**

34) **REQUISITO**

35) **REQUISITO**

36) **REQUISITO**

37) **REQUISITO**

38) **REQUISITO**

39) **REQUISITO**

40) **REQUISITO**

41) **REQUISITO**

42) **REQUISITO**

43) **REQUISITO**

44) **REQUISITO**

45) **REQUISITO**

46) **REQUISITO**

47) **REQUISITO**

48) **REQUISITO**

49) **REQUISITO**

50) **REQUISITO**

51) **REQUISITO**

52) **REQUISITO**

53) **REQUISITO**

54) **REQUISITO**

55) **REQUISITO**

56) **REQUISITO**

57) **REQUISITO**

58) **REQUISITO**

59) **REQUISITO**

60) **REQUISITO**

61) **REQUISITO**

62) **REQUISITO**

63) **REQUISITO**

64) **REQUISITO**

65) **REQUISITO**

66) **REQUISITO**

67) **REQUISITO**

68) **REQUISITO**

69) **REQUISITO**

70) **REQUISITO**

71) **REQUISITO**

72) **REQUISITO**

73) **REQUISITO**

74) **REQUISITO**

75) **REQUISITO**

76) **REQUISITO**

77) **REQUISITO**

78) **REQUISITO**

79) **REQUISITO**

80) **REQUISITO**

81) **REQUISITO**

82) **REQUISITO**

83) **REQUISITO**

84) **REQUISITO**

85) **REQUISITO**

86) **REQUISITO**

87) **REQUISITO**

88) **REQUISITO**

89) **REQUISITO**

90) **REQUISITO**

91) **REQUISITO**

92) **REQUISITO**

93) **REQUISITO**

94) **REQUISITO**

95) **REQUISITO**

96) **REQUISITO**

97) **REQUISITO**

98) **REQUISITO**

99) **REQUISITO**

100) **REQUISITO**

Figura 10.3: Formulário (PdT) para Manutenção de Emergência (E).

FLUXO DE MNT DE EMERGENCIA

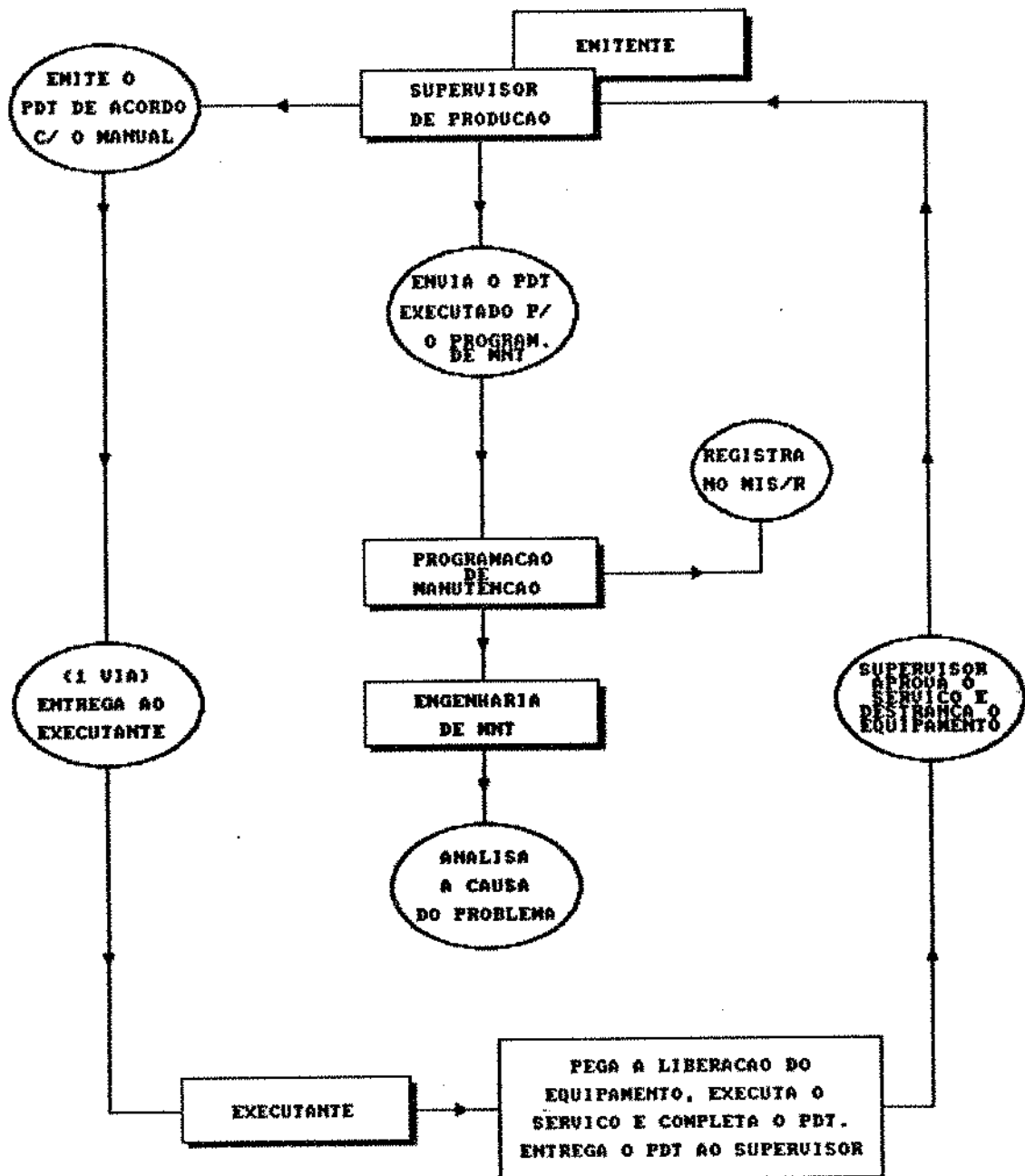


Figura 10.4: Verso do formulário (PdI) para Manutenção de Emergência (E).

