

FERNANDO ROSENDO DE ARAUJO FILHO

ASFS

AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS
- UM AMBIENTE COMPUTACIONAL

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Pernambuco (UFPE) para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia.

Área de Concentração:
Sistemas Tolerantes a Falhas

Orientador:
Mauro Rodrigues dos Santos

Recife - Pernambuco
1993

A G R A D E C I M E N T O S

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Mauro Rodrigues dos Santos pelas diretrizes seguras e permanente incentivo.

A CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco, em especial ao Eng. Murilo Gomes Dantas pelo incentivo ao meu aperfeiçoamento técnico.

A minha esposa Ioneide, pelo estímulo e incansável compreensão.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a execução deste trabalho.

CAPÍTULO II - CONCEPÇÃO DO AMBIENTE COMPUTACIONAL32

2.1	- Considerações Iniciais.....	33
2.2	- Estrutura Modular do Sistema.....	33
2.2.1	- Programa PRINCIPA.....	35
2.2.2	- Unit TIPOS.....	35
2.2.3	- Unit DIRETO.....	35
2.2.4	- Unit STGCAL.....	36
2.2.5	- Unit MTZTEC.....	36
2.2.6	- Unit MTZARQ.....	36
2.2.7	- Unit <u>TEMPORAL.....</u>	37
2.2.8	- Unit PROBEST.....	40
2.2.9	- Unit INVARIA.....	41
2.2.10	- Unit SALVAR.....	42
2.2.11	- Unit MENUTIL.....	44
2.2.12	- Unit EDITAR.....	46
2.3	- Considerações Finais.....	49

CAPÍTULO III - DESCRIÇÃO DO AMBIENTE COMPUTACIONAL50

3.1	- Introdução.....	51
3.2	- Interface com o Usuário(Generalidades).....	51
3.3	- Dados de Entrada.....	53
3.3.1	- Interface cora o Usuário.....	54
3.3.2	- Entrada Manual de Dados.....	54
3.3.3	- Entrada Automática de Dados.....	61
3.3.3.1	- Formato do Arquivo de Entrada de Dados...62	
3.3.3.1.1	- DefiniçSo da DimensSo do Sistema...62	
3.3.3.1.2	- DefiniçSo das Constantes.....	63
3.3.3.1.3	- DefiniçSo dos Elementos da Matriz das Taxas.	64
3.3.3.1.4	- DefiniçSo dos Atributos dos Estados.....	66
3.3.3.1.5	- DefiniçSo dos Custos Operacionais..67	
3.3.3.1.6	- DefiniçSo Completa de um Sistema...68	
3.3.3.2	- Leitura do Arquivo de Entrada de Dados...69	
3.3.4	- Salvar EspeclficaçãoSo em Arquivo.....	72
3.4	- Dados de Salda.....	74

3.4.1	- Probabilidades Estacionárias.....	75
3.4.2	- Medidas Invariantes no Tempo.....	79
3.4.2.1	- Disponibilidade do Sistema.....	80
3.4.2.2	- Tempo Médio para Falhar - MTTF.....	80
3.4.2.3	- Tempo Médio para Reparar - MTTR.....	81
3.4.2.4	- Salvamento das Medidas Invariantes.....	83
3.4.3	- Medidas Variantes no Tempo.....	85
3.4.3.1	- Confiabilidade do Sistema.....	86
3.4.3.2	- EvoluçSo Temporal da Disponibilidade do Sistema . . .	90
3.4.3.3	- EvoluçSo Temporal das Probabilidades de OcupaçSo dos Estados. . . .	93
3.5	- Diretório.....	97
3.6	- Editor de Textos.....	99
3.7	- Recalcular a Diagonal da Matriz.das Taxas.....	100
3.8	- ReInlcializaçSo.....	100
3.9	- FinalizaçSo.....	100
3.10	- ConsideraçSoes Finais.....	101

CAPÍTULO IV - UM EXEMPLO DE AVALIAÇSo.....102

4.1	- ConsideraçSoes Iniciais.....	103
4.2	- Sistema a ser avaliado.....	103
4.3	- Modelagem do Sistema.....	104
4.3.1	- Conjunto de Estados.....	105
4.3.2	- Diagrama de Estados.....	113
4.4	- AvaliaçSo de Desempenho (Com ManutençSo Corretiva).....	116
4.4.1	- Dados de Entrada (Arquivo Descritivo do Sistema).....	117
4.4.2	- Resultados Obtidos da AvaliaçSo.....	120
4.5	- Efeito da ManutençSo Preventiva (Modelagem e AvaliaçSo).....	122
4.5.1	- Dados de Entrada (Arquivo Descritivo do Sistema).....	127
4.5.2	- Resultados Obtidos da AvaliaçSo.....	128
4.5.3	- Análise de Sensibilidade (Parâmetro [a]).....	130
4.6	- ConsideraçSoes Finais.....	132

CONCLUSÕES. 133

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 134

R E S U M O

Este trabalho descreve um Ambiente Computacional, desenvolvido como uma ferramenta de apoio ao processo de avaliação de segurança de funcionamento de sistemas.

Os sistemas a serem avaliados devem ser modelados por cadeias de Markov de parâmetro contínuo. O tratamento matemático utilizado pelo ambiente computacional, considera, a priori, características de Ergodicidade do sistema sob análise. Esta suposição permite a obtenção de parâmetros médios, invariantes no tempo, tais como: a Disponibilidade, o Tempo Médio para Falhar - MTTF e o Tempo Médio para Reparar MTTR. Através da resolução numérica das equações diferenciais de Kolmogorov, algumas medidas variantes no tempo, tais como: confiabilidade, evolução da disponibilidade e das probabilidades de ocupação dos estados, são também calculadas.

É descrito, a título de exemplo de utilização do ambiente computacional, um estudo de avaliação de segurança de funcionamento de um sistema composto por dois computadores operando em redundância dinâmica com políticas de manutenção corretiva e preventiva. Este estudo compreende desde a modelagem do sistema até a análise de sensibilidade da periodicidade das manutenções preventivas.

A B S T R A C T

This thesis describes a software for PC compatible microcomputers, developed to help the evaluation of systems dependability.

As an example, part of the dependability evaluation for a two redundant computer system with dynamic redundancy is presented. Effects of corrective and preventive maintenance approaches are also evaluated.

Systems are submitted to evaluation through its Continuous Time Markov Chain equivalent model. The software reads the system description in a special format Input Data File which makes easy the iterative process of evaluation. Ergodicity behaviour is considered, a priori, In order to obtain some mean time Invariant system parameters like: availability, mean time to failure (MTTF) and mean time to repair (MTTR).

Time variant systems parameters like reliability, or just the state probabilities evaluation, are obtained by solving Kolmogorov's differential equations by using numerical techniques.

INTRODUÇÃO

A avaliação é um processo onde são examinados diferentes compromissos entre os fatores que caracterizara ura sistema [SV0.76]. Em particular, a avaliação de segurança de funcionamento visa exprimir o grau de confiança do usuário era relação ao comportamento de um sistema, observando sua estrutura, a ocorrência de falhas (humanas ou físicas), bem como os mecanismos de recuperação (manutenção). Esse tipo de avaliação é realizada quando a confiabilidade ou a disponibilidade são atributos relevantes na especificação do sistema. Essas avaliações são normalmente feitas durante a fase de concepção, ou durante a vida útil do sistema, quando se pretende adotar uma nova politica de operação e/ou manutenção. Geralmente as possíveis soluções a serem adotadas são confrontadas cora o fator custo.

A avaliação de segurança de funcionamento ê de natureza quantitativa e é fundamentada na teoria de Processos Estocásticos. Ferramentas computacionais do tipo SURF [COS.81] de apoio â avaliação de sistemas, são atualmente disponíveis em centros de pesquisas avançados. Entretanto, a maioria desse3 ferramentais são concebidos para computadores de grande porte.

O Ambiente computacional aqui proposto está dirigido para microcomputadores do tipo PC. Tal Ambiente trata sistemas modelados por processos estocásticos tipo markovianos de parâmetros contínuos [CIN.75] [BIL.85], isto é, todos os eventos envolvidos na mudança de estado do sistema são modelados por variáveis aleatórias cujas distribuições de probabilidades são exponenciais.

Este trabalho se encontra dividido era quatro capítulos.

No capítulo I são descritos os fundamentos teóricos em que estão baseados os procedimentos de cálculo adotados neste trabalho. Inicialmente são abordadas as modelagens da ocorrência de falhas e da realização de manutenções nos sistemas. Em seguida apresenta-se um resumo sobre Cadeias de Markov de Parâmetro Continuo, bera como as considerações para a modelagem de sistemas através das mesmas.

No capítulo II é apresentada a concepção do projeto do ambiente computacional. São descritos todos os módulos componentes do ambiente, juntamente com suas funções específicas.

No capítulo III o ambiente computacional é minuciosamente detalhado no que se refere a sua utilização por parte do usuário. São apresentados todos os menus e sub-menus disponíveis no ambiente computacional, assim como os procedimentos operacionais para a sua utilização.

Dedicou-se o capítulo IV para a apresentação detalhada de um exemplo de aplicação do ambiente computacional. Um sistema hipotético composto por dois computadores operando em redundância dinâmica é analisado do ponto de vista de segurança de funcionamento. Numa primeira etapa de avaliação adota-se a política de realização exclusiva de manutenções corretivas. Obtidos os resultados, passa-se a uma segunda etapa de avaliação, onde são consideradas tanto manutenções corretivas como preventivas.

CAPÍTULO I
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Um critério importante na concepção de um sistema é a capacidade que o mesmo terá em oferecer um dado serviço com uma qualidade pré-determinada, dentro de condições pré-definidas e durante um certo intervalo de tempo. Esta capacidade pode ser avaliada durante a concepção do sistema, permitindo que providências possam ser tomadas a fim de garantir os limites desejados.

A avaliação realizada durante a concepção de um sistema é uma operação onde são examinados os diferentes compromissos entre fatores que caracterizam o sistema, tais como : custo, desempenho funcional e segurança de funcionamento.

A avaliação da segurança de funcionamento visa determinar o grau de confiança que o usuário pode esperar em relação ao comportamento do sistema.

A arquitetura do sistema, a ocorrência de falhas (físicas e humanas) e os mecanismos de recuperação das falhas (manutenção e automatismos), são os componentes fundamentais considerados na avaliação da segurança de funcionamento. O grau de complexidade desta avaliação depende basicamente destes três fatores. Eles determinam o número de estados diferentes em que o sistema pode ser encontrado e conseqüentemente têm influência direta na complexidade da análise do comportamento do mesmo.

Um sistema em funcionamento pode ser visto por seus usuários como uma alternância entre dois estados: O primeiro caracterizado pelo fato do serviço estar sendo oferecido ao usuário conforme as especificações. O segundo caracterizado pelo oposto, isto é, o serviço oferecido foge as especificações do sistema. Os eventos que causam as transições entre estes dois estados são a falha e a reparação.

Apresenta-se neste capítulo, as definições e um resumo dos fundamentos teóricos em que estão baseados os procedimentos matemáticos utilizados na avaliação de segurança de funcionamento de sistemas. Os fundamentos teóricos aqui apresentados estão amplamente difundidos através da literatura especializada [BIL.85], [ICOR.75] e [SV0.76I].

Antes de prosseguir, entretanto, é preciso conceituar claramente os conceitos de FALHA, ERRO e DEFEITO.

Quando o comportamento de um sistema viola as especificações, dizemos que o sistema apresentou um defeito. O defeito do sistema foi não ter se comportado conforme o esperado.

Os defeitos apresentados pelos sistemas são causados por erros de funcionamento em componentes do sistema, quando solicitados. Observe-se que a existência do erro antecede a ocorrência do defeito. Antes do erro causar o defeito diz-se que o erro é latente.

A causa de comportamento errôneo de componentes de um sistema são as falhas. Falhas nos componentes de um sistema, fazem com que os mesmos apresentem erros de funcionamento quando solicitados.

Para exemplificar estes conceitos, sejam os seguintes exemplos:

1. O engano de um programador é uma falha (falha humana), a consequência é um erro (latente) no *software* escrito. Com a ativação do *software*, o erro torna-se efetivo; se este erro efetivo produz dados errados que afetam o serviço fornecido, um defeito ocorre.

2. Um curto-circuito em um circuito integrado é uma falha; a consequência (modificação da funcionalidade do circuito) é um erro que permanecerá latente enquanto o circuito integrado não for solicitado.

1.2 MODELAGEM DA OCORRÊNCIA DE FALHAS

1.2.1 FALHAS FÍSICAS

Considerara-se falhas físicas aquelas relacionadas aos componentes constituintes do sistema. Neste trabalho não será feita distinção entre falhas de *hardware* e de *software*. O estado não operacional será considerado como falha física do equipamento, independentemente da origem ser no *hardware* ou no *software*.

1.2.1.1 MODELO DE FALHA

Para se avaliar medidas de segurança de funcionamento em um sistema é preciso conhecer o comportamento probabilístico das falhas que ocorrem no mesmo.

Seja um lote de N componentes idênticos que foram colocados em funcionamento no instante de tempo $t \gg 0$. Suponhamos que após decorrido um tempo igual a ' t ', verificou-se que apenas N_s componentes estavam funcionando, enquanto N_f componentes tinham falhado ($N_f + N_s = N$).

Repetida esta experiência diversas vezes, chegou-se que em média $N_s(t)$ elementos ainda estão funcionando no tempo ' t ', e que em média $N_f(t)$ elementos falham num tempo ' t ' [$N_s(t) + N_f(t) = N$].

Pela visão frequentista das probabilidades, pode-se dizer que a probabilidade de um destes componentes funcionar sem falhar até o tempo ' t ' será dada por $N_s(t)/N$. A esta função do tempo costuma-se denominar de função sobrevivência do componente, ou confiabilidade do componente. Era decorrência da língua inglesa ("Reliability") costuma-se ter frequentemente a notação $R(t)$ para a confiabilidade. Assim

Função Sobrevivência ->

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N}$$

Eq.1.1

Outra importante função no estudo das falhas dos componentes é a conhecida taxa de falhas do componente, que é definida por:

$$M(t) = \frac{\text{Número de falhas por unidade de tempo no instante 't'}}{\text{Número de componentes expostos a falharem no instante 't'}}$$

A divisão pelo número de componentes expostos a falharem faz com que a taxa de falhas torne-se independente do número de componentes do experimento, transformando-a em uma característica própria do componente.

O número de componentes expostos a falharem no instante 't' é igual ao número de componentes que ainda não falharam até este instante, portanto $N_3(t)$.

O número de falhas por unidade de tempo é a primeira derivada da função do tempo $N_f(t)$, portanto

$$X(t) = \frac{\frac{d N_f(t)}{dt}}{N_s(t)} = \frac{\frac{d [1 - N_s(t)]}{dt}}{N_s(t)} = \frac{\frac{d N_s(t)}{dt}}{N_s(t)}$$

Pela Eq.1 temos que $N_s(t) = N \cdot R(t)$, assim

$$M(t) = \frac{-N \cdot \frac{d R(t)}{dt}}{N \cdot R(t)} = \frac{\frac{d R(t)}{dt}}{R(t)} \quad \text{ou}$$

$$M(t) = \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{d R(t)}{dt} \quad \text{Eq.1.2}$$

A Eq.1.2 relaciona a taxa de falhas com a confiabilidade do componente. Obtêm-se facilmente o oposto, isto é, a confiabilidade em função da taxa de falhas:

Da Eq.1.2 temos que

$$M(t).dt = - \frac{dR(t)}{R(t)} \quad \int_{0}^{t} M(t).dt = - \int_{R(0)}^{R(x)} \frac{dR(t)}{R(t)} \quad \text{então}$$

$$\int_{0}^{t} M(t).dt = - \ln R(x) + \ln R(0) \quad \Rightarrow \quad - \ln R(x) \text{ pois } R(0)=1$$

Assim,

$$R(x) = \exp \left(- \int_{0}^{x} \lambda(x) dx \right) \quad \text{ou} \quad R(t) = \exp \left(- \int_{0}^{t} \lambda(t) dt \right)$$

Eq.1.3

Seja agora a variável aleatória X que representa o tempo de funcionamento sem falha de um componente. Então a probabilidade do componente funcionar sem falhar até o tempo t* é dada por P(X>t). Entretanto esta probabilidade equivale exatamente a confiabilidade do componente, isto é : R(t)=P(X>t)

Então,

$$R(t) = 1 - P(X < t) = 1 - F(t) \quad \text{onde } F(t) \text{ é a Função Densidade de Probabilidade (f.d.p.) de X.}$$

$$\text{Como } f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad \text{onde } f(t) \text{ é a f.d. de X.}$$

$$\text{Então } f(t) = - \frac{dR(t)}{dt} [1 - R(t)] \quad \text{logo:} \quad f(t) = - \frac{dR(t)}{dt} \quad \text{Eq.1.4}$$

Conhecendo-se a distribuição de probabilidades de X pode-se calcular o valor esperado de X, ou seja, o valor esperado do tempo até ocorrer a primeira falha no componente. Este valor é conhecido por MTTF (do inglês - "Mean Time to Fali"),

$$MTTF = E(X) = \int_0^{+\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \int_0^{+\infty} dR(t)$$

Integrando por partes,

$$MTTF = [-t \cdot R(t)]_0^{+\infty} + \int_0^{+\infty} R(t) \cdot dt$$

Para a primeira parte desta expressão têm-se que:

$$[-t \cdot R(t)]_0^{+\infty} = - \lim_{t \rightarrow +\infty} t \cdot R(t) + 0 \cdot R(0) = - \lim_{t \rightarrow +\infty} t \cdot R(t)$$

Substituindo-se R(t) pela Eq.1.3 têm-se:

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} t \cdot R(t) = - \lim_{t \rightarrow +\infty} t \int_0^t \lambda(x) \cdot \exp(-Mx) \cdot dx$$

A função M(t) é por natureza uma função sempre positiva, e crescente após o período de vida útil do componente. Seja K o valor mínimo de M(t) no intervalo (0, +∞). Têm-se então que:

$$\int_0^t \lambda(x) \cdot \exp(-Mx) \cdot dx > \exp(-M)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t \lambda(x) dx < \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t \lambda(x) dx < \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t \lambda(x) dx$$

Sendo a última desigualdade obtida pela expansão em série de Taylor da função exponencial.