27		CHAMADA PARA TRABALHO EXTRAORDINÁRIO	
FUNCIONÁRIO CHAMADO: <u>JOÃO DA SILVA #)</u>			
ENDEREÇO: <u>RUA ALVARENGA, 125</u>			
		TEL.: <u>120235</u>	
28		MOTIVO	
<u>TECNICA ESPECIALIZADO NA LINHA DE MPL</u>			
29		SOLICITANTE	
HORARIO		APROVAÇÃO SUP. DE MNT.	
Horas	Min.	NOME:	VISTO
06	55	RODRIGUES	<u>RLA</u>
		<u>VER</u>	
31			
COMENTÁRIOS: <u>O FUNCIONARIO ESTAVA ESCALADO PARA O</u>			
<u>2º TURNO E O FUNCIONARIO DE PLANTÃO NÃO CONSE</u>			
<u>GUIU LOCALIZAR O DEFEITO.</u>			
32		33	
APROVAÇÃO SUPTE.ENG.		APROVAÇÃO SUPTE.DO SOLICITANTE	
		<u>CEL</u>	
34		35	
CIÊNCIA DO MEC./ELET. DE TURNO		REFUGO CAUSADO:	
<u>ZZZ</u>		<u>125 L. PRODOTO LA25</u>	
		<u>85 KG PRODUTO KM12</u>	
OBSERVAÇÕES:			
<u>#) PROVIDENCIAR TRANSPORTE AO SR. JOÃO.</u>			

Figura 10.5: Fluxograma de gerenciamento das ações de Manutenção de Emergência (E).

Campo	Preenchido	Instruções
Nº	por	
2	(S)	EQUIPAMENTO: Número de código (6 dígitos) do equipamento, de acordo com a listagem geral ou complementar. Quando o serviço não corresponder a um equipamento, ou não existir um número correspondente na lista, colocar o "Centro do Custo" da área (definido no campo 3), ou o número do projeto onde o serviço será executado, acrescido de 2 zeros, como por exemplo: "Fixar quadro na sala de reuniões da Engenharia". Sendo o "Centro de Custo" da Engenharia de número 6641, resulta o código "6641.00". No Capítulo 10.5 são apresentadas informações complementares.
3	(S)	CENTRO (Centro de Custo): Número de código do "Centro do Custo" a que pertence o equipamento. Exemplo: 6641: Edifício do Departamento de Engenharia.
4	(S/P)	TIPO DE MANUTENÇÃO: Assinalar com um "X" o tipo de Manutenção desejada (apenas uma opção).
5	(S)	PAROU? : Assinalar com "X" uma das opções (Sim/Não).
6	(S)	DATA DA PARADA: Registrar apenas o dia e a hora da parada. Exemplo: 25.14.09.
7	(S)	DATA DA ABERTURA: Registrar o dia/mês/ano e a hora/minutos da abertura do PdT.
8	(S)	DATA DA LIBERAÇÃO: Registrar o dia/horas/minutos em que o equipamento foi trancado, etiquetado, etc, e está disponível para a execução do serviço.
9	(E)	CHEGADA DA MANUTENÇÃO: Registrar o dia/horas/minutos em que a Manutenção iniciou o serviço.
10	(S)	TRABALHO REQUERIDO: Descrever sucintamente o serviço desejado, colocando o maior número de informações possíveis. Justificar a solicitação.
11	(S)	SEGURANÇA NECESSITA DE A.R.P.? : Necessidade de Análise de Risco de Processo, a ser indicada pelo Supervisor do Solicitante, nos casos em que o serviço for uma modificação ou nova instalação (PdT do tipo C). O Supervisor deverá avaliar se o serviço implica em risco de processo.

Campo Nº	Preenchido por	Instruções
		Obs: Nenhum PdT do tipo C será executado sem que este campo esteja devidamente preenchido e sem que a análise de riscos de processo tenha sido realizada (casos em que esta for necessária).
12	(S)	DATA DESEJADA: Data ideal para a execução do serviço.
13	(P)	DATA PROGRAMADA: Data prevista para que a Manutenção execute os serviços.
14	(E)	DATA FIM DE TRABALHO: Data em que a Manutenção terminou o serviço.
15	(P)	PREVISÃO DE HORAS P/ O TRABALHO: Estimativa da duração do serviço, em Homens/hora, a ser preenchida pelo Planejador de Manutenção.
16	(E)	TRABALHO EXECUTADO: Resumo do serviço efetuado, quando do término de sua execução.
		COMPLEMENTO: Descrição complementar dos serviços.
	(E)	COMPONENTE: Utilizar o Código (3 letras), apresentado na Tabela 10.1 do Capítulo 10.5.
	(E)	COND/DEF.: Utilizar o Código (3 letras), apresentado na Tabela 10.2.
	(E)	AÇÃO/COR.: Utilizar o Código (3 letras), apresentado na Tabela 10.2.
	(E)	HORAS PARADAS: Tempo (horas/minutos) que o equipamento ficou parado para a execução do serviço.
17	(E)	ESP (ESPECIALIDADE): Preencher de acordo com o código da(s) especialidade(s) do(s) executante(s), apresentado na Tabela 10.3.
	(E)	CHAPA: Preencher com o(s) número(s) de identificação do(s) funcionário(s) executante(s).
	(E)	HORAS SERVIÇO: Indicar a quantidade de horas/minutos gasta por cada funcionário (especialidade).
18	(S)	SEGURANÇA: Identificar os locais a serem Trancados, Etiquetados, Experimentados, Verificados, ou Isolados, e marcar com "X" quando o serviço for efetuado.

Campo	Preenchido	Instruções
Nº	por	
19	(E/P)	PEÇAS REPOSIÇÃO: Preencher de acordo com o código das peças de reposição (quando existente), para efetuar o serviço (8 dígitos).
	(E)	QUANT.: Indicar a quantidade de peças utilizadas. Usar o verso do formulário para quantidades superiores a 8 peças diferentes.
	(E/P)	CUSTO: Preencher com o custo da peça de reposição, em dólares ou valor de referência.
20	(S)	SOLICITANTE: Preencher com o Nome, ramal telefônico e colocar visto (assinatura).
21	(S)	SUP./SUPTE: Visto (assinatura) do Supervisor, quando o emittente não for Supervisor ou Superintendente, nos casos de PdT do tipo C (instalações/melhorias).
22	(S)	SUPTE DA ÁREA: Nos casos de instalações ou melhorias de equipamentos (PdT tipo C), o Superintendente da área deverá aprovar a solicitação.
23	(P)	APROV. ENG.: Todos os serviços deverão ter a aprovação da Engenharia de Manutenção.
24	(S)	ACEITAÇÃO: Concluído o serviço, o Executante deverá enviar a via de aceitação para o Solicitante, para que este tenha conhecimento da execução dos trabalhos efetuados. Se o Solicitante não estiver de acordo com o que foi feito, deve enviar a via de aceitação (1ª Via) para o Planejador e especificar o motivo da recusa.

10.4.2 Formulário (PdT) para Manutenção de Emergência

O preenchimento dos “campos” com numeração idêntica ao PdT para Manutenção Programada segue as mesmas instruções apresentadas anteriormente (Capítulo 10.4.1). Para os “campos” complementares, de número 25 a 35, o preenchimento do formulário PdT para Manutenção de Emergência segue as seguintes orientações:

Campo	Preenchido	Instruções
Nº	por	
25	(S)	SEÇÃO: Utilizar o números de código apresentado na Tabela 10.4.

Campo	Preenchido	Instruções
Nº	por	
26	(S)	ESP: Utilizar o números de código das “especializações” apresentado na Tabela 10.3.
27	(S)	CHAMADA PARA TRABALHO EXTRAORDINÁRIO: Indicar o funcionário desejado (nome, de preferência completo), para realizar o serviço de emergência, e se necessário o seu endereço e telefone (caso esteja ausente da empresa).
28	(S)	MOTIVO: Indicar claramente o(s) motivo(s) que justifica(m) a chamada para execução do serviço.
29	(S)	HORÁRIO: Indicar a hora da chamada.
	(S)	SOLICITANTE: Preencher nome (ou sobrenome) e assinar (visto).
30	-	APROVAÇÃO SUP. DE MNT.: Assinatura do Supervisor de Manutenção (ou seu substituto), aprovando a solicitação.
31	-	COMENTÁRIOS: Julgamento do Supervisor de Manutenção, quanto ao mérito da solicitação.
32	(S)	APROVAÇÃO SUPTE. ENG.: Assinatura do Superintendente de Engenharia, aprovando o serviço (quando se tratar de instalações, melhorias). Obs.: não se aplicando a emergências.
33	(S)	APROVAÇÃO SUPTE. DO SOLICITANTE: Assinatura do Superintendente da área do solicitante, aprovando a solicitação.
34	(E)	CIÊNCIA DO MEC./ELET. DE TURNO: Assinatura do funcionário responsável (Mecânico/eletricista), indicando estar ciente da solicitação.
35	(E/P)	REFUGO CAUSADO: Indicar as perdas (refugos) ocorridas, devido à ocorrência da falha, como por exemplo total em Kg. de produtos sólidos ou líquidos.
36	-	OUTROS: Informações adicionais, que complementam os “campos” do formulário. Indicar o número do “campo” e a seguir, a informação.

Tabela 10.1: Código de Identificação de Componentes (Campo 16)

ACP - ACOPLAMENTO	LMP - LÂMPADA
ALM - ALARME	MAN - MANÔMETRO
ANE - ANEL(ELÁSTICO, RETENÇÃO, ETC)	MEN - MANGUEIRAS E ENCANAMENTOS
BAR - BARRA (ESTABILIZADORA, ETC)	MOL - MOLA
BAS - BASE	MON - MONOVIA
BAT - BATERIA	MTR - MOTOR
BBA - BOMBA	OTS - OUTROS
BCH - BUCHAS, EXCÊNTRICOS	PIN - PINO
BOC - BOCAL	PIS - PISTÃO
BRA - BRAÇADEIRAS	PLG - PLUG
CAB - CABO CONDUTOR	PCP - POÇO DE PROTEÇÃO
CAE - CARTÃO ELETRÔNICO	POR - PORCA
CAM - CAME	POS - POSICIONADOR
CAP - CAPILAR	PSS - PRESSOSTATO
CBT - CARREGADOR DE BATERIAS	PRF - PARAFUSO
CDC - CHAVE DE CONTROLE	PRG - PURGADOR
CEM - CÉLULA DE MEDIÇÃO	PSC - PS DE CAMPO
CHA - CHAVETA	PST - POSITRON
CIL - CILINDRO	RGT - REGISTRADOR
CIP - CIRCUITO IMPRESSO	REL - RELE
CND - COMPONENTE NÃO DEFEITUOSO	RST - RESISTÊNCIA
CEL - COMPONENTE ELETRÔNICO	RGL - REGULADOR
CON - CONTADOR	RLP - ROLDANA, POLIA
CTR - CONTATOR	ROL - ROLAMENTO
CTL - CONTROLADOR	RTM - ROTÂMETRO
CON - CONVERSOR	SDF - SUPRIMENTO DE FORÇA
COR - CORREIA	SEN - SENSOR
CRT - CORRENTE	SOL - SOLENÓIDE
CTO - CARTAO	SUP - SUPORTE
DIS - DISJUNTOR	SWT - SWITCH
DPY - DISPLAY	TMT - TERMÔMETRO
DCS - DISCO	TMP - TERMOPAR
EAQ - ELEMENTO AQUECEDOR	TTT - TERMOSTATO
EIX - EIXO	TFM - TRANSFORMADOR
EMB - EMBREAGEM	TMS - TRANSMISSOR
ENG - ENGRENAGEM	TBG - TUBING
ESC - ESCOVAS	TUB - TUBULAÇÃO
EST - ESTRUTURA	VAC - VÁLVULA DE CONTROLE
EXR - EXAUSTOR	VAS - VÁLVULA DE SEGURANÇA
FLT - FILTRO	VAR - VÁLVULA REGULADORA
FRE - FREIO	VED - VEDAÇÃO
FUS - FUSÍVEL	VEN - VENTILADOR
GAX - GAXETA	VIS - VISOR DE NÍVEL
Obs : Evitar, sempre que possível, a designação "OUTROS".	