Como $M(t)$ tende a crescer quando $t \rightarrow \infty$, têm-se que:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} t \cdot R(t) \text{ tende a zero quando } t \rightarrow \infty.$$

Assim

$$MTTF \approx \int_0^{\infty} R(t) dt \quad \text{Eq. 1.5}$$

1.2.1.2 MODELO EXPONENCIAL DE FALHA

As equações 1.2 a 1.5 são bastante genéricas. Uma situação particular de bastante interesse acontece quando considera-se que a taxa de falhas se mantém constante ao longo do tempo. Esta é uma aproximação bastante razoável para o caso de equipamentos eletrônicos [BIL.851].

Com $M(t) = \lambda \cdot t$, constante, têm-se $R(t) = e^{-\lambda t}$, ou seja a probabilidade do componente funcionar sem falhar até o tempo 't' decai exponencialmente com o tempo. Obviamente, o tempo médio para falhar será igual a $1 / \lambda$.

A ocorrência de uma falha num componente de um sistema é uma das causas de mudança de estado deste sistema. Se a permanência num determinado estado depender exclusivamente da falha de uma componente com λ constante, podemos dizer que a probabilidade do sistema ainda se encontrar no mesmo estado após t unidades de tempo de observação será $e^{-\lambda t}$, ou seja, será igual a probabilidade que o componente não falhe dentro deste intervalo.

Distribuição exponencial de probabilidade para os tempos de permanência nos estados do sistema, é um requisito fundamental para que se possa modelar o sistema por uma Cadeia de Markov de Parâmetro Contínuo [BIL.85], conforme será visto posteriormente .

1.2.2 FALHAS HUMANAS

As falhas humanas são originadas da atuação inadequada do homem sobre o sistema. Neste trabalho os efeitos das falhas humanas serão modelados por probabilidades de atuação errônea do homem. Estas probabilidades serão utilizadas como elementos condicionantes das transições provocadas por estas falhas.

1.3 MODELAGEM DA REALIZAÇÃO DAS MANUTENÇÕES

As manutenções , representando a volta à operacionalidade dos componentes constituintes do sistema, representam por isto outra causa de mudança de estado no sistema.

Estando um sistema num estado caracterizado por estar sendo realizada uma manutenção, é de interesse que a probabilidade do sistema permanecer neste estado por mais um tempo 't' , seja uma função exponencial de 't' para que se possa modelar a operação deste sistema por uma Cadeia de Markov de Parâmetro Contínuo.

O tempo que o sistema ainda permanecerá no estado de manutenção equivale ao tempo que ainda falta para a conclusão da manutenção. Assim é desejável que a probabilidade de que a manutenção dure ainda 't' unidades de tempo seja igual a $e^{-\lambda t}$. Em analogia com a taxa de falhas pode-se interpretar λ como sendo uma Taxa de Reparação, medindo a velocidade com que uma reparação seria realizada.

1.4 TEMPO DE PERMANÊNCIA NOS ESTADOS

Dado um determinado estado qualquer de um sistema , suponha-se que o tempo de permanência (T) do sistema neste estado seja uma variável com uma determinada distribuição de probabilidades $f(t)$.

A probabilidade que o sistema permaneça neste estado por um tempo maior que t será dado por:

$$P [T > t] = \int_0^t f(t) \cdot dt = 1 - \int_0^t f(t) \cdot dt$$

Entretanto a probabilidade que o sistema permaneça neste estado por um tempo maior que t é exatamente a probabilidade que o evento causador da mudança de estado não ocorra antes deste tempo, ou seja, a probabilidade que ainda se passe unidades antes do evento ocorrer. Nas modelagens de falha e reparação anteriores, admitimos por hipótese que esta probabilidade tinha um decaimento exponencial. Assim:

$$- \int_0^t f(t) \cdot dt \quad \rightarrow, t \quad f(t) = a \cdot e^{-a \cdot t} \quad \text{Eq.1.6}$$

Isto ó, o tempo de permanência num determinado estado será uma variável aleatória com distribuição exponencial de probabilidades. Assim todas as características conhecidas desta distribuição podem ser aplicadas ao sistema. Por exemplo, o tempo médio de permanência num determinado estado será dado por $1/a$. Desta forma podemos dizer que o tempo médio para falhar de um componente com taxa de falha X será de $1/X$. Bem como que a duração média de uma manutenção será de $1/f_j$.

1.5 CADEIAS DE MARKOV

Nesta seção será abordado um dos processos estocásticos de grande aplicação prática, as Cadeias de Markov de Parâmetro Contínuo.

Os resultados aqui apresentados são utilizados posteriormente como justificativa da modelagem de sistemas através de Cadeias de Markov de Parâmetro Contínuo.

São tratados apenas os casos onde o espaço de estado é discreto, visto que neste trabalho são de Interesse apenas os sistemas que possam ser modelados desta forma.

Não são apresentadas as demonstrações dos resultados, em vez disto, são citadas referências bibliográficas onde as mesmas poderão ser encontradas.

1.5.1 CADEIAS DE MARKOV DE PARÂMETRO CONTINUO

DEFINIÇÃO: Seja $(X_t, t > 0)$ um processo estocástico cujo espaço de estados, S , é um conjunto enumerável. Se para quaisquer $t_1 < t_2 < \dots < t_n < t_{n+1}$ e estados x_1, x_2, \dots, x_n de S , tivermos que:

$$P(X_{t_{n+1}} = x_{n+1} | X_{t_n} = x_n, \dots, X_{t_1} = x_1) = P(X_{t_{n+1}} = x_{n+1} | X_{t_n} = x_n) \quad \text{Eq. 1.7}$$

dizemos que $(X_t, t > 0)$ é uma Cadeia de Markov de parâmetro contínuo. [ClN.75]

Obs: A caracterização "de parâmetro contínuo" deve-se à continuidade permitida ao tempo. Os instantes $t_1, t_2, \dots, t_n, t_{n+1}$ sendo quaisquer, significam que é permitida à cadeia mudar de estado em qualquer instante de tempo. Os instantes acima citados representam apenas os momentos em que a cadeia foi observada e não instantes onde ocorreram forçosamente mudanças de estado.

1.5.1.1 FUNÇÃO DE TRANSIÇÃO.-

As funções do tempo: $P_{ij}(t) = P(X_{t+1} = j | X_t = i)$

são denominadas de funções de transição da cadeia. Quando a dependência do tempo nestas funções é somente na diferença $\Delta t = t_{n+1} - t_n$ diz-se que as funções de transferência são estacionárias. Nestes casos escreve-se:

$$A_{t \ n' \ n+1} \quad t+At \ n+1' \ t \ n$$

Ou numa notação genérica:

$$P_{t_0}^t(x, y) = P(X_{t_0} = x, X_t = y) \quad x, y \in S, \quad t, t_0 > 0$$

Eq.1.8

Na forma matricial têm-se: $IP_t = P^t(x, y)$ || , conhecida por Matriz de Transição num intervalo de amplitude $t > 0$.

Além disto têm-se que:

- 1) $0 < P_{t_0}^t(x, y) < 1$, $\forall x, y \in S$ e $t > 0$
- 2) $\lim_{t \rightarrow \infty} P^t(x, y) = 1$, pois passadas as 't' unidades de tempo, a cadeia com certeza estará ocupando um dos estados de S.

Demonstra-se [CIN.75] que $IP_{t+s} = IP_t \cdot IP_s$, $\forall t, s > 0$

Eq .1.9

1.5.1.2 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DE X_t :

Definindo $v_t(y) = P(X_t = y)$, $\forall y \in S$, onde $P(X_t = y)$ é a probabilidade da cadeia se encontrar no estado 'y' no instante 't' , têm-se que:

$$v_t(y) = \sum_{x \in S} P(X_0 = x, X_t = y) = \sum_{x \in S} P(X_0 = x) \cdot P(X_t = y | X_0 = x)$$

$$v_t(y) = \sum_{x \in S} v_0(x) \cdot P^t(x, y) \quad \text{Eq.1.10}$$

1.5.1.3 TEMPO DE PERMANÊNCIA DA CADEIA EM SEUS ESTADOS:

Seja $(X_{t_c}, t > 0)$ uma Cadeia de Markov de parâmetro contínuo. Defina-se para todo $t \geq 0$ um valor T^t determinado por:

$$T_{t_c}^t = \min \{ At > 0 : X_{t_c + A t_c} \neq X_{t_c} \}$$

Isto é, T^t mede o tempo que ainda decorre antes da cadeia sair do estado por ela ocupado no instante 't'.

De acordo com [CIN.75], devido a hipótese de estacionariedade da cadeia, que:

$$P(T_{t_c}^t > u \mid X_{t_c} = x) = e^{-q_x \cdot u}, \quad u > 0 \quad e \quad x \in [0, +\infty)$$

Eq.1.11

Isto significa que se num instante 't' a cadeia se encontra num estado 'x', para o qual $0 < q_x < +\infty$ ela permanecerá neste estado por um período de tempo que é uma variável aleatória com distribuição exponencial de média igual a $1/q_x$.

CLASSIFICAÇÃO DOS ESTADOS SEGUNDO q_x :

Estados Estáveis : $0 < q_x < +\infty$

Estados Absorventes : $q_x = 0$

Estados Instantâneos : $q_x = +\infty$

Será visto a seguir que se $P(x, y)$ for uma função contínua em $t=0$, então a cadeia não possui estados instantâneos.

1.5.1.4 A MATRIZ DAS TAXAS DE $(X, t > 0)$:

Seja $(X_t, t > 0)$ uma Cadeia de Markov de parâmetro contínuo e sem estados instantâneos. Define-se:

$$M_{x,y} = \frac{d P(x,y)}{dt} \Big|_{t=0}$$

Os números $M_{x,y}$, x e y e S , são denominados de taxas ou geradores da cadeia. A matriz formada pelos $M_{x,y}$ é denominada de MATRIZ DE TAXAS da cadeia:

$$A = \parallel M_{x,y}$$

PROPRIEDADE DA MATRIZ DAS TAXAS.-

Demonstra-se [CIN.75] que:

$$1) M_{x,x} = -q < 0 \quad ; \quad \forall x \in S$$

$$2) \sum_x M_{x,y} = q_y \quad ; \quad \forall y \in S$$

Isto é, os elementos da diagonal são negativos e iguais em módulo à soma dos demais elementos da sua linha.

Vê-se também, que se $P(x,y)$ for uma função contínua em $t=0$, então a cadeia não possui estados instantâneos.

1.5.1.5 As EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE KOLMOGOROV:

Demonstra-se [CIN.75] que:

$$\frac{d}{dt} P(x, y) = \sum_{z \in S} f P(x, z) - P(x, y) \sum_{z \in S} f(z, y) \quad / \quad x, y \in S \quad \text{Eq.1.12}$$

Seja o conjunto de estados S composto por n estados assim numerados $\{x^1, x^2, \dots, x^n\}$. As $n \times n$ equações diferenciais resultantes podem ser então representadas matricialmente da seguinte forma:

$$\begin{matrix} W & V & \dots & P_t(x^1, x^n) & P_t(x^1, x^1) & \dots & P_t(x^1, x^1) \\ P_t(x^2, x^1) & \dots & P_t(x^2, x^n) & P_t(x^2, x^1) & \dots & P_t(x^2, x^n) \\ P_t(x^n, x^1) & \dots & P_t(x^n, x^n) & P_t(x^n, x^1) & \dots & P_t(x^n, x^n) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} M(x^1, x^1) & M(x^1, x^2) \\ M(x^2, x^1) & M(x^2, x^2) \\ \dots & \dots \\ M(x^n, x^1) & M(x^n, x^n) \end{matrix}$$

Ou na forma compacta:

$$\frac{d}{dt} P_t^i = P_t^i \cdot \Lambda \quad \text{Eq.1.13}$$

A solução das equações diferenciais de Chapman Kolmogorov mostram a evolução temporal das probabilidades de ocupação dos estado da cadeia. As equações diferenciais representadas pela Eq.1.13 incluem todas as possibilidades de estados iniciais para a cadeia. Entretanto uma vez escolhido um determinado estado inicial para a cadeia, por exemplo o estado $x^e S$, o interesse pelas soluções restringe-se apenas ao subconjunto de equações a seguir:

$$[P_t(x_k, x_1) \dots P_t(x_k, x_n)] \cdot \Lambda$$

Ou sob forma reduzida

$$\boxed{P_t^i(x_k) = P_t(x_k) \cdot \Lambda} \quad \text{Eq.1.14}$$

Com $P_0(x_k, x_k) = 1$ e $P^i(x_k, x_k) = 0 \quad \forall i \neq k$.

A solução destas 'n' equações diferenciais representam respectivamente:

$P_t^i(x_k, x_1)$ é uma função do tempo que representa a probabilidade de encontrar a cadeia no estado após 't' unidades de tempo do instante inicial.

$P_t(x_k, x_2)$ é uma função do tempo que representa a probabilidade de encontrar a cadeia no estado x^e após 't' unidades de tempo do instante inicial.

$P^i(x_k, x^e)$ - é uma função do tempo que representa a probabilidade de encontrar a cadeia no estado x^e após 't' unidades de tempo do instante inicial.

1.5.1.6 DISTRIBUIÇÃO ESTACIONÁRIA:

Define-se por distribuição estacionária numa cadeia de Markov de parâmetro contínuo, a distribuição que satisfaz:

$$a) V(x) > 0, \quad \forall x \in S$$

$$b) \sum_{x \in S} V(x) = 1$$

$$c) \sum_{x \in S} V(x) \cdot P_t(x, y) = V(y), \quad y \in S \quad \text{e } t > 0 \quad (\text{Ver Eq.1.10})$$

Diferenciando a expressão do item (c) acima, obtêm-se:

$$\sum_{x \in S} V(x) \cdot P^{\wedge}(x, y) = 0, \quad y \in S \quad \text{e } t > 0.$$

Em particular, em $t=0$, obtêm-se:

$$\sum_{x \in S} V(x) \cdot A(x, y) = 0 \quad \text{ou na forma matricial:} \quad W \cdot A = 0$$

Eq.1.15

A distribuição estacionária será portanto a solução do sistema linear homogêneo de equações da Eq.1.15. Demonstra-se que a matriz A é singular e portanto o sistema possui infinitas soluções. A solução a ser escolhida será aquela que satisfizer a condição $\sum_{x \in S} V(x) = 1$.

1.5.1.7 DISTRIBUIÇÃO LIMITE:

Diz-se que $(X^t, t > 0)$ possui uma distribuição limite se existe uma distribuição de probabilidade $[V(x), x \in S]$ tal que para todo x e $y \in S$ tenha-se: $\lim_{t \rightarrow \infty} P_t(x, y) = V(y), \quad \forall x \in S.$

EXISTÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO LIMITE:

Uma cadeia de Markov é irredutível quando todos os seus estados são comunicantes, isto é, partindo-se de qualquer estado da cadeia, sempre existirá uma probabilidade diferente de zero de se atingir qualquer um dos outros estados da cadeia.