Tabela 10.2: Código de Identificação dos Trabalhos Executados (Campo 16)

CONDIÇÃO/DEFEITO	AÇÃO/CORREÇÃO
AJS - REQUER AJUSTE, CALIBRAÇÃO	AFD - AFIADO
BAR - BARULHENTO	AJD - AJUSTADO, CALIBRADO
CES - CORTADO, ESMERILHADO	ALD - ALINHADO
CRE - CORROÍDO, ERODIDO	BLD - BALANCEADO
CUR - CURVADO, DOBRADO	CHD - CHECADO
DEF - DEFICIENTE	CRD - CORTADO
DES - DESLIGADO	CFC - CONFECCIONADO
EMP - EMPERRADO	CSD - CONSERTADO
FIX - FIXO	DLG - DESLIGADO
MLH - MOLHADO	DTP - DESTAMPADO
NOR - NORMAL	EDC - ENDURECIDO
OKE - OK	ISD - ISOLADO
OPI - OPERAÇÃO INADEQUADA	LBD - LUBRIFICADO
OTS - OUTROS	LIG - LIGADO
QBD - QUEBRADO	LIM - LIMPO
QMD - QUEIMADO	LIX - LIXADO
RCH - RACHADO	MNT - MANUTENÇÃO
RUS - REQUER USINAGEM	MED - MEDIDO
RLB - REQUER LUBRIFICANTE	MFD - MODIFICADO
RME - REQUER MEDIÇÃO	OTS - OUTROS
SAQ - SUPER AQUECIDO	PDD - PERDIDO
SLT - SOLTO	PLD - POLIDO
SUJ - SUJO	RBD - REBOBINADO
TMP - TAMPADO	RCD - RECONDICIONADO
TTE - TAMANHO OU TIPO ERRADO	REF - REFORMADO
USD - USADO, GASTO	RMD - REMONTADO
VBR - VIBRANDO	RVD - REVISADO
VZF - VAZAMENTO DE FLUIDO	SAC - SACADO
	SBD - SUBSTITUÍDO
	SEM - SEM AÇÃO
	SLD - SOLDADO
	USI - USINADO
	VFD - VERIFICADO
Obs : Evitar, sempre que possível, a designação "OUTROS".	

Tabela 10.3: Código das Especialidades (Campo 17)

M	-	MECÂNICO GERAL
T	-	MECÂNICO DE TUBULAÇÕES (ENCANADOR)
F	-	MECÂNICO OPERADOR DE MÁQUINA FERRAMENTA
R	-	MECÂNICO DE REFRIGERAÇÃO
S	-	MECÂNICO SOLDADOR
C	-	MECÂNICO DE MANUTENÇÃO CIVIL
P	-	MECÂNICO ISOLADOR
E	-	ELETRICISTA ELETROTÉCNICO
N	-	ELETRICISTA ELETRÔNICO
I	-	ELETRICISTA INSTRUMENTISTA
A	-	AJUDANTE
D	-	APRENDIZ

Tabela 10.4: Código das Seções (Campo 25)

10	-	OFICINA CENTRAL MECÂNICA
15	-	OFICINA CENTRAL ELETROELETRÔNICA E INSTRUMENTAÇÃO
20	-	OFICINA MECÂNICA SETOR A
25	-	OFICINA ELETRÔNICA/INSTRUMENTAÇÃO SETORES A/B/C
30	-	OFICINA MECÂNICA SETOR B
40	-	OFICINA MECÂNICA SETOR C
50	-	OFICINA MECÂNICA SETOR DE UTILIDADES, REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO
55	-	OFICINA ELÉTRICA DE POTÊNCIA E MOTORES
60	-	OFICINA DE MANUTENÇÃO GERAL (CIVIL E PREDIAL)
70	-	OFICINA DE CONSTRUÇÕES E MELHORIA DE INSTALAÇÕES

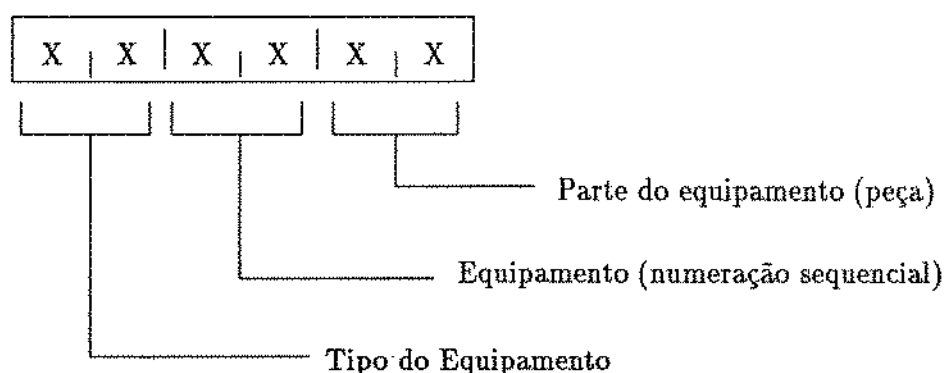
10.5 CODIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A identificação codificada (campo 2) dos Equipamentos (Componentes, Sistemas), foi desenvolvida de acordo com a configuração adotada no programa computacional MIS/R, para registro dos dados. Entretanto, para serem obtidas algumas vantagens no tratamento estatístico dos dados obtidos e facilitar a memorização do Código, recomenda-se que:

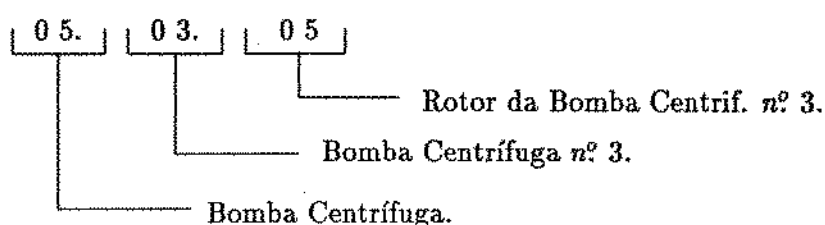
- A Codificação deve agrupar equipamentos de construção ou emprego similares, para possibilitar o registro de dados históricos possíveis de serem comparados (entre agrupamentos).

- Deve ser evitada a excessiva divisão dos elementos que compõem um equipamento (ou sistema), de modo que a amostragem seja significativa para o tratamento estatístico dos dados obtidos.
- Deve ser evitada uma generalização excessiva, que prejudicaria a identificação (com precisão) e a análise conclusiva das causas e efeitos das falhas dos equipamentos.
- A codificação siga uma regra “mnemônica”, para facilitar a memorização do código pelos usuários, considerando-se a grande diversidade dos seus níveis educacionais e culturais.
- Seja sempre mantida, no possível, um paralelo entre o sistema de identificação existente com o que se pretende implantar, para evitar-se um longo período de adaptação às novas regras e consequentes erros de identificação.

A codificação dos equipamentos, com 6 dígitos, segue a seguinte regra:



Exemplo:



10.6 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

Resumidamente, as principais funções dos **Pedidos de Trabalho (PdT)**, são:

- Meio de solicitação das intervenções de manutenção;
- Autorização para execução de trabalhos;
- Possibilitar a programação e o planejamento;

- Custeio;
- Gerenciamento do pessoal;
- Dados Históricos;
- Dados para análise da Disponibilidade, Manutenibilidade e da Confiabilidade.

Considerando-se a complexidade e a velocidade de processamento requerida, foi estabelecido um fluxo operacional adequado cobrindo situações desde uma simples substituição de uma lâmpada, a intervenções de Manutenção complexas e multifuncionais (mecânica, eletroeletrônica, etc).

Capítulo 12

SUGESTÕES PARA FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

12.1 MODELO ESTRUTURAL

- Determinar as equações aplicáveis a arranjos Paralelos tipo $[k/n]$, complexos, para cálculos das Disponibilidades (DCR_j) dos “Componentes Reduzidos”, para redundâncias ativas ou passivas, e elementos diferentes.
- Determinar as equações aplicáveis e arranjos Compostos, por composição série/paralelo, para os casos práticos mais comuns.
- Aplicar a metodologia proposta a um programa computacional “amigável”, que permita a composição de “Componentes-Reduzidos”, principalmente para redundâncias (arranjos paralelos), sem necessidade de alterar o programa fonte do RAMP, ou seja, definir previamente as equações aplicáveis.
- Desenvolver o programa RAMP para outras aplicações que não uma linha de produção contínua, como por exemplo para sistemas de freios automotivos e ferroviários.
- Adaptar o programa RAMP para janelas (windows), o que possibilitaria maior operacionalidade e recursos para simulações.

12.2 MODELO OPERACIONAL

- Desenvolver um programa computacional acoplado ao programa MIS/R, que permita o cálculo direto das Taxas de Falhas (λ) e Recolocação em serviço (μ), bem como dos correspondentes Fatores de Forma (β, γ), tanto para Componentes como para Sensores e Comutadores, para condições reais e ensaios censurados.

Capítulo 11

CONCLUSÕES

O uso de estratégias e técnicas, dentro de um processo de melhoria contínua, conduziram à maximização da Confiabilidade, da Manutenibilidade, e conseqüentemente da Disponibilidade dos Componentes e Sistemas. Implementou-se as novas estratégias e técnicas, em uma primeira fase (1987/1989), resultando em um incremento de 5,6% no valor da Disponibilidade do processo contínuo de fabricação analisado (Linha de produto), tomando-se por base de referência o ano de 1985 (92,2%), como apresentado na Figura 11.1. Isto corresponde a 19 dias adicionais de operação por ano, com um acréscimo significativo no faturamento (produção), sem necessidade de investimentos em novos equipamentos, ou seja, da “Soft Capacity”. Outro resultado significativo alcançado foi um ganho de produtividade na utilização do pessoal de Manutenção. Como mostrado na Figura 11.2a, obteve-se um ganho de 90% na quantidade de Pedidos de Trabalho (PdT) atendidos por cada mecânico da Manutenção, comparando-se as quantidades atendidas nos anos de 1987 a 1991. Correspondentemente, o valor dos equipamentos agregado a cada Mecânico, apresentou um significativo aumento, passando de 3,3 milhões de dólares em 1987 a 4,87 milhões de dólares em 1991, como mostrado na Figura 11.2b.

Para manter o alto valor alcançado em 1991 da Disponibilidade (97,9%), em um patamar razoável, foi diagnosticada a necessidade de estudos complementares. Considerando-se os registros no programa MIS/R de mais de 20000 PdTs, o novo enfoque utilizado foi a análise da Confiabilidade e da Manutenibilidade, devido à possibilidade de cálculos das Taxas de Falhas, Taxas de Recolocação em Serviço, Tempo Médio entre (até) Falhas, etc.