Uma cadeia de Markov é recorrente positiva quando todos os seus estados são recorrentes positivos. Um estado é recorrente positivo quando partindo-se dele, a cadeia com certeza retornará a visitá-lo após um intervalo de tempo finito.

Demonstra-se [BRU.79] que se uma Cadeia de Markov de parâmetro contínuo for irredutível e recorrente positiva, a distribuição estacionária e a distribuição limite serão exatamente as mesmas.

1.6 MODELAGEM MARKOVIANA DE SISTEMAS

Na modelagem de sistemas através de Cadeias de Markov de parâmetro contínuo, os diferentes estados em que o sistema pode se encontrar, são vistos como formadores de um espaço de estado S pertencentes a uma determinada cadeia. As mudanças de estado do sistema seriam representadas por mudanças de estado nesta cadeia. Desta forma, para que a modelagem seja satisfatória é necessário que os mecanismos que provocam mudanças de estado no sistema, se comportem de forma análoga aos mecanismo que provocam as transições entre estados numa cadeia de Markov de parâmetro contínuo. Em outras palavras, o tempo de permanência (T_i) num estado (x) deve satisfazer a condição:

$$P(T_i > u \mid X_i = x) = e^{-q \cdot u} \quad (\text{ver Eq.1.11})$$

Isto significa que o evento que faz o sistema permanecer num estado deve ter uma duração que seja uma variável aleatória com distribuição exponencial de probabilidade. Exemplos de eventos que fazem o sistema permanecer num estado: Não ocorrer uma falha, Não se concluir uma reparação, Não haver uma parada do sistema para manutenção preventiva, etc. Estas negativas podem ser transformadas nas seguintes afirmações:

- 1- O duração de tempo de funcionamento sem falhar deve ter distribuição exponencial.
- 2- A duração de uma manutenção preventiva deve ter distribuição exponencial.
- 3- O duração do intervalo entre manutenções preventivas deve ter distribuição exponencial.
- 4- Etc.

Uma vez estabelecida a correspondência entre os espaços de estados e os mecanismos de transição entre estados, pode-se utilizar os resultados matemáticos obtidos sobre as cadeias de Markov, a fim de avaliar parâmetros acerca do sistema em estudo.

1.7 CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE

O espaço de estados do sistema pode ser decomposto em duas categorias mutuamente excludentes. Existem aqueles estados em que considera-se que o sistema está fornecendo o serviço previsto de modo satisfatório, que denominam-se de estados 'UP' do sistema. Nos demais estados, ou o sistema não estará fornecendo serviço algum, ou estará fornecendo um serviço inadequado. Denominam-se este últimos estados de estados 'DOWN' do sistema.

Com esta modelagem surgem as duas principais medidas de segurança de funcionamento: a CONFIABILIDADE e a DISPONIBILIDADE.

CONFIABILIDADE:

A confiabilidade de um sistema é uma medida do serviço continuamente realizado a partir de uma referência temporal inicial. Ela mede as chances do serviço continuar sendo oferecido corretamente, dado que o mesmo estava inicialmente sendo fornecido corretamente. Em outras palavras, estando o

sistema fornecendo o serviço corretamente, quais as chances que o mesmo continue fornecendo este serviço por mais um intervalo de tempo determinado (isto é, que o sistema não falhe dentro deste próximo intervalo especificado). Note-se a perfeita analogia com o conceito de confiabilidade aplicado a componentes Isolados (ver seção 1.2.1.1).

Desta forma, vê-se que a confiabilidade é uma função do tempo associada ao sistema. E esta função do tempo representa a probabilidade do sistema continuar funcionando corretamente.

Do ponto de vista dos estados do sistema, a confiabilidade pode ser visualizada da seguinte maneira: Suponha-se que no instante inicial da observação, o sistema estava ocupando um estado do tipo *UP*. A confiabilidade será então a probabilidade, em função do tempo, do sistema continuar visitando apenas estados do tipo *UP*. O cálculo da confiabilidade portanto parece resumir-se a soma das probabilidades de ocupação dos estados tipo *UP*. Entretanto não se deseja computar nesta soma, as probabilidades de ocupação dos estados *UP* após um visita a um dos estados do tipo *DOWN*.

Para se eliminar o retorno a estados *UP* após uma visita a um estado *DOWN*, utiliza-se o artifício de transformar todos os estados do tipo *DOWN* em estados absorventes. Consegue-se isto fazendo-se $M_{x,y}=0$ para todo x pertencente ao subconjunto dos estados do tipo *DOWN* (Denomina-se S^* o subconjunto de S contendo todos os estados *DOWN* do sistema, e S^c o subconjunto contendo todos os estados *UP* do sistema).

As probabilidades de ocupação dos estados *UP* são obtidas diretamente das soluções das equações diferenciais de Kolmogorov. Seja x^0 o estado (L/R) inicial do sistema. Da Eq.1.14 têm-se:

Separando-se os estados *UP* dos *DOWN* nos três elementos desta equação, obtêm-se:

$$[\hat{A}(x_k, x_l), \hat{I}P^{\wedge}(x_k, x_l)] \gg [D^{\wedge}_t(x_k, x_l), IP_t(x_k, x_l)] x$$

A_{uu}	ud
du	dd

Onde,

$$x_1 \in S_u \quad \times 3 \dots d$$

A_u é a submatriz de A tal que $M(x,y)$ tenha x e y e S

A^{\wedge} é a submatriz de A tal que $M(x,y)$ tenha x e y e S_u

A^{\wedge}_u é a submatriz de A tal que $M(x,y)$ tenha x e S
 y e S_u

A^{\wedge} é a submatriz de A tal que $X(x,y)$ tenha x e S
 y e S_u

Como interessam apenas as probabilidades de ocupação dos estados UP, extrai-se a seguinte expressão

$$WV - " V W -^{A}_{uu} + P_t \langle V^{xj} \rangle -^{A}_{du}$$

$x_j \in S_u$

Com a transformação dos estados DOWN em absorventes têm-se que $A'_{dd} = A'_{du} = 0$. Assim:

$$P_t(x_k, x) = tP_t(x_k, x) \cdot A_{uu} \quad x \in S$$

Eq.1.16

A solução das equações diferenciais definidas pela Eq.1.16 fornecem as probabilidades de ocupação dos estados UP do sistema, e portanto a confiabilidade do sistema será a soma destas probabilidades. Utilizando-se a notação advinda da língua inglesa (R - de *Reliability*) obtém-se:

$$W = \int_0^{\infty} x^u dx$$

onde x^u é o estado inicial de observação, $x.c.s$.

Vê-se que a confiabilidade depende do estado inicial x^u escolhido para o sistema. Entretanto é costume escolher-se como estado inicial, aquele estado que representa o sistema com todos os seus elementos constituintes em perfeito funcionamento.

DISPONIBILIDADE:

A disponibilidade é uma medida que representa a fração do tempo total de funcionamento do sistema em que ele esteve fornecendo serviço corretamente. O valor da disponibilidade depende portanto do tempo total de funcionamento a que o sistema foi exposto.

Como o fornecimento correto do serviço está vinculado a ocupação de estados do tipo UP , vê-se que a disponibilidade (a fração do tempo) equivale numericamente a soma das probabilidades de ocupação dos estados do tipo UP (visão frequentista).

Embora a disponibilidade dependa do tempo total a que o sistema foi exposto em funcionamento, normalmente se está interessado apenas no comportamento a longo prazo do sistema. Desta forma surge a figura da disponibilidade assintótica, que corresponde à soma das probabilidades estacionárias dos estados do tipo UP do sistema.

Portanto a disponibilidade assintótica é uma medida invariante no tempo (valor constante) que mede a alternância entre as duas possíveis situações do sistema. Ou seja, indica a fração média de tempo que o sistema se encontra funcionando

corretamente. Dizer por exemplo que a disponibilidade do sistema é 90% significa que espera-se que o sistema permaneça 90% da sua vida útil funcionando corretamente. Observe que o sistema pode até falhar com uma frequência elevada ; desde que a manutenção seja feita rapidamente ainda poderemos ter uma alta disponibilidade. A confiabilidade entretanto estaria degradada neste comportamento do sistema.

Neste trabalho, daqui por diante, utilizar-se-á o termo "disponibilidade" como referência direta à disponibilidade assintótica, a menos que explicitado diferentemente.

Para o cálculo da disponibilidade necessita-se inicialmente da determinação das probabilidades estacionárias de ocupação dos estados.

Apenas para formalizar o procedimento, têm-se:

1. Calcular as probabilidades estacionárias resolvendo o sistema linear de equações:

$$\sum_{x \in S} E V(x) \cdot M_{x,y} \ll 0, \text{ com } \sum_{x \in S} E V(x) \ll 1$$

2. A disponibilidade será dada pela soma das probabilidades estacionárias dos estados 'UP':

$$A = \sum_{x \in S} V(x)$$

Mais uma vez por força da língua inglesa ("Availability"), costuma-se representar a disponibilidade pela letra 'A'.

1.8 TEMPO MÉDIO PARA FALHAR (MTTF)

Foi visto que a confiabilidade indica a probabilidade do sistema permanecer visitando apenas os estados do tipo 'UP'. Nestes estado o sistema é considerado em bom funcionamento.

Eventualmente, entretanto, o sistema visitará um estado do tipo *DOWN*. Ou seja, em alguma momento o sistema falhará na sua missão de fornecer um serviço correto.

Uma questão de interesse é saber qual será o tempo médio de bom funcionamento contínuo do sistema. Ou dizendo-se de outra maneira, o tempo médio para falhar do sistema (MTTF - do inglês "Mean Time To Fail").

O tempo médio de bom funcionamento será portanto o tempo médio que o sistema permanecer visitando estados tipo *UP*.

Viu-se na seção 1.2.1.1 que o MTTF pode ser calculado a partir do conhecimento da confiabilidade do componente. O mesmo se aplica a sistemas:

$$MTTF(x_u) = \int_0^{\infty} P_t(x_u, x_u) dt = \int_0^{\infty} P_t(x_u, x_u) dt$$

$$MTTF(x_u) = \int_0^{\infty} P_t(x_u, x_u) dt = \int_0^{\infty} P_t(x_u, x_u) dt$$

Onde \mathcal{L} é o operador da transformada de Laplace. Seja $P_t(x_u, x_u)$ a transformada de Laplace de $P^*(x_u, x_u)$. Então:

$$MTTF(x_u) = \int_0^{\infty} P_t(x_u, x_u) dt = \int_0^{\infty} P_t(x_u, x_u) dt$$

$$MTTF(x_k) = \gamma \lim_{s \rightarrow 0} \int_{x \in S} P_s(x_k, x) = \lim_{s \rightarrow 0} \int_{x \in S} J P_s(x_k, x)$$

CALCULO DE $P_0(X, \dots, X)$:

Da Eq.1.16 temos que $[P_t(x_k, x) = IP_t(x_k, x) \cdot A_{UU}]$, ou seja:

$$P_t(x_k, x) = \int_{z \in S} E P_{t-c}(x_k, z) \cdot Mz, x, \quad x_k, x \in S_u$$

Aplicando-se o operador de Laplace nos dois lados desta expressão obtêm-se:

$$s \cdot P_s(x_k, x) - P_t(x_k, x) \Big|_{t=0} = \int_{z \in S_u} E P_s(x_k, z) \cdot Mz, x$$

Retornando para o formato matricial têm-se:

$$s \cdot IP_s(x_k) - W \Big|_{t=0} = s \cdot I^k - A_{UU}$$

Ou,

$$s \cdot P_s(x_k) - IP_s(x_k) \cdot A_{UU} = IP_s(x_k) \Big|_{t=0}$$

$$s \cdot D - A_{UU} \cdot P_t(x_k) \Big|_{t=0}$$

Onde D é uma matriz identidade de dimensão igual ao número de estado do tipo UP do sistema. Assim,

$$W = \int_{t=0}^{n-1} IP_t(x_k) \cdot s \cdot D - A_{UU}$$

Vamos usar este resultado no cálculo do MTTF:

$$MTTF(x_k) = \sum_{x \in S} \lim_{s \rightarrow 0} P_s(x_k, x) = \lim_{s \rightarrow 0} \sum_{x \in S} 2^{P(x, k)} = \lim_{s \rightarrow 0} \sum_{x \in S} IP_s(x_k)$$

Onde $\mathbf{0}$ é um vetor coluna com todos os elementos iguais a 1 e de dimensão igual ao número de estados UP .

$$MTTF(x_k) = \lim_{s \rightarrow 0} \mathbf{0} \cdot (\mathbf{I} - A_{uu})^{-1} \cdot \mathbf{e}_k$$

$$MTTF(x_k) = \mathbf{e}_k \cdot (\mathbf{I} - A_{uu})^{-1} \cdot \mathbf{1} \quad \text{Eq. 1.17}$$

O vetor $PQ(x_k)$ representa as probabilidades iniciais de ocupação dos estados. Como o estado inicial escolhido foi k , todos os elementos deste vetor são nulos, exceto o elemento correspondente a x_k (que é igual a 1). Pode-se interpretar então que a função deste vetor na expressão é selecionar apenas a linha correspondente a x_k da matriz $(\mathbf{I} - A_{uu})^{-1}$, a função do vetor $\mathbf{1}$, como já foi visto, é executar a soma dos elementos da linha selecionada. Com estas considerações pode-se resumir o cálculo dos MTTFs da seguinte maneira:

1. Calcular a seguinte matriz: $D = (\mathbf{I} - A_{uu})^{-1}$

2. Calcular a seguinte soma: $MTTF(x) = \sum_y D(x, y)$

1.9 TEMPO MEDIO PARA REPARAR (MTTR)

Suponha-se agora que o sistema acabou de transicionar para um estado do tipo *DOWN*, devido a ocorrência de uma determinada falha. Neste momento o sistema começou a fornecer serviço inadequado ao usuário. É de interesse saber o tempo médio que o sistema permanecerá nesta situação, ou seja, o tempo médio para reparar o sistema.

Observe-se que a duração de fornecimento de serviço inadequado, não representa necessariamente que o sistema tenha estacionado naquele estado que iniciou este processo. Dependendo da modelagem que tenha sido implementada, pode-se ter o sistema visitando outros estados do tipo *DOWN* antes de finalmente retornar a um estado do tipo *UP*, e recomeçar a fornecer serviço adequado ao usuário. Desta forma o MTTR (do inglês - *Mean Time to Repeat*) dependerá de qual estado *DOWN* se iniciou este processo.

Uma vez atingido um estado *DOWN* qualquer, o MTTR será o tempo que o sistema permanecerá visitando os demais estados *DOWN*, antes de retornar a algum estado do tipo *UP*.

Vê-se que o raciocínio é exatamente o simétrico daquele utilizado no cálculo do MTTF. Para o cálculo dos MTTR's os estados *UP* é que serão transformados em estados absorventes. E as probabilidades de ocupação dos estados *DOWN* é que serão adicionadas. Pela perfeita analogia pode-se utilizar o seguinte procedimento para o cálculo dos MTTR's:

1. Calcular a seguinte matriz:

-1

2. Calcular a seguinte soma: $MTTR(x) \cdot M(x,y)$

Y

1.10 CUSTOS OPERACIONAIS

Um dos fatores mais importantes na avaliação de desempenho de sistemas é o custo associado à sua operação. Não apenas os custos fixos operacionais, mas também os custos de manutenção, prejuízos devido ao fornecimento de serviço inadequado, etc.

Um método de avaliação do custo operacional de um sistema, é associar a cada estado do sistema um custo médio por unidade de tempo de ocupação daquele estado.

Sabe-se que as probabilidades estacionárias de ocupação de cada estado representam, a longo prazo, as proporções de tempo de ocupação dos mesmos. Assim, pode-se avaliar um custo médio por unidade de tempo de funcionamento do sistema, fazendo-se uma ponderação dos custos médios individuais de ocupação de cada estado com as respectivas probabilidades estacionárias:

$$c = \sum_x C_x \cdot V(x) \quad , \quad x \in S$$

Onde :

- C - representa o custo médio operacional por unidade de tempo do sistema.
- C_x - representa o custo médio operacional por unidade de tempo do estado x.
- V(x) - representa a probabilidade estacionária do estado x.

1.11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Necessidade de alta confiabilidade ou alta disponibilidade, ou ambas elevadas, depende basicamente da aplicação do sistema em questão.

Uma vez definido um sistema básico, a custo mínimo, que atenda os requisitos funcionais do serviço, avaliações teóricas poderão ser feitas para se determinar as medidas intrínsecas de segurança de funcionamento deste sistema. Caso estes resultados sejam suficientes para garantir a qualidade de serviço desejada, o projeto está concluído do ponto de vista de segurança de funcionamento.

Algumas vezes, entretanto, a segurança de funcionamento intrínseca do sistema não é suficiente para garantir os requisitos de qualidade de serviço desejados. Neste caso, medidas devem ser introduzidas para melhorar estas características, por exemplo:

- .Utilizar elementos de melhor qualidade no sistema.
- .Adicionar redundâncias em partes críticas do sistema.
- .Utilizar mecanismo de detecção de falhas mais eficientes.
- .Realizar inspeções periódicas na tentativa de prever prováveis falhas.

CAPITULO II
CONCEPÇÃO DO AMBIENTE COMPUTACIONAL

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Todo o ambiente computacional foi desenvolvido utilizando-se o Turbo Pascal 5.5 da Borland . O recurso de unidades de compilação em separado , oferecido pela Borland, tendo sido largamente utilizado, facilitará a inclusão de posteriores opções ao ambiente computacional, ou mesmo melhorias nos algoritmos atualmente utilizados.

O ambiente computacional está totalmente implementado em um único módulo executável com aproximadamente 130 KB.

Não há necessidade de instalação do programa executável. Os drivers de vídeo para MDA, CGA, EGA , VGA e Hércules estão embutidos no programa e sua seleção é automática, quando do uso dos recursos gráficos oferecidos pelo programa.

O hardware mínimo requerido é um PC-XT Compatível com 512 KB de memória principal. Com este hardware consegue-se analisar sistemas com até 100 estados. Um maior número de estados irá requerer mais memória principal. Originalmente o programa está ajustado para um máximo de 100 estados do sistema em análise. Uma alteração deste limite, embora que bastante simples de ser efetuada, exigirá a recompilação do programa.

2.2 ESTRUTURA MODULAR DO AMBIENTE

O ambiente computacional foi concebido com a seguinte estrutura: Um Programa Principal para o gerenciamento dos menus de opções, e Unidades de Compilação em separado responsáveis pela execução das opções disponíveis ao usuário. A figura 2.1 na página seguinte apresenta esta composição. A seguir descreve-se a funcionalidade de cada módulo constituinte do ambiente.

Programa Principal	Unidades de Compilação em separado	Procedimentos	Funções
PRINCIPA	TIPOS		
	DIRETO	DIRETÓRIO	
	STGCAL	STGVAL	
	MTZTEC	ENTMATTEC	
	MTZARQ	ENTMATARQ	
	TEMPORAL	RATEMP	
	PROBEST	CALCPROB VARPROB	
	INVARIA	CALMTTF CALMTTR	
	SALVAR	SALVARES SALVAINV SALVAMAT	
	MENUTIL	MOLDURA CLRMSG MENSAGEM CLRJTA MENUBOX NOMARQ	INKEY
	EDITAR	MODOGRAF EDTMAT PROBINI DISPROES DISPROIN ATRUPDOWN DISMTTX DEFARQDOS EDTCUSTO	

Figura 2.1 - Estrutura Modular do Sistema.

2.2.1 PROGRAMA PRINCIPA:

Sua função é implementar os menus de opções, gerenciando as solicitações do usuário através da execução das unidades de compilação em separado, os quais serão denominadas daqui por diante simplesmente de UNITS.

Algumas das solicitações do usuário são de tão simples execução ,que não achou-se necessário a criação de uma UNIT em separado. Nestes casos, a execução do pedido está diretamente implementada dentro do programa principal. Por exemplo, pedidos como modificar a dimensão do sistema, chamada de um editor de textos externo, pedido para recalcular a diagonal principal da matriz de taxas, reinicializar ou finalizar a execução do programa, são todos completamente executados dentro do próprio programa principal.

2.2.2 ÜNIT TIPOS:

Esta é uma Unit especial. Não possui nada executável em seu corpo. A sua função é apenas reunir em um só local a definição de todos os tipos de variáveis utilizadas em todas as outras Units e no programa principal. Isto evita a redefinição dos tipos em cada unit separadamente.

2.2.3 UNIT DIRETO:

Esta Unit possui um único procedimento chamado DIRETÓRIO, cuja função é apresentar ao usuário os arquivos satisfazendo uma determinada especificação.

Exemplo: Para uma especificação `c:\prog*.pas` , todos os arquivos presentes no subdiretório 'prog' do *dr XOR* 'c' e com extensão 'pas', serão listados na tela.

2.2.4 UNIT STGCAL:

Esta Unit também possui um único procedimento chamado STGVAL, cuja função é calcular o valor numérico de um string contendo os seguintes elementos:

- a) As quatro operações aritméticas (+ - * . /).
- b) Qualquer número de níveis de parênteses.
- c) Até 26 variáveis reais/inteiras denominadas de A à Z.
- d) Números inteiros e reais.

Este procedimento é utilizado para a leitura dos elementos da matriz de taxas a partir de um arquivo tipo texto de formato pré-determinado. Este procedimento na verdade é utilizado apenas pela Unit MTZARQ, e poderia ter sido implementado dentro desta própria Unit. Entretanto devido a certa complexidade do algoritmo, e sua extensão de linhas de código, decidiu-se pela implementação numa Unit em separado.

2.2.5 UNIT MTZTEC:

Esta Unit também possui um único procedimento denominado de ENTMATTEC. A sua função é promover a facilidade de se poder digitar a matriz de taxas diretamente, ou seja, s»um ser preciso ler esta matriz a partir de um arquivo texto. A matriz a ser preenchida é apresentada na tela no próprio formato matricial. A dimensão máxima permissível para esta modalidade de entrada é 11. Nesta opção de entrada cada elemento fica limitado a três dígitos em sua parte inteira, incluído o sinal, mais dois dígitos em sua parte decimal (Entre -99.99 e 999.99).

2.2.6 UNIT MTZARQ:

Esta Unit também possui apenas um procedimento, denominado de ENTMATARQ. Sua função é permitir a leitura da matriz de taxas a partir de arquivo do tipo texto com um formato pré-determinado.

Nesta modalidade de entrada da matriz de taxas não existe

limite para a dimensão da matriz, ou seja podemos definir matrizes com dimensões até o limite máximo permitido pelo programa. O formato pré-definido deste arquivo será detalhado durante a descrição do ambiente computacional, no próximo capítulo. Apresenta-se aqui, entretanto, um exemplo:

Arquivo Texto

Comentários

DIMENSÃO

3 4- Dimensão da Matriz de Taxas

CONSTANTES

A = 1.3
D = 2.57 Constantes a serem usadas nas definições dos elementos

ELEMENTOS

11,2]	A	Obi	Não precisa definir os elementos da diagonal.
[1,3]	A+B		
[2,1]	A*B		Elementos não definidos serão considerados nulos. Ex: [3,2]=0
12,3]	10		
[3,1]	2*A-B/5		

ATRIBUTOS

1	«-		
3	<-		Determina que os estados 1 e 3 são os estados do tipo UP.

CUSTOS

[1] = 10.00	Obs	Custos não especificados serão considerados nulos.
[2] = 120.00		
[3] = 750.00		

FIM

2.2.7 UNIT TEMPORAL:

Esta Unit também possui apenas um procedimento denominado de RATEMP. Sua função é calcular a confiabilidade do sistema representado pela matriz de taxas atualmente presente na memória de trabalho do programa, bem como a evolução temporal da disponibilidade.

As equações diferenciais de Kolmogorov são resolvidas

numericamente pelo método básico de Euler, a partir de um incremento temporal fornecido pelo usuário. O período total de tempo para avaliação, bem como o estado inicial são também fornecidos pelo usuário. As rotinas utilizadas não fazem testes de convergência, ficando a cargo do usuário a responsabilidade de escolher um incremento temporal satisfatório, a cada caso.

MÉTODO DE CÁLCULO:

Sejam os seguintes os estados do sistema: x^1, x^2, \dots, x^n . Seja x^1 o estado inicial do sistema. As probabilidades de ocupação dos diversos estados do sistema serão dadas pelas soluções das seguintes equações diferenciais:

$$\frac{d}{dt} P_t(x_k, x_1) = \sum_{z \in S} P_t(x_k, z) \cdot \lambda(z, x_1) \quad \text{para o estado } x^1$$

$$\frac{d}{dt} P_t(x_k, x_2) = \sum_{z \in S} P_t(x_k, z) \cdot \lambda(z, x_2) - \mu(x_k, z) \cdot P_t(x_k, z) \quad \text{para o estado } x^2$$

$$\frac{d}{dt} P_t(x_k, x_n) = \sum_{z \in S} P_t(x_k, z) \cdot \lambda(z, x_n) - \mu(x_k, z) \cdot P_t(x_k, z) \quad \text{para o estado } x^n$$

Pode-se resumir estas equações diferenciais através da seguinte representação matricial:

Sejam

$$W = \begin{pmatrix} \lambda(x_1, x_1) & \lambda(x_1, x_2) & \dots & \lambda(x_1, x_n) \\ \lambda(x_2, x_1) & \lambda(x_2, x_2) & \dots & \lambda(x_2, x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda(x_n, x_1) & \lambda(x_n, x_2) & \dots & \lambda(x_n, x_n) \end{pmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 & M(x_1, x_2) \quad X(x_1, x_2) \quad M(x_1, x_2) \\
 & \backslash(x_1, x_1) \quad \backslash(x_2, x_2) \quad \backslash(x_1, x_2) \\
 A = & \\
 & X(x_1, x_1) \quad X(x_1, x_2) \quad X(x_2, x_2)
 \end{aligned}$$

Tém-se então:

$$\frac{dP}{dt}(x) = V(x) - A(x)P(x)$$

Ou seja $\frac{dP_i(x_i)}{dt} = D_i(x_i) - A_i(x_i)P_i(x_i)$

Então $P_i(t+dt) \approx P_i(t) + dt \left[D_i(x_i) - A_i(x_i)P_i(x_i) \right]$

Ou matricialmente

(Método de Euler)

Onde \mathbb{I} é uma matriz identidade de dimensão 'n*.

O cálculo da evolução temporal das probabilidades de ocupação dos estados poderá ser feito através de recursivas aplicações desta equação. Para o cálculo da confiabilidade utiliza-se a matriz A modificada, isto é: os estados *DOWN* são transformados em estados absorventes, ou seja $X(x,y) = 0$ para $y \in S$ e $X(x,x) = S^*$. Calculadas as evoluções temporais das probabilidades de ocupação dos estados $P_i(t)$ teremos a confiabilidade expressa por:

$$R(t) = \sum_{x_i \in S_u} P_i(x_i, x_i)$$

onde S_u é o subconjunto dos dos estados *UP*.

Utilizando-se a matriz A original, sem a transformações dos estados UP em estados absorventes, obtêra-se a evolução temporal da disponibilidade expressa por esta mesma expressão. Resumindo:

$$R(t) = \sum_{i=1}^n E_i e^{A_i t}$$

Calculando os $P^{i,j}(t)$ com a A modificada.

$$A(t) = \sum_{i=1}^n S_i W_i e^{A_i t}$$

Calculando os $P^{i,j}(t)$ com a A original.

2.2.8 UNIT PROBEST:

Esta Unit possui apenas dois procedimentos. Ambos relacionados ao cálculo das probabilidades estacionárias. O primeiro deles, CALPROB, tem por finalidade o cálculo das probabilidades estacionárias através da resolução do sistema linear de equações já mencionado $V.A = -c$, isto é:

$$V = [V(x_1), V(x_2), \dots, V(x_n)] \quad , \quad \text{com} \quad \sum_{j=1}^n V_j(x_i) = 1$$

$x_i \in S$

A já detalhada anteriormente.

c é um vetor nulo n-dimensional.

O método utilizado para solução deste sistema linear de equações foi o método de triangulação de Gauss com condensação pivotal aplicada sobre toda a matriz dos coeficientes [VIT.74] e [KRE.76]. Como a matriz A é singular com característica (rank) igual a n-1, aplicou-se este algoritmo subtraindo-se os coeficientes da última incógnita, que por isto não pode ser nula. Em termos práticos isto significa dizer que $V(x_n)$ pode ser zero, caso contrário o algoritmo não conseguirá determinar as demais probabilidades.

O segundo procedimento, VARPROB, tem por finalidade apresentar como as probabilidades de ocupação dos estados variam com o tempo até atingirem seus valores estacionários. O procedimento de cálculo é idêntico ao descrito na Unit RATEMP para o cálculo da evolução temporal da disponibilidade. A única diferença é que neste procedimento não é efetuada a soma dos t_{ij} correspondentes aos estados do tipo UP. Em vez disto é facultada a opção de visualizar qualquer uma destas n funções do tempo $P.(x.,x.)$, independente ou

2.2.9 UNIT INVARIA:

Esta Unit possui apenas dois procedimentos. Um deles é responsável pelo cálculo dos MTTF's (o CALMTTF) , enquanto o outro pelo cálculo dos MTTR's (o CALMTTR). Estes tempos médios fazem parte de um grupo de medidas de sistema conhecidas como medidas invariantes no tempo, razão da denominação dada a esta Unit. Outras medidas invariantes, como a disponibilidade e o custo médio operacional esperado, estão sendo calculadas dentro do programa principal (PRINCIPAL) devido a simplicidade envolvida nos cálculos.

O método de cálculo utilizado na determinação dos MTTF's e MTTR's é exatamente o descrito nos fundamentos teóricos, ou seja:

CALCULO DOS MTTF'S:

1. Isola-se a sub-matriz A_{uu}
2. Calcula-se a matriz inversa de $-A_{uu}$. Isto é $(-A_{uu}^{-1})_{ii}$
3. A soma dos elementos de uma dada linha da matriz inversa representa o tempo médio de permanência entre os estados do subconjunto S_u , dado que o estado inicial seja aquele representado pela linha escolhida.

CALCULO DOS MTTR'S:

Do forma idêntica aos MTF's, substituindo-se a matriz A_{xy} pela matriz A^{**} .

2.2.10 UNIT SALVAR:

Esta Unit possui três procedimentos relativos a salvamento de dados era disco (rígido ou flexível) conforme discriminado a seguir.

SALVARES:

Este procedimento permite salvar em disco as probabilidades estacionárias do sistema. As probabilidades são salvas em um arquivo tipo texto (com nome definido pelo usuário) no seguinte formato:

PROBABILIDADES ESTACIONARIAS

Numero de Estados do Sistema • XXX

Disponibilidade do Sistema • XX.XXXXXX (%)

Indisponibilidade do Sistema ⇒ XX.XXXXXX (%)

P[1]-X.XXXXXXXXXXX

P[2]«X.XXXXXXXXXXX

P[n]*»x.xxxxxxxxxxxx

FIM

SALVAINV:

Este procedimento permite o salvamento em disco das medidas do sistema ditas invariantes. São salvas as probabilidades estacionárias, os MTF's e MTTR's e os custos de ocupação dos estados por unidade de tempo. Estas medidas são salvas em um arquivo tipo texto (com nome definido pelo usuário) no seguinte formato:

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO - RESULTADOS

Numero de Estados do Sistema...» XXX

Disponibilidade do Sistema...» XX.XXXXXX (%)

Indisponibilidade do Sistema...» XX.XXXXXX (%)

Custo Operacional Médio
por unidade de tempo.....*» \$ XXXXXX.XX

P[1]=X.XXXXXX-(UP) MTTFl1J-XXXX.XX MTTR[1]«XXXX.XX \$[1]»XXXXX.XX
P[2]-X.XXXXXX MTTFl2]«XXXX.XX MTTR[2]-XXXX.XX \$t2]«XXXXX.XX
P(3)*X.XXXXXX-(UP) MTTF[2]»XXXX.XX MTTR(2)=XXXX.XX \$[2]»XXXXX.XX
:
:
PIn]«X.XXXXXX MTTF[n]=XXXX.XX MTTR[n]=XXXX.XX \$[n]«XXXXX.XX
FIM

SALVASIS:

Este procedimento permite o salvamento do sistema, atualmente definido dentro do ambiente computacional, num arquivo tipo texto. Esta acSo pode ser necessária, por exemplo, quando deseja-se salvar dados de um sistema que tenham sido entrados no ambiente, via teclado.

Neste procedimento sfo salvo3 os elementos nSo nulo3, e nSo pertencentes a diagonal, da matriz das taxas, os estados que sSo do tipo UP, e OL> custos operacionais nSo nulos de cada estado.