A utilização do conceito de “Componente-Equivalente” permitiu observar a influência dos Sensores (ou Comutadores) no aumento da Confiabilidade dos Componentes, e conseqüentemente da Disponibilidade do Sistema. Para os “Componentes-Reduzidos” por arranjo Série ou Paralelo utilizou-se a teoria Bayesiana ao invés da Markoviana, o que implicou em grande simplificação da metodologia de cálculo da Disponibilidade. Esta simplificação foi possível, com erro praticamente desprezível, pela observação de que as relações (μ/λ) entre as Taxas de Recolocação em serviço e Taxas de Falha, são grandes. No sistema analisado, esta relação foi

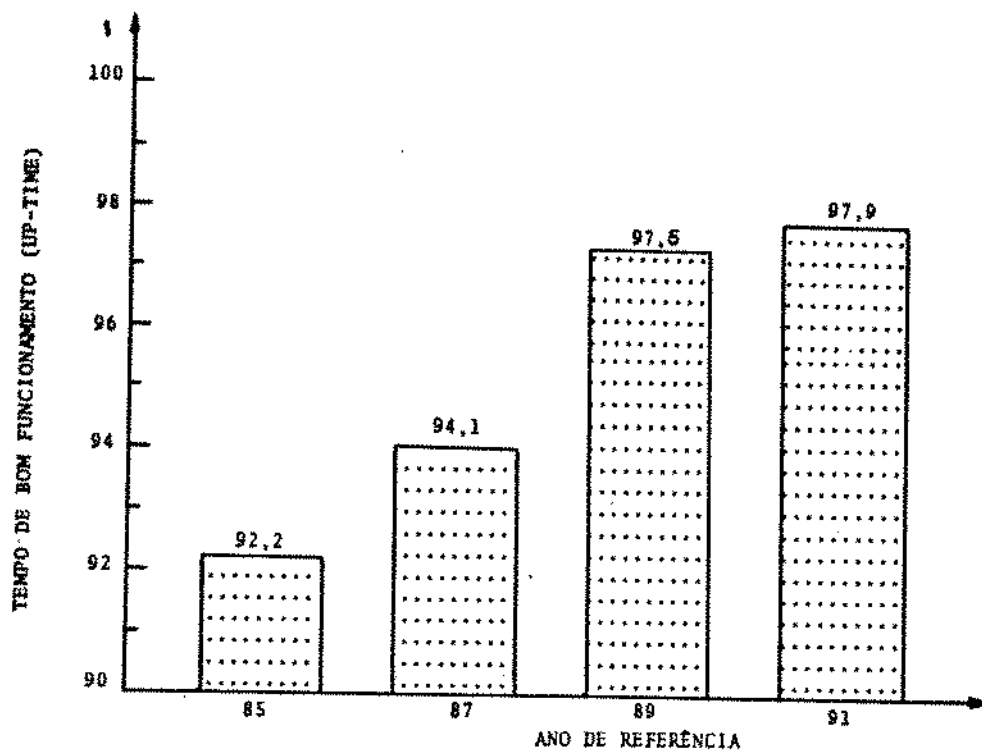


Figura 11.1: Aumento do Tempo de bom funcionamento ao longo do período de aplicação da metodologia adotada.

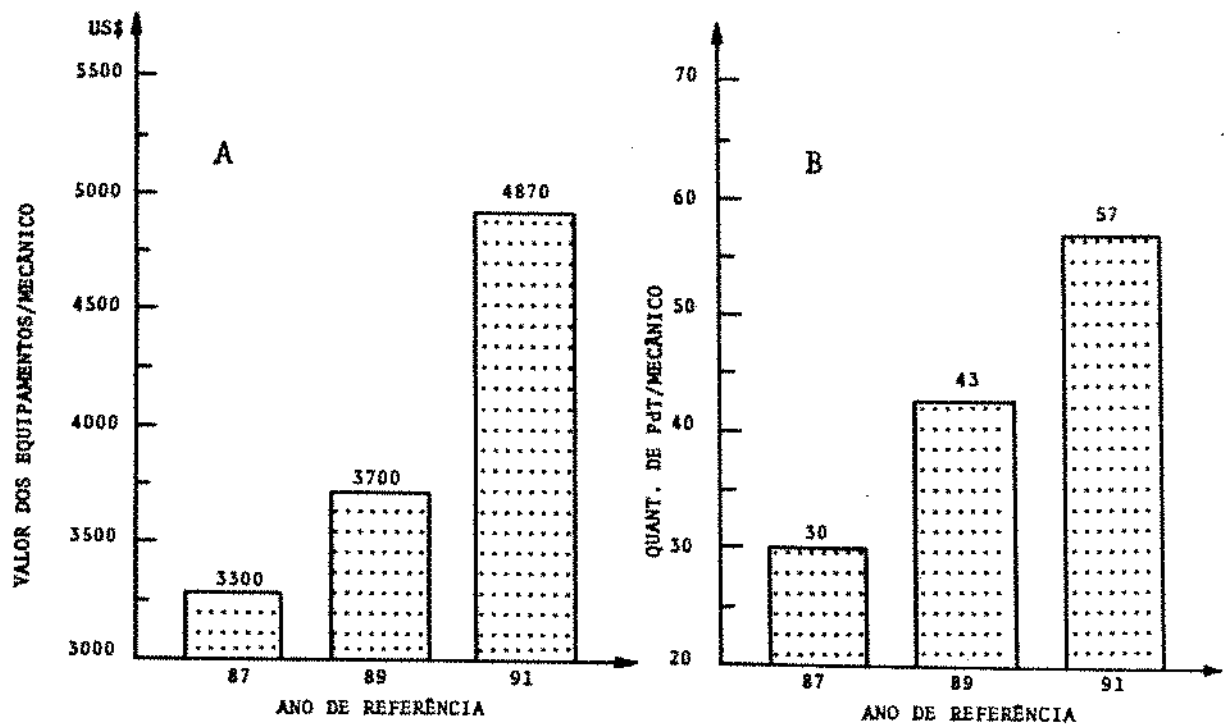


Figura 11.2: Aumentos obtidos quanto ao valor dos equipamentos (a) e da quantidade de PdT, por Mecânico, ao longo do período de aplicação da metodologia adotada.

sempre maior que 100.

O uso da distribuição de Weibull mostrou-se bastante adequado, principalmente porque utiliza Taxas de Falhas variáveis, o que sempre ocorre na prática. A distribuição Exponencial, que resulta um caso particular da distribuição de Weibull, é uma ocorrência excepcional e não um caso frequente.