O arquivo gerado pelo programa para o salvamento do sistema apresenta-se no seguinte formato:

DIMENSÃO obs: SSo salvos apenas os elementos nSo
XXX nulos e nSo pertencentes a diagonal.
ELEMENTOS

[i,j]«= xxxxxxxxxxxx.xxxxxxxxxx

ESTADOS-UP

X

CUSTOS ob3: SSo salvos apenas os custos

[l i - xxxxxxxx.xx . . . o . n u l o s . -

FIM

2.2.11 UNIT MENÜTIL:

Esta unit agrega alguns utilitários utilizados para o gerenciamento dos menus. Estes utilitários não são utilizados apenas pelo programa principal, mas por outras units que necessitam interfaceamento cora o usuário. Estão agrupadas nesta unit 6(seis) procedimentos e um função. Apresentaremos a seguir a finalidade de cada um deles.

MOLDURA:

Toda interface do usuário com o ambiente computacional se desenrola através de uma formatação de tela composta de dois ambientes emoldurados. Duas janelas de comunicação são estabelecidas, a janela de trabalho e a janela de mensagens. Este procedimento restabelece a moldura de tela, quando necessário. Apresentamos abaixo um esboço desta moldura de tela:

AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS- V2.1 Kfc|

"Janela de Trabalho"

-MENSAGENS-

"Janela de Mensagens"

CLRMSO:

Este procedimento limpa a área da janela de mensagens. Ou seja, apaga quaisquer mensagens ali presentes.

MENSAGEM:

Este procedimento permite a escrita de mensagens na janela de mensagens.

CLRJTA:

Este procedimento limpa a Área da janela de trabalho, apagando tudo que lá esteja sendo apresentado.

MENUBOX:

Este procedimento implementa menus de múltipla escolha do tipo de barras com salto.

Neste tipo de menu a opção escolhida é apresentada em vídeo reverso, e a mudança de opção é efetuada através das teclas de movimento de cursor

Dentre os diversos parâmetros deste procedimento temos: Número de opções do menu, apontador para a variável que contém a descrição das opções, posicionamento do menu na tela, apontador para a variável que receberá o resultado da escolha, etc.

NOMARQ:

Este procedimento é utilizado por outros procedimentos e pelo programa principal. Ele define-se a definição de um nome para um arquivo em disco.

Quando ativamos este procedimento, um nome de arquivo é solicitado ao usuário. Após então o procedimento verifica a existência deste arquivo em disco. Esta informação é repassada ao programa ativador, além do próprio nome digitado pelo usuário.

INKEY:

Esta é uma função destinada à interpretação de alguns caracteres ASCII Extendidos, necessários ao procedimento **MENUBOX**.

Uma vez ativada, esta função aguarda a digitação de algum caracter no teclado. Os caracteres padrões da tabela ASCII são transparentemente repassados ao programa ativador. Caso o caracter digitado for do tipo extendido, esta função devolverá valor nulo ao programa ativador, a menos das exceções a seguir:

Tecla Digitada	Valor Retornado
PgUp	\$11
PgDn	\$03
Escape	\$1B
Seta para cima	\$05
Seta para baixo	\$18
Seta para esquerda	\$13
Seta para direita	\$04

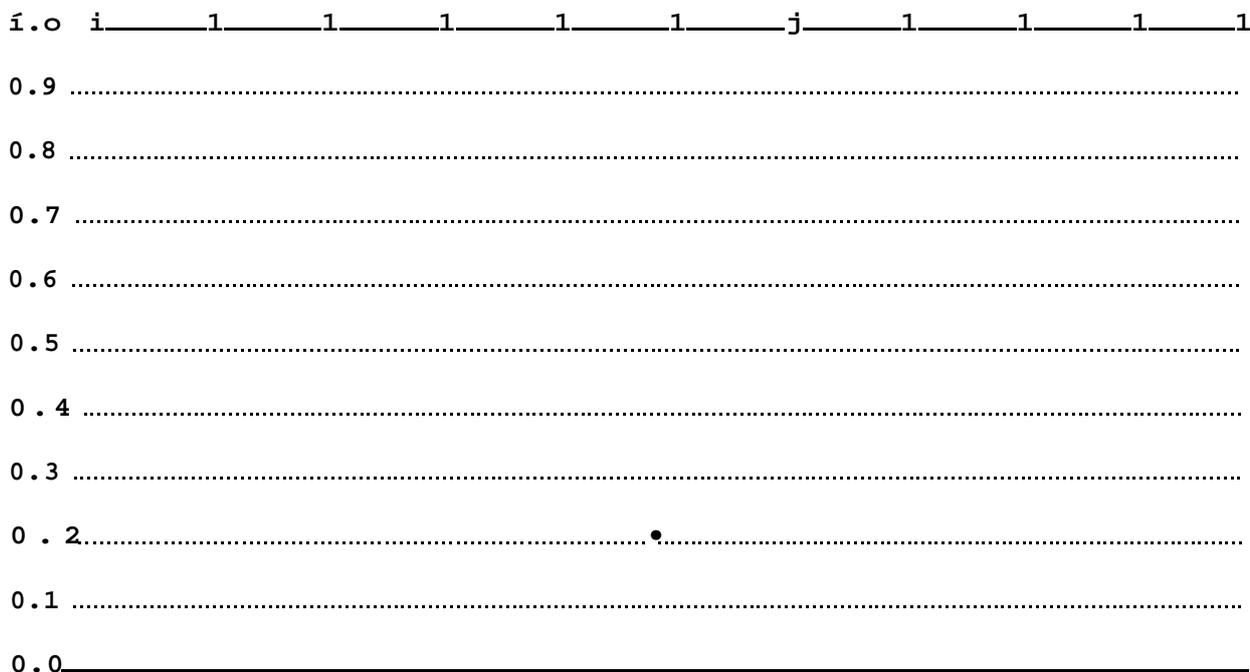
2.2.12 UNIT EDITAR:

Esta unit reúne 9(nove) procedimentos dos quais 8(oito) são relativos a processo de visualização e/ou modificação de dados. O único procedimento que foge a esta regra é o **MODOGRAF**, cuja finalidade é predispor a operação da tela em modo gráfico.

MODOGRAF:

No procedimento **MODOGRAF** além de ser escolhido corretamente o driver de video, executa-se na tela a reticula padrão para o traçado gráfico de curvas (reticula 10 x 10 divisões), reproduzido a seguir a titulo ilustrativo:

"TITULO DO GRAFICO"



Obs: Embora a escala vertical apresentada seja de 0.0 á 1.0, O procedimento **MODOORAF** oferece 3 (tres) opções de escala vertical:

0.0 á 1.0 / 0.5 á 1.0 / 0.9 á 1.0

EDTMAT:

Este procedimento permite ao usuário modificar os elementos da Matriz de Taxas definida no sistema.

Observe-se que este procedimento pode ser utilizado como uma outra maneira de se definir uma Matriz de Taxas. As duas maneiras anteriormente citadas eram: a leitura via arquivo, ou a digitação direta no formato matricial. Embora este procedimento também seja de digitação direta, o mesmo não possui as limitações do formato matricial, pois os elementos são editados de numa maneira tabular e não matricial.

PROBINI:

Este procedimento permite a definição das probabilidades iniciais de ocupação dos estados.

Normalmente costuma-se iniciar a operação do sistema num estado específico. Com isto as probabilidades Iniciais seriam

todas nulas, exceto a do estado inicial, que seria 1. Entretanto este procedimento não impõe esta restrição, e pode-se definir quaisquer probabilidades iniciais de ocupação desejada.

DISPROES:

Este procedimento executa um *display* das probabilidades estacionárias calculadas.

DISPROIN:

Este procedimento executa um *display* das probabilidades atuais de ocupação dos estados. Este procedimento é utilizado pelas rotinas que calculam as evoluções temporais das probabilidades de ocupação dos estados. No instante $t=0$ as probabilidades de ocupação dos estados são obviamente aquelas definidas como probabilidades iniciais. A medida que o tempo evolui estas probabilidades são recalculadas, e este procedimento permite a visualização destas probabilidades após o intervalo de tempo de evolução determinado.

ATRUPDOWN:

Este procedimento permite a especificação de tipo (*UP/DOV/N*) dos estados do sistema.

DISMTTX:

Este procedimento executa uma *display* dos MTTF's ou dos MTTR's conforme especificado na sua ativação.

DEFARQDOS:

Este procedimento tem por finalidade a criação de um arquivo em disco. No início este procedimento é semelhante aquele procedimento **NOMARQ** da unit **MENUTIL**. A diferença é que após a verificação da não existência de um arquivo com o nome especificado, ou após a autorização para sobreposição, este procedimento abre um arquivo em disco com aquele nome

especificado. Após então o controle é devolvido ao programa ativador permitindo assim que o mesmo utilize o arquivo aberto para a escrita de dados.

EDTCUSTO:

Este procedimento permite ao usuário editar os custos médios operacionais de cada estado.

2.2.13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme foi apresentado neste capítulo, o ambiente computacional foi concebido originalmente de uma maneira fortemente modular. Esta característica permite que facilmente sejam implementadas modificações no ambiente.

Novas opções de tratamento dos dados, por exemplo, podem ser completamente desenvolvidas num arquivo de procedimentos independente. Para a inclusão da nova opção ao ambiente, é preciso apenas informar esta opção ao gerenciador de opções (PRINCIPA).

Modificações nos atuais procedimentos podem ser feitas isoladamente nos arquivos correspondentes, sem um eventual comprometimento dos demais procedimentos.

CAPITULO III
DESCRIÇÃO DO AMBIENTE COMPUTACIONAL

3.1 INTRODUÇÃO:

O objetivo precípua do ambiente computacional aqui descrito, como era todo ambiente de processamento, é processar informações fornecidas pelo usuário (os dados de entrada), e fornecer ao mesmo os resultados deste processamento (os dados de saída).

Neste capítulo serão detalhadas basicamente as seguintes questões:

- 1) Quais são os dados de entrada esperados pelo ambiente e quais são as maneiras de se passar estes dados ao ambiente?
- 2) Quais são os dados de saída fornecidos pelo ambiente, e quais são as maneiras do ambiente passar estes dados para o usuário?

Em síntese, serão detalhadas a formatação dos dados de entrada e saída, e a interface com o usuário.

3.2 INTERFACE COM O USUÁRIO (GENERALIDADES):

Após a ativação do módulo executável ASES.EXE, será apresentada ao usuário uma tela conforme a figura 3.1. Esta é a tela principal de acesso ao ambiente computacional. Nela pode-se identificar os seguintes detalhes:

- Uma moldura principal contendo o título e a versão do ambiente computacional.
- A área interior à moldura principal encontra-se dividida em duas partes distintas: as duas últimas linhas compondo uma área destinada a troca mensagens entre o ambiente e o usuário, e as 18 linhas restantes compondo uma área que será chamada de janela de trabalho.
- No interior da janela de trabalho encontra-se, do lado

esquerdo, ura menu de barra vertical. Este é o menu principal. A seleção de suas opções pode ser feita de duas formas: através das teclas de movimento de cursor, ou dígltando-se a letra maiúscula entre parênteses destacada era cada opção.

g AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1 |

(E)ntrar sistema para analise
editar e(L)ementos da matriz
salvar (S)lstema era arquivo
(P)robablidades estacionarias
(A)trlbuto dos estados (up/down)
(C)ustos operacionais dos estados
medidas (I)Invariantes no tempo
medidas (V)ariantes no tempo
diret(0)rio
(D)imensao
(F)ira
editor de (T)extos
(R)ecalcular a diagonal da matriz
reinicializar o programa

Dimensão*

MENSAGENS

FIGURA 3.1 - TELA DE ENTRADA NO AMBIENTE COMPUTACIONAL

Obs:A opção seleclonável apresenta-se era vídeo reverso na tela do computador. Na impossibilidade da reprodução gráfica do vídeo reverso, representa-se o mesmo, nesta figura e daqui por diante, por um sublinhado.

-Localiza-se também dentro da janela de trabalho, uma pequena janela destinada a mostrar a dimensão do sistema atualmente carregado dentro do ambiente computac' nal.

3.3 DADOS DE ENTRADA:

Tendo este ambiente computacional a finalidade de proceder a análise de sistemas que possam ser modelados por Cadeias de Markov de parâmetro contínuo, ó de se esperar que os dados de entrada sejam portanto, no mínimo, suficientes para especificar um cadeia deste tipo.

Uma Cadeia de Markov de parâmetro contínuo fica completamente especificada através de sua Matriz das Taxas. Esta matriz fornece por si só, o número de estados da cadeia, todas as transições entre eles, e as taxas que regem estas transições. O estado inicial, por vezes considerado uma informação de especificação da cadeia, será dispensado nesta aplicação. O estado inicial será considerado uma informação necessária apenas para a "operação" da cadeia, podendo inclusive ser modificado pelo usuário por razões de análise, não devendo necessariamente fazer parte da definição da cadeia.

A Matriz das Taxas (X) nortando será o principal dado de entrada a ser fornecido para o ambiente computacional. O estado de número '1' será considerado por *default* como o estado inicial. Podendo, como já foi dito, ser modificado pelo usuário.

Associada à Matriz de Taxas, uma outra informação, ou dado de entrada, se faz importante: a classificação *UP/DOWN* dos estados do sistema. Alguns parâmetros importantes do sistema só poderão ser calculados conhecendo-se esta classificação.

Uma última informação adicional, não estritamente necessária, pode ser acrescentada aos estados do sistema: um custo médio de ocupação de cada estado. Esta informação servirá exclusivamente para o cálculo do custo médio operacional do sistema, conforme já foi visto.

Resumindo os dados de entrada teremos:

- Matriz das Taxas.
- Classificação *UP/DOWN* dos estados.
- Custos Médios de ocupação dos estados.

3.3.1 INTERFACE COM O USUÁRIO:

Existem duas maneiras de serem fornecidos os três dados de entrada citados na seção anterior. Uma delas é através de um arquivo de dados de entrada a ser lido pelo ambiente computacional. A outra maneira é via teclado, onde o usuário interage diretamente com o ambiente computacional. Qualquer sistema pode ser informado ao ambiente das duas maneiras possíveis.

A vantagem do uso do arquivo de dados de entrada é que a descrição do sistema fica salva em disco para usos futuros, enquanto que um sistema especificado via teclado será perdido ao se desativar o ambiente computacional. Pensando-se nisto foi implementada uma opção de salvamento em disco da especificação do sistema presente no ambiente computacional. Assim, pode-se especificar um sistema interagindo diretamente com o ambiente, e posteriormente salvar em disco esta especificação para uso futuro. Entretanto a vantagem do U30 do arquivo de dados continua, porque somente através de seu uso é possível definir os elementos da matriz das taxas através de expressões literais, conforme será visto mais adiante.

3.3.2 ENTRADA MANUAL DE DADOS:

Apresenta-se a seguir os procedimentos para a especificação de um sistema ao ambiente computacional sem a utilização de um arquivo de entrada de dados. Os dados de entrada serão passados ao ambiente computacional diretamente via teclado.

O primeiro passo é definir a dimensão do sistema, ou seja, o número de estados do sistema a ser analisado. Para isso basta escolher a opção "(D)iraensão" no menu principal. Esta escolha dá acesso à modificação do valor atual da dimensão (ver flg.3.2). O valor inicial atribuído à dimensão pelo ambiente é zero. O valor máximo admissível é 100, embora este limite possa ser ampliado recompilando-se o programa. Qualquer tentativa de modificação da dimensão para valores proibidos será ignorada.

Dimensão» Q

MENSAGEN3

MODIFICAR DIMENSÃO

FIGURA 3.2. - JANELA DE MENSAGENS DA OPCAO "DIMENSÃO"

Estabelecida a dimensão do sistema pode-se passar à definição dos elementos da Matriz das Taxas. Para tal deve-se escolher no menu principal a opção "editar e(L)ementos da matriz". Escolhida esta opção, é solicitado ao usuário especificar a partir de qual elemento deseja-se iniciar a modificação (ver figura 3.3).

Dimensão» 50

MENSAGEN;

ELEMENTO INICIAL » [1 . 1]

FIGURA 3.3 - ESCOLHA DO ELEMENTO INICIAL

Quando se está definindo uma matriz pela primeira vez, não faz diferença a partir de qual elemento iniciar a definição. Entretanto esta opção do menu principal também pode ser utilizada para a modificação de uma matriz já presente no ambiente computacional, e neste caso, e principalmente para grandes dimensões, pode ser útil dirigir-se diretamente ao elemento que se deseja modificar. A definição do elemento inicial deverá ser coerente cora a dimensão do sistema, caso contrário não será aceita (ver figura 3.4).

Dimensão» 50

MENSAGENS

ELEMENTO INICIAL» [1, J?4, 1 -->Observe os limites [1,1] a [50, 50]

FIGURA 3.4 - EXEMPLO DE INCOERÊNCIA NA DEFINIÇÃO DO ELEMENTO INICIAL

Uma vez escolhido o elemento Inicial, seja por exemplo o elemento o [1,1], apresenta-se ao usuário a tela mostrada pela figura 3.5. São apresentados na tela, 17 elementos da matriz a partir do elemento inicial escolhido. A varredura da matriz é feita no sentido das linhas. Utilizando-se as teclas PgUp e PgDn pode-se percorrer todos os elementos da matriz, em grupos de 17.

Inicialmente todos os elementos da matriz são considerados nulos. Após a modificação dos elementos desejados, pode-se pressionar a tecla ESC para finalizar a operação.

Embora o menu principal tenha permanecido na tela durante a operação de edição dos elementos da matriz, o mesmo estava indisponível para utilização pelo usuário. Somente após a finalização desta operação é que o usuário ganha novamente o acesso a este menu.

AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1 |

(E)nt	[1,11]-	0.0000000000
ntar ç(k)em.entos .flfl.jnatciz.,	H/21»	0.0000000000
salvar (S)istema em arquivo	[1,3]=	0.0000000000
(P)robabilidades estacionarias	[1,4]=	0.0000000000
(A)tributo do3 estados (up/down)	[1,5]=	0.0000000000
(C)ustos operacionais dos estados	[1,6]»	0.0000000000
medidas (I)nvriante3 no tempo	[1,7]»	0.0000000000
medidas (V)ariantes no tempo	[1,8]=	0.0000000000
dlret(0)rlo	[1,9]=	0.0000000000
(D)imensao	[1,10]»	0.0000000000
(F)im	11,111^	0.0000000000
editor de (T)extos	U,12]-.	0.0000000000
(R)ecalcular a diagonal da matriz	[1,13]-	0.0000000000
reinicializar o programa	[1,14]=	0.0000000000
	[1,15]-	0.0000000000
	[1,16]-	0.0000000000
	[1,17]-	0.0000000000

Dimensão» 50

MENSAGENS

PgUp -> Retrocede.

<< MATRIZ DAS TAXAS >>

PgDn -> Avanca. Esc -> Finaliza.

FIGURA 3.5 - TELA PARA A EDIÇÃO DOS ELEMENTOS DA MATRIZ DAS TAXAS

Existe uma outra forma de entrada manual para os elementos da matriz das taxas, além desta última descrita. Quando a dimensão do sistema for menor ou igual a 11, pode-se optar por entrar os elementos visualizando-os diretamente no formato matricial. Esta opção pode ser particularmente útil para matrizes de pequena dimensão. Para este fim deve-se escolher no menu principal a opção "(E)nterar sistema para análise". Será apresentado ao usuário um sub-menu com duas opções, mostrado na figura 3.6.

AValiação DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1

(E)nterar sistema para análise	vU-(Arquivo
editar e(L)ementos da matriz	via (T)eclado
salvar (S)istema em arquivo	
(P)robabilidades estacionarias	

FIGURA 3.6- SUB-MENU DA OPÇÃO "(E)nterar sistema para análise"

Escolhendo a opção "via (T)eclado" obtêm-se a tela para entrada dos elementos da matriz mostrada na figura 3.7. Caso a dimensão definida seja maior que 11 a mensagem de erro apresentada na figura 3.8 será colocada na janela de mensagens.

Nesta forma de entrada dos elementos da matriz fica-se limitado ao formato "XXX.XX" , ou seja, os elementos assim definidos ficam limitados a seguinte faixa de valores: -99.99 a +999.99. Isto não impede entretanto que estes valores sejam posteriormente modificados utilizando-se a opção "editar e(L)ementos da matriz".

B AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1

0 00	0.00	0t00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00.
0,90	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00.	0.00 0.00
0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00
0.00	0,00	0.00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00	0r 00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0,00

Diraensao= 8

MENSAGEN1

FIGURA 3.7 - EXEMPLO DE TELA DE ENTRADA DA MATRIZ PELO
FORMATO MATRICIAL

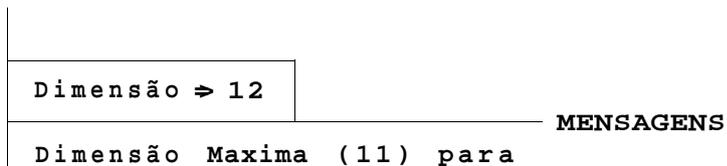


FIGURA 3.8 - MENSAGEM DE ERRO. DIMENSÃO NAO PERMITE FORMATO
MATRICIAL

Para a classificação *UP/DOWN* dos estados, deve-se escolher a opção "(A)tributos dos estados (up/down)" no menu principal.

A primeira solicitação feita ao usuário, é a definição do estado inicial por onde se iniciar a classificação (ver figura 3.9). De forma análoga a opção de edição dos elementos, esta opção também é utilizada para a modificação de uma classificação já existente.

Dimensao= 50

MENSAGENS

DEFINIR ATRIBUTOS DOS ESTADOS. Iniciar pelo estado [___L)

FIGURA 3.9 - DEFINIÇÃO DO ESTADO INICIAL PARA A CLASSIFICAÇÃO DE ATRIBUTOS.

O estado inicial escolhido deve ser coerente com a dimensão do sistema, caso contrário não será aceito (ver figura 3.10) .

Dimensão» 50

MENSAGENS

DEFINIR ATRIBUTOS DOS ESTADOS. Iniciar pelo estado [54 J
•••> Observe os limites [1 a 50] <•••

FIGURA 3.10 - EXEMPLO DE INCOERÊNCIA NA ESCOLHA DO ESTADO INICIAL

Uma vez escolhido o estado inicial, que pode ser o estado [11 por exemplo, apresenta-se ao usuário a tela mostrada pela figura 3.11.

São apresentados na tela, 17 estados do sistema a partir do estado inicial escolhido. Utilizando-se as teclas PgUp e PgDn pode-se percorrer todos os estados do sistema.

Inicialmente todos os estados são considerados com atributo *DOWN*. Após a modificação dos atributos desejados, pode-se pressionar a tecla ESC para finalizar a operação.

(E)ntrar sistema para analise editar e(L)eraentos da matriz salvar (S)istema em arquivo (P)robabilidades estacionarias (A)tributo dos estados ÍUD/down)	ESTADO(1)= ti (Y/N) ESTADO(2)= N (Y/N) ESTADO(3)= N (Y/N) ESTADO(4)= N (Y/N) ESTADO(5)= N (Y/N) ESTAD0(6)= N (Y/N)
(C)ustos operacionais dos estados medidas (I)nvariantes no tempo medidas (V)ariantes no tempo diret(0)rio (D)imensao (F)im editor de (T)extos (R)ecalcular a diagonal da matriz reinicializar o programa	ESTADO(7)= N (Y/N) ESTADO(8)= N (Y/N) ESTADO(9)• N (Y/N) ESTADO(10)= N (Y/N) ESTADO(11)= N (Y/N) ESTADO(12)= N (Y/N) ESTADO(13)) ⁵⁸ N (Y/N) ESTADO(14)- N (Y/N) ESTADO(15)= N (Y/N) ESTADO(16)= N (Y/N) ESTADO(17)= N (Y/N)

Dimensão» 50

_____MENSAGENS _____

PgUP -> Retrocede. ATRIBUTOS DOS ESTADOS << Y=UP / N=DOWN >>
PgDn -> Avanca. ESC -> Finaliza

FIGURA 3.11- TELA PARA EDIÇÃO DOS ATRIBUTOS DOS ESTADOS

Para completar os dados de entrada, falta apenas a definição dos custos médios de ocupação de cada estado. Esta operação é iniciada escolhendo-se a opção "(C)ustos operacionais dos estados" no menu principal. Mais uma vez é solicitado ao usuário escolher a partir de qual estado iniciar a definição (ver figura 3.12). E como das vezes anteriores, esta escolha deve estar compatível cora a dimensão do sistema (ver figura 3.13). A tela para definição dos custos é apresentada na figura 3.14. O formato numérico destinado aos custos é "XXXXXX.XX", e não existe restrição a valores negativos. Valores negativos de custo podem ser interpretados como lucros pela ocupação daqueles estados.

Dimensão' 50

MENSAGENS

DEFINIR OS CUSTOS MÉDIOS DE OCUPAÇÃO DA CADA ESTADO.
Iniciar pelo estado [11

FIGURA 3.12 - ESCOLHA DO ESTADO INICIAL PARA DEFINIÇÃO
DOS CUSTOS

Dimensão» 50

MENSAGENS

DEFINIR OS CUSTOS MÉDIOS DE OCUPAÇÃO DA CADA ESTADO.

Iniciar pelo estado [5] ==>Observe os limites [1 a 50]<

FIGURA 3.13 - EXEMPLO DE INCOERÊNCIA NA ESCOLHA DO ESTADO INICIAL

\ AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1 g

(E)nterar sistema para analise	[1]» \$ 0.00
editar e(L)ementos da matriz	[2]= \$ 0.00
salvar (S)istema era arquivo	[3]= \$ 0.00
(P)robabilidades estacionarias	[4]= \$ 0.00
(A)tributo dos estadr>3 (up/down)	[5]= \$ 0.00
(C)uatoa operacionais dos estados	[6]= \$ 0.00
medidas (I)nvariantes no tempo	[7]= \$ 0.00
medidas (V)ariantes no tempo	[8]= \$ 0.00
diret(0)rlo	[9]= \$ 0.00
(D)imensao	[10]= \$ 0.00
(F)ira	[11]= \$ 0.00
editor de (T)extos	[12]= \$ 0.00
(R)ecalcular a diagonal da matriz	[13]= \$ 0.00
reinicializar o programa	[14]= \$ 0.00
	[15]= \$ 0.00
	[16]= \$ 0.00
	[17]= \$ 0.00

Dimensão» 50

MENSAGENS

PgUp -> Retrocede.

<< CUSTOS MEDIOS DE OCUPAÇÃO >>

PgDn -> Avanca. Esc -> Finaliza.

FIGURA 3.14 - TELA PARA EDIÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS

3.3.3 ENTRADA AUTOMÁTICA DE DADOS:

Conforme dito anteriormente, os dados de entrada também podem ser fornecidos ao ambiente computacional, via arquivo era disco.

Sistemas a serem analisados podem ser definidos através de arquivos tipo texto, para uso posterior. Estes arquivos conterão as definições completas dos sistemas, e poderão ser

lidos pelo ambiente computacional. O ambiente computacional, ao ler um arquivo deste tipo, transfere as informações ali descritas para seu interior.

Nesta seção será detalhado o formato a ser obedecido na criação deste tipo de arquivo, bem como sua forma de utilização pelo ambiente computacional.

3.3.3.1 FORMATO DO ARQUIVO DE ENTRADA DE DADOS

Os arquivos tipo texto para entrada de dados deverão ser do tipo ASCII, sem caracteres de controle (a menos de CR, LF e EOF). O arquivo será composto de 5 partes distintas:

- Definição da dimensão do sistema.
- Definição das constantes.
- Definição dos elementos da matriz de taxas.
- Definição dos atributos dos estados.
- Definição dos custos operacionais dos estados.

Apenas a "Definição da dimensão do sistema" é uma parte obrigatoriamente presente no arquivo. As demais são opcionais. Caso estas partes não existam, os seguintes cálculos são assumidos:

- Todos os elementos da matriz das taxas serão nulos.
- Todos os estados são do tipo *DOWN*.
- Todos os custos operacionais são nulos.

Não existe ordem obrigatória das partes no arquivo, ou seja, a sequência de definições não precisa necessariamente seguir a ordem apresentada acima.

3.3.3.1.1 DEFINIÇÃO DA DIMENSÃO DO SISTEMA:

Esta parte deve ser iniciada pela palavra DIMENSÃO, escrita desta maneira, isto é, letras maiúsculas e sem acentuação. Além disto, esta palavra deve aparecer em uma linha dedicada do arquivo. Nada além da palavra DIMENSÃO deve estar

presente nesta linha.

Após a linha contendo a palavra DIMENSÃO, deve-se ter uma linha dedicada ao numeral representativo da dimensão do sistema. Novamente nada além deste numeral deve ocupar esta linha. Opcionalmente, pode-se ter linhas vazias entre a linha da palavra DIMENSÃO e a linha do numeral.

Em ambas as linhas não há a necessidade de se iniciar na primeira posição da linha.

Exemplos:

```
DIMENSÃO  
12
```

```
DIMENSÃO
```

```
12
```

3.3.3.12 DEFINIÇÃO DAS CONSTANTES:

O usuário pode definir constantes para serem utilizadas nas definições dos elementos da Matriz da Taxas. Estas constantes são representadas pelas letras maiúsculas de 'A' até 'Z'.

A definição das constantes deve ser iniciada pela palavra CONSTANTES, escrita desta maneira, isto é, em letras maiúsculas. Além disto, esta palavra deve aparecer em uma linha dedicada do arquivo. Nada além da palavra CONSTANTES deve estar presente nesta linha.

Após a linha contendo a palavra CONSTANTE pode-se ter, opcionalmente, algumas linhas em branco, ou iniciar imediatamente a definição das mesmas.

Cada constante será definida numa linha individual. Nada além da definição da constante deve estar presente em sua linha de definição. Linhas em branco podem, opcionalmente, ser inseridas entre as linhas de definição das constantes.

O formato de uma linha de definição de uma constante é apresentada a seguir:

X = NUMERAL

Nesta linha X está representando genericamente as letras de 'A' até 'Z'.

O comprimento de uma linha de definição está limitado a 80 colunas.

Todos os espaços em branco são opcionais. Podendo ser utilizados apenas por questões estéticas. Poder-se-ia retirar todos eles e definir a constante assim:

X=NUMERAL

Exemplos:

CONSTANTES

A = 1.25

B = 500

J = 0.03

CONSTANTES

X=34.89

O=54.9

3.3.3.1.3 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS DA MATRIZ DAS TAXAS:

Esta parte deve ser iniciada pela palavra **ELEMENTOS**, escrita desta maneira, isto é, em letras maiúsculas. Além disto, esta palavra deve aparecer em uma linha dedicada do arquivo. Nada além da palavra **ELEMENTOS** deve estar presente nesta linha.

Após a linha contendo a palavra ELEMENTOS pode-se ter, opcionalmente, algumas linhas em branco, ou iniciar imediatamente a definição dos elementos.

Cada elemento será definido numa linha individual. Nada além da definição do elemento deve estar presente em sua linha de definição. Linhas em branco podem, opcionalmente, ser inseridas entre as linhas de definição dos elementos.

Elementos não explicitamente definidos serão considerados como nulos (iguais a zero).

Não é preciso definir os elementos da diagonal. Os mesmos serão calculados automaticamente pelo ambiente computacional. Definições de elementos da diagonal serão desprezadas.

O formato de uma linha de definição de um elemento qualquer está representado a seguir: -

[X , Y] EXPRESSÃO

O comprimento de uma linha de definição está limitado a 80 colunas.

Todos os espaços em branco são opcionais. Poderão ser utilizados apenas por questões estéticas. Poder-se-ia retirar todos eles e definir o elemento assim:

[X,Y]=EXPRESSÃO

Os valores de X e Y deverão ser coerentes com a dimensão definida (X e Y menores ou igual a dimensão). Elementos definidos com incoerência em X ou Y serão ignorados.

A EXPRESSÃO de definição do elemento pode conter: A3 quatro operações aritméticas (+ - / *), parênteses multiníveis, números inteiros e reais (obs: não é aceito o formato de engenharia), e constantes pré-definidas pelo usuário (A a Z).

Exemplos:

ELEMENTOS

[1 , 2] = 3*A+C
[1,3] = 23.4
[4,7] = A+B-C

ELEMENTOS

[1, 3] = 3
[2, 6] = 8.79+X
[10, 7] = Y/B

3.3.3.1.4 DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS DOS ESTADOS:

Esta parte deve ser iniciada pela palavra ESTADOS-UP, escrita desta maneira, isto é, em letras maiúsculas. Além disto, esta palavra deve aparecer em uma linha dedicada do arquivo. Nada além da palavra ESTADOS-UP deve estar presente nesta linha.

Após a linha contendo a palavra ESTADOS-UP pode-se ter, opcionalmente, algumas linhas em branco, ou iniciar imediatamente a definição dos estados do tipo UP.

Cada estado que se deseje seja definido como do tipo UP, será definido numa linha individual. Nada além da definição do estado deve estar presente em sua linha de definição. Linhas em branco podem, opcionalmente, ser inseridas entre as linhas de definição dos estados.

Estados não definidos, serão considerados como sendo do tipo *DOWN*.

A definição do estado como do tipo UP consiste apenas na colocação do seu número numa linha de definição.