Todos os novos conceitos introduzidos visaram a obtenção de um programa computacional (RAMP), de fácil utilização. Sendo apresentado em forma de “menu”, este programa possibilitou não apenas o cálculo de valores e gráficos, mas principalmente a realização de simulações de trocas de Componentes (reparos) e novos arranjos físicos (redundâncias, etc).

Conclusivamente, este trabalho pretende ser uma significativa contribuição para o dual “Qualidade x Produtividade”. Todos os conceitos e metodologias desenvolvidos são traduzidos nestes resultados, quer seja pela melhor conformidade do processo de fabricação, resultando em um produto de qualidade superior, como também à redução de custos pela eliminação de paradas imprevistas. Obviamente, o emprego da metodologia proposta, por si só, resulta em um inegável benefício, por sistematizar todas as atividades da “função Manutenção”, que devem ser somadas ao binômio “pessoal + atitudes”, resultando em excelência, ou seja,

$$\boxed{\text{Pessoal}} + \boxed{\text{Sistemas}} + \boxed{\text{Atitudes}} = \boxed{\text{Excelência em Manutenção}}$$

que foi o objetivo principal desse trabalho.

- Analisar a influência dos Parâmetros de Forma (β, γ) nos valores da Disponibilidade, visto a sua marcante influência na vida dos Componentes (Confiabilidade) e características de reparação (Mantenabilidade).
- Determinar a correlação entre os parâmetros característicos da distribuição de Weibull e das distribuições Normal e Lognormal, visando a análise da Mantenabilidade, considerando-se que a troca de componentes (reparos) normalmente satisfazem estes tipos de distribuição.

12.3 GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO

- Desenvolver novas codificações no programa GAMA, para identificação dos Componentes, das falhas, das recolocação e das ações/correções, aplicáveis a particulares sistemas (freios automotivos e ferroviários, alimentação de carvão para alto forno, etc).
- Desenvolver uma nova metodologia para análise das relações custos/benefícios, do ponto de vista das falhas e das recolocações, e não apenas das relações custos de investimentos/produção, ou seja, relacionar a Confiabilidade, a Mantenabilidade e a Disponibilidade, com a Produtividade e a Qualidade.

12.4 OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE FÁBRICAS, DE CLASSE MUNDIAL

- Utilizar o programa RAMP na elaboração de projetos de fábricas, otimizando a sua Disponibilidade e Mantenabilidade, bem como o uso dos recursos financeiros disponíveis.

Capítulo 13

BIBLIOGRAFIA

13.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Revista Exame, "Melhores e Maiores". Agosto 1991.
- [2] A.T. Kearney Consultants, "Best of the Best Maintenance Study". Eilmington, DC, March 1989.
- [3] Norma ABNT-NBR-5462, "Confiabilidade - Terminologia". 1981.
- [4] Norma BS-3811/74, "Maintenance Terms in Terotechnology". British Standards Institution, 1974.
- [5] Norma AFNOR X06-501, "Applications de la Statistique - Introduction à la Fiabilité". 1984.
- [6] Monchy, F., "A Função Manutenção". Ed. EBRAS/DURBAN, 1989.
- [7] Govil, A. K., "Reliability Engineering". Ed. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1984.
- [8] Billinton, R., Allan, R. N., "Reliability Evaluation of Engineering Systems - Concepts and Techniques". Plenum Press, England, 1987. ISBN-0-306-41296-9.
- [9] Pallerosi, C. A., Paone, N., "Sensores como elementos de aumento da Confiabilidade de Componentes e Sistemas Mecânicos". Revista Brasileira de Ciências Mecânicas, Dez. 1991. ISSN-0100-7386.
- [10] Meister, D., "A Critical Review of Human Performance Reliability Predictive Methods". IEEE Trans. on Reliability, Vol. R-22, nº 3, Aug. 1973.
- [11] Peters, G. A., Hussman, T. A., "Human Factors in System Reliability". Human Factors, Vol. 1, nº 2, 1959, pag. 38-50.

- [12] Meister, D., "Methods of Predicting Human Reliability in Man-Machine Systems". Human Factors, Vol. 6, nº 6, Dec. 1964, pag. 621-646.
- [13] Norma CEI-56-1, "Procedura di analisi dei modi e degli effetti di guasto (FEMEA)". Fascicolo 109, (1988).
- [14] Souza, C. J., "Análise de Modos de Falhas". Vol. V, cap. 5, "Técnicas em Administração da Qualidade". Publ. FEM/UNICAMP, 1991.
- [15] Fantazzini, M. L., "Técnicas de análises de falhas". II Qualitech, Brasil, 1990.
- [16] Luz, V., "FMEA/FMECA. Análise do Modo e Efeito da Falha". I Qualitech, Brasil, 1989.
- [17] Enrick, N. L., "Quality Control and Reliability". Industrial Press Inc., New York, 1972.
- [18] Green, A. E., Bourne, A. J., "Reliability Technology". Wiley-Interscience, England, 1972. ISBN-0-471-32480-9.
- [19] Bompas - Smith, J. H., "Mechanical Survival". McGraw-Hill, England, 1973.
- [20] Lloyd, D. K., Lipow, M., "Reliability: Management, Methods, and Mathematics". ASQC, Milwaukee, WI, 1989. ISBN-0-8738-000-0.
- [21] Norma MIL-STD-217B, "Reliability Prediction of Electronic Equipment". Set. 1974.
- [22] Norma UNI-S-497, "Terminologia di base per l'affidabilità". (1977).
- [23] Galletto, F., "Affidabilità". Vol. I e II, Ed. CLEUP, Padova, Italia (1987).
- [24] Moura, E. C., "How to Determine Sample Size and Estimate Failure Rate in Life Testing". ASQC (American Society for Quality Control), 1991. ISBN-0-87389-112-0.
- [25] Norma AFNOR X60-503, "Introduction à la Disponibilité". 1985.
- [26] Carter, A. D., "Mechanical Reliability". Ed. MacMillan Education Ltd., England, 1986. ISBN-0-333-40586-2.
- [27] MIS/R Systems, "Automated Maintenance Management". 410 White Clay Center, Newark. DE, 9711 (1987).
- [28] Tobias, P. A., Trindade, D. C., "Applied Reliability". Van Nostrand Reinhold Co., New York, NY (1986).