Exemplos:

ESTADOS-UP

1
4
7

ESTADOS-UP

5
9
2

3.3.3.1.5 DEFINIÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS:

Esta parte deve ser iniciada pela palavra CUSTOS, escrita desta maneira, isto é, em letras maiúsculas. Além disto, esta palavra deve aparecer em uma linha dedicada do arquivo. Nada além da palavra CUSTOS deve estar presente nesta linha.

Após a linha contendo a palavra CUSTOS pode-se ter, opcionalmente, algumas linhas em branco, ou Iniciar imediatamente a definição dos mesmos.

Cada custo será definido numa linha individual. Nada além da definição do custo deve estar presente em sua linha de definição. Linhas em branco podem, opcionalmente, ser inseridas entre as linhas de definição dos custos.

Custos não explicitamente definidos serão considerados como nulos (iguais a zero).

O formato de uma linha de definição de custo está representado a seguir:

[X] NUMERAL

O comprimento de uma linha de definição está limitado a 80 colunas. X representa o número do estado que se está definindo o custo.

Todos os espaços em branco são opcionais. Poderão ser utilizados apenas por questões estéticas. Poder-se-ia retirar todos eles e definir o elemento assim:

[X]=NUMERAL

O valores de X deverão ser coerentes com a dimensão definida (X menor ou igual a dimensão). Custos definidos com incoerência em X serão ignorados.

Exemplos:

CUSTOS

[1] = 1000,00
[4] = 130,00
[7] = 2350,00

CUSTOS

[1] = 30
[2] = 8.79
[10] = 30000

3.3.3.1.6 DEFINIÇÃO COMPLETA DE UM SISTEMA:

Com finalidade Ilustrativa, apresenta-se a seguir uma especificação completa de um sistema hipotético.

O sistema possui apenas três estados e as possíveis transições estão representadas pelo diagrama de estados abaixo:

2.C.X

M

(1-C).2.\

Com:	\ = 1	e custos:	Estado 1	Cr\$ 100,00
	Ai = 50		Estado 2	Cr\$ 500,00
	C = 0.95		Estado 3	Cr\$ 1.000,00

E apenas os estados 1 e 2 são considerados UP.

Um possível arquivo de entrada de dados, representante deste sistema hipotético, seria o seguinte:

```

*****
Sistema Exemplo
*****

DIMENSÃO

3

CONSTANTES

L = 1
U = 50
C = 0.95

ELEMENTOS

[1,2] = 2*C*L
[1,3] = (1-C)*2*L
[2,1] = U
[2,3] = L
[3,2] = U

ESTADOS-UP

1
2

***** custos Em Cruzeiros *****

CUSTOS

[1] = 10
[2] = 500
[3] = 1000

FIM

```

Observe que os dois comentários propositalmente inseridos no arquivo, "Sistema Exemplo" e "Custos em Cruzeiros", não contrariam nenhuma das regras (ver itens 3.3.1.1 a 3.3.1.5) de definição da matriz de entrada de dados, e conseqüentemente serão inofensivos à especificação do sistema.

3.3.3.2 LEITURA DO ARQUIVO DE ENTRADA DE DADOS:

Para efetuar a leitura de um arquivo de entrada de dados, deve-se escolher a opção "(E)nterar sistema para análise". Será então apresentado ao usuário um sub-menu com duas opções, conforme já foi mostrado pela figura 3.6. Escolhendo-se a opção

"via (A)rquivo", será solicitado ao usuário, o nome do arquivo de entrada de dados a ser lido (ver figura 3.15).

Dimensão» 50

MENSAGENS

Arquivo de Entraua : C:\SISENT.MKV

FIGURA 3.15 - SOLICITAÇÃO DA DEFINIÇÃO DO ARQUIVO DE ENTRADA.

O nome *de-fault* assumido para o arquivo de entrada, será o nome do último arquivo de entrada que foi lido pelo programa. Caso ainda não se tenha lido nenhum arquivo, o nome SISENT.MKV será assumido como default.

O *path* assumido pelo programa será sempre aquele a partir de onde o programa tenha sido chamado, ou o último *path* que tenha sido definido. Observe que este *path* não coincide necessariamente com o *path* onde se encontra o módulo executável do programa.

O pressionamento da tecla de ESCAPE cancela a leitura do arquivo de entrada de dados e retorna-se ao menu principal.

Quando o arquivo de entrada de dados que foi definido não existe, a mensagem de arquivo não encontrado é enviada ao usuário, e retorna-se à definição do nome do arquivo, ver figura 3.16.

Dimensão» 50

MENSAGENS

Arquivo de Entrada : <
Arquivo Nao Encontradol

FIGURA 3.16 - ARQUIVO DE ENTRADA DE DADOS INEXISTENTE.

Quando o arquivo de entrada de dados existe no *path* especificado, inicia-se o processo de leitura do mesmo. Isto fica evidenciado pela mensagem da figura 3.17. Ao final da leitura, o controle é devolvido ao menu principal.

Dimensão» 50

MENSAGENS

Lendo Arquivo. Aguarde...

FIGURA 3.17 - DURANTE A LEITURA DO ARQUIVO
DE ENTRADA DE DADOS.

Conforme mencionado anteriormente, a única informação obrigatória num arquivo de entrada de dados, é a definição da dimensão do sistema. Caso o programa não consiga localizar, dentro do arquivo, a definição da dimensão do sistema, ou se deliberadamente a dimensão tenha sido definida como nula, o programa responde ao usuário com uma mensagem de dimensão nula e retorna à definição do nome do arquivo de entrada (ver figura 3.18).

Dimensão* 50

MENSAGENS

Arquivo de Entrada : Ç;\SISfiNT,MKV
Matriz de Dimensão Nula I

FIGURA 3.18 - DIMENSÃO NULA OU NÃO DEFINIDA NO
ARQUIVO DE ENTRADA.

Caso a dimensão definida no arquivo de entrada seja maior que o valor máximo admissível (100 estados), o ambiente computacional assume a dimensão como sendo a máxima, executando a leitura das demais informações (elementos, estados-up e custos) de forma truncada. Neste caso a mensagem mostrada na figura 3.19 é apresentada ao usuário.

Dimensao=100

MENSAGENS

SISTEMA COM DIMENSÃO SUPERIOR A MAXIMA
Leitura Truncada no valor máximo!

FIGURA 3.19 - DIMENSÃO DO ARQUIVO DE ENTRADA ALEM DA MÁXIMA

3.3.4 SALVAR ESPECIFICAÇÃO EM ARQUIVO:

Independente da forma como os dados de entrada foram definidos: através da leitura de um arquivo de entrada de dados, ou através de entrada manual, é possível salvar em disco todos os dados que foram fornecidos ao ambiente computacional.

Escolhendo-se no menu principal a opção "salvar (S)istema em arquivo", procede-se ao salvamento de todos os dados anteriormente fornecidos. A primeira solicitação, feita por esta opção ao usuário, é a definição do nome do arquivo que conterá as informações que serão salvas (ver figura 3.20).

Dimensão» 50

```

                                MENSAGENS
Arquivo de Salda : C:\SIS3AI.MKV
```

FIGURA 3.20 - SOLICITAÇÃO DE DEFINIÇÃO DO NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA.

O nome *default* assumido para o arquivo de salda, será o nome do último arquivo de salda que tenha sido definido. Caso ainda não se tenha definido nenhum arquivo, o nome *SISSAI.MKV* será assumido como *default*. O *paLh* assumido pelo programa será sempre aquele a partir de onde o programa tenha sido chamado, ou o último *pcLth*. que tenha sido definido.

Caso o arquivo de salda definido pelo usuário já exista no disco, a mensagem mostrada pela figura 3.21 será apresentada ao usuário. A autorização de sobreposição significa que os dados serão gravados por cima do atual conteúdo do arquivo, que será perdido. A não autorização para a sobreposição apenas à condição de definição do nome do arquivo.

O pressionamento da tecla de *ESCAPE* cancela a leitura do arquivo de entrada de dados e retorna-se ao menu principal.

Dimensão» 50

MENSAGENS

Arquivo de Salda : Ç;_SlSgAJ_MKV
Arquivo ja existente I Sobrepor (S/N)?

FIGURA 3.21 - NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA JÃ EXISTENTE

Uma vez definido o nome do arquivo de salda, o programa procede ao salvamento dos dados colocando a mensagem da figura 3.22 para o usuário.

Dimensão» 50
MENSAGENS
Salvando Sistema. Aguarde.

FIGURA 3.22 - MENSAGEM DE SALVAMENTO DA ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA.

O arquivo salvo contendo os dados da especificação do sistema, é um arquivo tipo texto com o formato apresentado na figura 3.23.

Da matriz das taxas, os elementos nulos ou pertecentes a diagonal nXo s3o salvos. Da mesma forma os custos nulos também nSo sSo salvos.

Observe-se que o formato utilizado para o salvamento dos dados, permite que este arquivo possa ser lido pelo ambiente computacional como um arquivo de entrada de dados.

<p>DIMENSÃO</p> <p>XXX</p> <p>ELEMENTOS</p> <p>[i , j]=XXXXXXXXXXXXX.XXXXXXXXXXX</p> <p>ESTADOS-UP</p> <p>XXX</p> <p>CUSTOS</p> <p>[k1=XXXXXX.XX</p> <p>FIM</p>	<p>DIMENSÃO</p> <p>3</p> <p>ELEMENTOS</p> <table border="0"> <tr> <td>[1,21-</td> <td>3.4000000000</td> </tr> <tr> <td>U,31-</td> <td>17.0000000000</td> </tr> <tr> <td>12,11«</td> <td>1.0000000000</td> </tr> <tr> <td>[3,1]-</td> <td>5.0000000000</td> </tr> <tr> <td>[3,21-</td> <td>6.0000000000</td> </tr> </table> <p>ESTADOS-UP</p> <p>1</p> <p>3</p> <p>CUSTOS</p> <table border="0"> <tr> <td>[11=</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>[21=</td> <td>1300.00</td> </tr> <tr> <td>[31=</td> <td>250.00</td> </tr> </table> <p>FIM</p>	[1,21-	3.4000000000	U,31-	17.0000000000	12,11«	1.0000000000	[3,1]-	5.0000000000	[3,21-	6.0000000000	[11=	10.00	[21=	1300.00	[31=	250.00
[1,21-	3.4000000000																
U,31-	17.0000000000																
12,11«	1.0000000000																
[3,1]-	5.0000000000																
[3,21-	6.0000000000																
[11=	10.00																
[21=	1300.00																
[31=	250.00																

FIGURA 3.23 - FORMATO DO ARQUIVO DE SAÍDA PARA SALVAMENTO DAS ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA.

3.4 DADOS DE SAÍDA:

Os dados de entrada definidos no Itera 3.3 deste capítulo, ou sejam: Matriz das Taxas, Classificação *UP/DOWN* dos Estados e Custos Médios Operacionais dos Estados, são utilizados pelo ambiente computacional para o cálculo dos seguintes dados de saída:

- Probabilidades Estacionárias de Ocupação dos Estados.
- Confiabilidade e Disponibilidade do Sistema.
- Tempos Médios para Falhar e Reparar o Sistema.
- Custo Médio Operacional do Sistema.

3.4.1 PROBABILIDADES ESTACIONARIAS:

Para o cálculo das probabilidades estacionárias do sistema, deve ser escolhida a opção "(P)robabilidades estacionarias" no menu principal. O sub-menu da figura 3.24 será apresentado ao usuário.

A primeira opção deste sub-menu executa o cálculo das probabilidades estacionárias sempre que for acionada. Durante a execução dos cálculos, a mensagem da figura 3.25 ficará sendo apresentada ao usuário.

|H AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMA3 -V2.1 |

```
(E)ntrar sistema para analise
editar e(L)ementos da matriz
salvar (S)istema em arquivo
ÍPitPkabllldadca estacionarias. .1 OalcuüZ
(A)tributo dos estados (up/down) (M)ostrat
(C)ustos operacionais dos estados (S)alvar em arquivo
medidas (I)nvartantes no tempo
medidas (V)ariantes no tempo
```

FIGURA 3.24 - SUB-MENU DA OPÇÃO
"(P)robabilidades estacionarias".

Dimensão» 50

MENSAGENS

```
PROBABILIDADES ESTACIONARIAS
Calculando. Aguarde...
```

FIGURA 3.25 - MENSAGEM DE EXECUÇÃO DOS CÁLCULOS DAS
PROBABILIDADES ESTACIONÁRIAS.

Terminado os cálculos para a determinação das probabilidades estacionárias, o ambiente computacional retorna ao menu principal. Para a visualização das probabilidades estacionárias que foram calculadas, deve-se novamente escolher a opção "(P)robabilidade estacionária" no menu principal, e em seguida a opção "(M)ostrat" no sub-menu. Será então solicitado ao usuário definir a partir de qual estado deverá ser iniciada a apresentação das probabilidades (ver figura 3.26).

Dimensão» 50

MENSAGENS

Mostrar a partir de Pt 11

FIGURA 3.26 - DEFINIR PROBABILIDADE ESTACIONÁRIA INICIAL PARA APRESENTAÇÃO NA TELA.

Após a definição do estado inicial de apresentação, o ambiente computacional apresenta as probabilidades estacionárias no formato descrito pela figura 3.27.

I AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1 Q

(E)ntrar sistema para analise	P111» X.XXXXXXXXXXX
editar e(L)ementos da matriz	P[2]= X.XXXXXXXXXXX
salvar (S)istema em arquivo	P[3]= X.XXXXXXXXXXX
LP)rgbapuidades, .sstaclonaslas	Pí4]= X.XXXXXXXXXXX
(A)tributo dos estados (up/down)	P[5]= X.XXXXXXXXXXX
(C)ustos operacionais dos estados	P[6]= X.XXXXXXXXXXX
medidas (I)nvariantes no tempo	P[7]= X.XXXXXXXXXXX
medidas (V)ariantes no tempo	P[8]= X.XXXXXXXXXXX
diret(0)rlo	P[9]= X.XXXXXXXXXXX
(D)imensao	P(10]- X.XXXXXXXXXXX
(F)im	Pt111- X.XXXXXXXXXXX
editor de (T)extos	P[121]» X.XXXXXXXXXXX
(R)ecalcular a diagonal da matriz	P113J- X.XXXXXXXXXXX
reinicializar o programa	P114]» X.XXXXXXXXXXX
	PÍ151» X.XXXXXXXXXXX
	P1161« X.XXXXXXXXXXX
	P[17]» X.XXXXXXXXXXX

Dimensão» 50

MENSAGENS

PgUp -> Retrocede. << CUSTOS MEDIOS DE OCUPAÇÃO >>
PgDn -> Avanca. Esc -> Finaliza.

FIGURA 3.27 - APRESENTAÇÃO DAS PROBABILIDADES ESTACIONÁRIAS

Antes de ser efetuado pela primeira vez o cálculo das probabilidades estacionárias, o valor default assumido é 0(zero) para todas as probabilidades. Se inicialmente fosse escolhida a opção "(M)ostrar", antes da opção"(C)alcular, todos os valores (X.XXXXXXXXXXX) seriam iguais a zero.

A última opção disponível no sub-menu de probabilidades estacionárias, é a opção "(S)alvar em arquivo". Com esta opção é possível salvar em arquivo as probabilidades estacionárias calculadas.

A primeira solicitação, feita por esta opção ao usuário, é a definição do nome do arquivo que conterá as informações que serão salvas (ver figura 3.28).

Dimensão» 50

```
MENSAGENS
Arquivo de Salda : C:\PROEST.MKV
```

FIGURA 3.28 - SOLICITAÇÃO DA DEFINIÇÃO DO NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA

O nome *default* assumido para o arquivo de salda, será o nome do último arquivo de salda que tenha sido definido. Caso ainda não se tenha definido nenhum arquivo, o nome PROEST.MKV será assumido como *default*. O *path* assumido pelo programa será sempre aquele a partir de onde o programa tenha sido chamado, ou o último *path* que tenha sido definido.

Caso o arquivo de salda definido pelo usuário já exista no disco, a mensagem mostrada pela figura 3.29 será apresentada ao usuário. A autorização de sobreposição significa que os dados serão gravados por cima do atual conteúdo do arquivo, que será perdido. A não autorização para a sobreposição retorna a condição de definição do nome do arquivo.

O pressionamento da tecla de ESCAPE cancela a leitura do arquivo de entrada de dados e retorna-se ao menu principal.