13.2 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- [29] Mirshawka, V., "O modelo de Weibull e aplicações à Confiabilidade". Tese de Mestrado, Inst. Matemática e Estatística da U.S.P., Agosto 1979.
- [30] O'Connor, P.D.T., "Practical Reability Enginnering". Heyden, London, 1981.
- [31] Kaufmann, A., Grouchko, D., Cruon, D., "Mathematical Models for the Study of Reliability of Systems". Academic Press, NewYork, 1977.
- [32] Chapouille, R. de P., "Fiabilité des Systemes". Ed. Masson, Paris, 1968.
- [33] Borges, W. S., "Modelos Probabilísticos em Confiabilidade". Inst. Matemática Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, 1980.
- [34] Anderson, R. T., "Reliability Design Handbook". I.T.T. Reserch Institute, Chicago, Il., 1976.
- [35] Camargo, C. C. de B., "Confiabilidade Aplicada à Sistemas de Potência Elétrica". LTC, 1981.
- [36] Omdahl, T. P., "Reliability, Availability and Maintainability Dictionary". A.S.Q.C., Milwaukee, Il., 1988.
- [37] Giovannozzi, R., "Affidabilità strutturale degli organi delle machine". Ed. Pitagora, Bologna, 1979.
- [38] Modarres, M., "Increasing the Performance of Engineering Systems". Reliability Review, vol. 6, Jun. 1986.
- [39] Dummer, W. A., Winton, R. C., "An Elementary Guide to Reliability". Pergamon Press, 1990.
- [40] Dhillon, B. S., "Human Reliability with Human Factors". Pergamon Press, Oxford, 1986.
- [41] Gosling, W., "The Design of Engineering Systems". John Wiley, New York, 1962.
- [42] Rondeau, H. F., "Short-cut Reliability Analysis". Machine Design, Set. 21, 1978.
- [43] Ellenrieder, A. R. Von, "A distribuição de Weibull e algumas de suas aplicações". Revista ITA Engenharia, Nov. 1969.
- [44] Garcia, J. D. G., "Confiabilidade - um aspecto relevante de sistemas de controle". Revista Controle e Instrumentação, Jan. 1986.
- [45] Basile, A. C. S., "Cálculo de Confiabilidade". Revista Controle e Instrumentação, Março 1985.

- [46] Rodrigues, R. S., "Sobrevivência mecânica - aspectos determinísticos e probabilísticos, Confiabilidade estrutural". Revista Pesquisa e Tecnologia FEI, Dez. 1984.
- [47] Sotskov, B., "Fundamentos de la teoria y del calculo de fiabilidad de elementos y dispositivos de automatization y tecnica del calculo". Editorial MIR, Moscou, 1972.

13.3 NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARES

- [48] MIL-HDBK-472, "Maintainability Prediction", Jan. 84.
- [49] MIL-HDBK-470A, "Maintainability Program for Systems and Equipment", Jan. 83.
- [50] MIL-STD-471A, "Maintainability Verification, Demonstration and Evaluation". Dec. 78.
- [51] MIL-P-24534(SH), "Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages and Associated Documentation". Apr. 76.
- [52] BS-5760, "Reliability of Systems, Equipment and Components". British Standards Institution, London.
- [53] MIL-STD-781C, "Reliability Design Qualification and Production Acceptance Tests: Exponential Distribution", Oct. 1977.
- [54] ABNT-NBR-6534, "Planos de amostragem e procedimentos para qualificação de componentes baseados na Taxa de falhas". 1981.
- [55] ABNT-NBR-9320, "Confiabilidade de equipamentos - recomendações gerais". 1986.
- [56] ABNT-NBR-9325, "Confiabilidade de equipamentos - planos de ensaio de conformidade para Taxa de falhas e Tempo médio entre falhas, admitindo-se Taxa de falhas constante". 1986.
- [57] ABNT-NBR-6742, "Utilização da distribuição de Weibull para interpretação dos ensaios de durabilidade por fadiga". 1987.
- [58] ABNT-NBR-9321, "Cálculo de estimativas por ponto e limites de confiança resultante de ensaios de determinação da Confiabilidade de equipamentos". 1986.

13.4 REVISTAS ESPECIALIZADAS

- Reliability Review. Public. da ASQC (American Society for Quality Control). USA.
- IEEE Transactions on Reliability.

13.5 PUBLICAÇÕES ESPECIALIZADAS

ASQC (American Society for Quality Control) - Basic References in Quality Control - Statistical Techniques:

- Volume 1: How to Analyze Data with Simple Plots (W. Nelson)
- Volume 2: How to Perform Continuous Sampling (CSP) (K. Stephens)
- Volume 3: How to Test Normality and Other Distributional Assumptions (S. Shapiro)
- Volume 4: How to Perform Skip-Lot and Chain Sampling (K. Stephens)
- Volume 5: How to Run Mixture Experiments for Product Quality (J. Cornell)
- Volume 6: How to Analyze Reliability Data (W. Nelson)
- Volume 7: How and When to Perform Bayesian Acceptance Sampling (T. W. Calvin)
- Volume 8: How to Apply Response Surface Methodology (J. Cornell)
- Volume 9: How to Use Regression Analysis in Quality Control (D. C. Crocker)
- Volume 10: How to Plan an Accelerated Life Test - Some Practical Guidelines (W. Meeker and G. Hahn)
- Volume 11: How to Perform Statistical Tolerance Analysis (N. D. Cox)
- Volume 12: How to Choose The Proper Sample Size (G. G. Brush)
- Volume 13: How to User Sequential Statistical Methods (T. P. McWilliams)
- Volume 14: How to Construct Fractional Factorial Experiments (R. F. Gunst and R. L. Mason)
- Volume 15: How to Determine Sample Size and Estimate Failure Rate in Life Testing (E. C. Moura)