Dimensão» 50

```
MENSAGENS
Arquivo de Salda : Ç;\PRQfist, MKV.
Arquivo ja existente! Sobrepor (S/N):
```

FIGURA 3.29 - NOME DO ARQUIVO DA SAÍDA JÁ EXISTENTE

Uma vez definido o nome do arquivo de salda, o programa inicia o salvamento dos dados colocando a mensagem da figura 3.30 para o usuário.

```
Dimensao= 50 || _____ MENSAGENS _____  
Salvando Probabilidades Estacionarias... Aguarde !
```

FIGURA 3.30 - MENSAGEM DE SALVAMENTO DAS
PROBABILIDADES ESTACIONÁRIAS

O arquivo salvo contendo os dados da especificação do sistema, é um arquivo tipo texto com o formato apresentado na figura 3.31. Observe-se que além das probabilidades estacionárias, também são salvas outras informações relativas ao sistema. O salvamento dos valores corretos destas medidas presuppõe que elas tenham sido previamente calculadas, através de opção apropriada em menu, conforme será visto mais adiante.

PROBABILIDADES ESTACIONARIAS

```
Numero de Estados do Sistema      XXX  
Disponibilidade do Sistema        XX.XXXXXX(%)  
Indisponibilidade do sistema      XX.XXXXXX(%)
```

```
p [ i ]=X.XXXXXXXXXXX
```

```
p [ j ]=X.XXXXXXXXXXX
```

```
p [ k ]=X.XXXXXXXXXXX
```

FIM

FIGURA 3.31 - FORMATO DO ARQUIVO DE SALVAMENTO DAS
PROBABILIDADES ESTACIONÁRIAS

3.4.2 MEDIDAS INVARIANTES NO TEMPO:

O ambiente computacional fornece as seguintes medidas invariantes no tempo:

- Disponibilidade do Sistema.
- Tempos Médios para o Sistema Falhar.
- Tempos Médios para Reparar o Sistema.
- Custo Médio Operacional do Sistema.

Para a determinação destas medidas, deve ser escolhida a opção "medidas (I)nvariantes no tempo" no menu principal. Será então apresentado ao usuário um sub-menu conforme mostra a figura 3.32.

I AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1 |

(E)ntrar sistema para analise editar e(L)eraentos da matriz salvar (S)istema em arquivo (P)robabilidades estacionarias (A)tributo dos estados (up/down) (C)ustos operacionais dos estados <u>medidas íI)nvariantes no temoo</u>	
medidas (V)arilantes no temp	
diret(0)rlo	(A)/U - dlsDon./indisDon.
(D)imensao	Tempo médio para (F)alhar-MTTF
(F)lm	Tempo raedio para (R)eparo-MTTR
editor de (T)extos	(C)usto raedio operacional
(R)ecalcular a diagonal da	(S)alvar era arquivo
reinicializar o programa	
	1)

Dimensão³ 50 n

_____1_____MENSAGENS

FIGURA 3.32 - SUB-MEMU DAS MEDIDAS INVARIANTES NO TEMPO

3.4.2.1 DISPONIBILIDADE DO SISTEMA:

Escolhendo-se a primeira opção do sub-menu das medidas invariantes, calcula-se a disponibilidade do sistema atualmente definido dentro do ambiente computacional.

No cálculo da disponibilidade * suposto que as probabilidades estacionárias foram calculadas anteriormente. Em caso contrário, a disponibilidade calculada será nula (0%).

Como a disponibilidade é igual a soma das probabilidades estacionárias dos estados do tipo UP, a ausência de estados deste tipo também significará disponibilidade nula.

Após o cálculo da disponibilidade, os resultados são apresentados para o usuário através da própria janela de mensagens, conforme mostrado pela figura 3.33.

```
Dimensão" 50
                                     MENSAGENS
Disponibilidade      • XX.XXXXXX (%)
Indisponibilidade   - XX.XXXXXX (%)
```

FIGURA 3.33 - APRESENTAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DO SISTEMA

3.4.2.2 TEMPO MÉDIO PARA FALHAR - MTTF:

Para o cálculo dos MTTF's do sistema, deve ser escolhida a opção "Tempo médio para (F)alhar - MTTF" no sub-menu das medidas Invariantes. Durante a execução dos cálculos, a mensagem da figura 3.34 ficará sendo apresentada ao usuário.

Terminado os cálculos para a determinação dos MTTF's, será solicitado ao usuário definir a partir de qual estado deverá ser iniciada a apresentação dos mesmos (ver figura 3.35).

```
Dimensão» 50
                                     MENSAGENS
MTTF
Calculando. Aguarde...
```

FIGURA 3.34 - MENSAGEM DE EXECUÇÃO DOS CÁLCULOS DOS MTTF'S

Dimensão» 50

MENSAGEN3

Mostrar a partir do MTTFI 11

FIGURA 3.35 - DEFINIR O MTTF INICIAL PARA APRESENTAÇÃO.

Após a definição do MTTF inicial de apresentação, o ambiente computacional apresentará os mesmos no formato descrito pela figura 3.36.

g AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2 . 1 g

(E)ntrar sistema para analise	MTTF(11=	XXXXX .XXXXX
editar e(L)ementos da matriz	MTTFI21«	XXXXX .XXXXX
salvar (S)lsteroa em arquivo	MTTF[31«	XXXXX .XXXXX
(P)robablidades estacionarias	MTTF[41»	XXXXX .XXXXX
(A)tributo dos estados (up/down)	MTTFI51»	XXXXX .XXXXX
(C)ustos operacionais dos estados	MTTF[61»	XXXXX .XXXXX
<u>medidas (I)nvarJantes no tempo</u>	MTTFI71»	XXXXX .XXXXX
medidas (V)arlanes no tempo	MTTF[81»	XXXXX .XXXXX
diret(0)rio	MTTF[91»	XXXXX .XXXXX
(D)imensao	MTTF[101-	XXXXX .XXXXX
(F)lm	MTTF[111=	XXXXX .XXXXX
editor de (T)éxtos	MTTF[121»	XXXXX .XXXXX
(R)ecalcular a diagonal da matriz	MTTF[131»	XXXXX .XXXXX
reinicializar o programa	MTTF[141»	XXXXX .XXXXX
	MTTFI151-	XXXXX .XXXXX
	MTTF[161-	XXXXX .XXXXX
	MTTF[171»	XXXXX .XXXXX

Dimensão» 50

MENSAGENS

PgUp -> Retrocede. << TEMPOS MEDIOS PARA FALHAR >>
PgDn -> Avanca. Esc -> Finaliza.

FIGURA 3.36 - APRESENTAÇÃO DOS MTTF's

3.4.2.3 TEMPO MEDIO PARA REPARO - MTTR:

Para o cálculo dos MTTR's do sistema, deve ser escolhida a opção "Tempo médio para (R)eparo - MTTR" no sub-raenu das medidas invariantes. Durante a execução dos cálculos, a mensagem da figura 3.37 ficará sendo apresentada ao usuário.

Terminado os cálculos para a determinação dos MTTR*s, será

solicitado ao usuário definir a partir de qual estado deverá ser iniciada a apresentação dos mesmos (ver figura 3.38).

Dimensão» 50

MENSAGENS

MTTR

Calculando. Aguarde...

FIGURA 3.37 - MENSAGEM DE EXECUÇÃO DOS CÁLCULOS DOS MTTR'S

Dimensão» 50

MENSAGEN3

Mostrar a partir do MTTRt_JL1

FIGURA 3.38 - DEFINIR O MTTR INICIAL PARA APRESENTAÇÃO

Após a definição do MTTR inicial de apresentação, o ambiente computacional apresentará os mesmos no formato descrito pela figura 3.39.

| AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1

I(E)ntrar sistema para análise
 editar e(L)ementos da matriz
 salvar (S)istema em arquivo
 (P)robabilidades estacionarias
 (A)tributo dos estados (up/down)
 (C)ustos operacionais dos estados
medidas (I)nvariantes no tempo
 medidas (V)ariantes no tempo
 diret(0)rio
 (D)imensao
 (F)im
 editor de (T)extos
 (R)ecalcular a diagonal da matriz
 reinicializar o programa

MTTR[11- xxxxx .xxxxx
 MTTR[2]» xxxxx .xxxxx
 MTTR[31» xxxxx .xxxxx
 MTTR[41» xxxxx .xxxxx
 MTTR[51» xxxxx .xxxxx
 MTTR[61» xxxxx .xxxxx
 MTTR[71» xxxxx .xxxxx
 MTTR[8 1= xxxxx .xxxxx
 MTTR[9 1» xxxxx .xxxxx
 MTTR[101- xxxxx .xxxxx
 MTTR[111» xxxxx .xxxxx
 MTTR[12 1- xxxxx .xxxxx
 MTTR[131» xxxxx .xxxxx
 MTTR[141» xxxxx .xxxxx
 MTTR[151- xxxxx .xxxxx
 MTTR[161» xxxxx .xxxxx
 MTTR[171» xxxxx .xxxxx

Dimensão» 50

MENSAGENS

PgUp -> Retrocede.

<< TEMPOS MEDIOS PARA REPARO >>

PgDn -> Avanca. Esc -> Finaliza.

FIGURA 3.39 - APRESENTAÇÃO DOS MTTR'S.

3.4.2.4 SALVAMENTO DAS MEDIDAS INVARIANTES:

A última opção do sub-menu das medidas invariantes no tempo, permite o salvamento em arquivo das medidas invariantes então calculadas. Esta opção supõe que as medidas tenham sido calculadas anteriormente, caso contrário valores nulos serão salvos.

A primeira solicitação, feita por esta opção ao usuário, é a definição do nome do arquivo onde deverão ser salvas estas informações (ver figura 3.40).

```
Dimensão» 50
_____1_____ MENSAGENS _____
                Arquivo de salda : Ç;MNVA,RIMK.V
```

FIGURA 3.40- SOLICITAÇÃO DE DEFINIÇÃO DO NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA

O nome de/aulí assumido para o arquivo de salda, será o nome do último arquivo de salda que tenha sido definido. Caso ainda não se tenha definido nenhum arquivo, o nome INVARI.MKV será assumido como cte/aulí. O path assumido pelo programa será sempre aquele a partir de onde o programa tenha sido chamado, ou o último path. que tenha sido definido.

Caso o arquivo de salda definido pelo usuário já exista no disco, a mensagem mostrada pela figura 3.41 será apresentada ao usuário. A autorização de sobreposição `slginlflca` que os dados serão gravados por cima do atual conteúdo da arquivo, que será perdido. A não autorização para a sobreposição retorna à condição de definição do nome do arquivo.

O pressionamento da tecla de ESCAPE cancela a leitura do arquivo de entrada de dados e retorna-se ao menu principal.

```
Dimensão» 50
                MENSAGENS
Arquivo de salda : Ç;MMVARI.MKV
Arquivo ja existente| Sobrepor (S/N):
```

FIGURA 3.41 - NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA JÁ EXISTENTE

Uma vez definido o nome do arquivo de salda, o programa inicia o salvamento dos dados colocando para o usuário a mensagem da figura 3.42.

```
Dimensão» 50
                                     MEN3AGENS
Salvando Medidas Invariantes... Aguarde 1
```

FIGURA 3.42 - MENSAGEM DE SALVAMENTO DAS MEDIDAS INVARIANTES.

O arquivo salvo contendo as medidas invariantes, é um arquivo tipo texto com o formato apresentado na figura 3.43.

```
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO - RESULTADOS
Numero de Estados do Sistema...» XXX
Disponibilidade do Sistema...» XX.XXXXXX (%)
Indisponibilidade do Sistema...» XX.XXXXXX (%)
Custo Operacional Médio
por unidade de tempo.....» $ XXXXXX.XX
P[1J-X.XXXX-(UP) MTTFt1J=XXXX.X MTTR[1]=XXXX.X $[1]»XXXXXX.XX
P[2]»X.XXXX      MTTF[2]»XXXX.X MTTR[2J»XXXX.X $[2]-XXXXXX.XX
P[3J=X.XXXX-(UP) MTTF[2]»XXXX.X MTTRt2]»XXXX.X $[2]=XXXXXX.XX
P[n]-X.XXXX      MTTF[n]=XXXX.X MTTR[n]»XXXX.X $[nJ»XXXXXX.XX
FIM
```

FIGURA 3.43 - FORMATO DO ARQUIVO DAS MEDIDAS INVARIANTES.

O formato numérico das probabilidades estacionárias e dos MTTF's e MTTR's, foram reduzidos para caberem na largura desta página. A gravação no arquivo entretanto, é realizada no formato completo, isto é, com todas as casas inteiras e decimais disponíveis.

3.4.3 MEDIDAS VARIANTES NO TEMPO:

O ambiente computacional fornece as seguintes medidas variantes no tempo:

- Confiabilidade do Sistema.
- Evolução no tempo da Disponibilidade do Sistema.
- Evolução no tempo das probabilidades de ocupação dos estados do Sistema.

Para a determinação destas medidas, deve ser escolhida a opção "medidas (V)ariantes no tempo" no menu principal. Será então apresentado ao usuário uma sub-menu conforme mostra a figura 3.44.

I AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1 |

```
(E)nterar sistema para analise
editar e(L)ementos da matriz
salvar (S)istema para arquivo
(P)robabilidades estacionarias
(A)tributo dos estados (up/down)
(C)ustos operacionais dos estados
medidas (I)nvariantes no tempo
medidas (V)ariante3 no tempo   (C)onfiabilidade      - RU)
dlret(O)rio                    (D)isponibilidade   - A(t)
(D)imensao                      (E)volucao das Probabilidades
(F)ira
editor de (T)extos
(R)ecalcular a diagonal da matriz
reinicializar o programa
```

Dimensão» 50

MENSAGEN3

FIGURA 3.44 - SUB-MENU DAS MEDIDAS VARIANTES NO TEMPO

3.4.3.1 CONFIABILIDADE DO SISTEMA:

Para o cálculo da confiabilidade do sistema, deve ser escolhida a opção "(C)onfiabilidade - R(t)" no sub-menu das medidas variantes.

Para prosseguir na determinação da confiabilidade, o ambiente computacional requisita ao usuário a definição de qual estado será o estado inicial do sistema (ver figura 3.45). A confiabilidade depende do estado inicial considerado. Além disto, o estado inicial deverá ser do tipo *UP*. Caso o estado inicial seja do tipo *DOWN*, embora o ambiente não indique êrro, a confiabilidade do sistema será nula.

```
Dimensão» 50
                                     MENSAGENS
ESTADO INICIAL -> [ 11
```

FIGURA 3.45 - DEFINIÇÃO DO ESTADO INICIAL PARA
O CÁLCULO DE R(t).

Após a definição do estado inicial, o ambiente solicita ao usuário definir o Intervalo de tempo durante o qual se deseja observar a confiabilidade, a partir do instante $t=0$. A figura 3.46 apresenta o formato desta requisição. Valores negativos ou nulo de tempo, serão interpretados pelo ambiente como desistência de prosseguir no cálculo da confiabilidade.

```
Dimensão» 50
                                     MENSAGENS
Intervalo de tempo : 0 a XXX.XXXX
```

FIGURA 3.46 - DEFINIR O INTERVALO DE OBSERVAÇÃO DE R(t).

Definido o intervalo de observação de R(t), o ambiente solicita ao usuário a definição do Incremento temporal (dt) a ser utilizado nos cálculos iterativos (Método de Euler [VIT.74]) da confiabilidade (ver figura 3.47).

O ambiente computacional utilizará o incremento temporal (dt) fornecido pelo usuário, sem efetuar testes sobre a qualidade dos resultados obtidos. Cabe exclusivamente ao usuário decidir qual valor de Incremento temporal será adequado á matriz das taxas de seu sistema. Por esta razão não está descartada a possibilidade de divergência no método iterativo de cálculo de R(t).

```
Dimensão» 50
"_____MENSAGENS
Intervalo de Tempo : 0 a XXX.XXXX
Incremento Temporal : 0 a X.XXXXXX
```

FIGURA 3.47 - DEFINIR O INCREMENTO TEMPORAL (dt).

Outra observação importante sobre estes tempⁿ que foram definidos, é a seguinte: Existe para cada tipo de interface gráfica, uma resolução horizontal definida pelo número de pontos presentes nesta dimensão. Eis alguns exemplos:

Tipo	Número de Pontos (Horizontal x Vertical)
CGA640 x 200
HGC720 x 348
VGA640 x 480

Este número de pontos na horizontal vezes o incremento temporal fornecido pelo usuário, definem um tempo máximo representável no eixo horizontal na tela. Com isto duas situações podem ocorrer:

- 1.0 intervalo de tempo de observação, definido pelo usuário, é menor que o tempo máximo representáveis Neste caso o ambiente computacional recalcula o incremento temporal 'dt' a fim de que o tempo de observação corresponda a total extensão do eixo horizontal.

2.0 Intervalo de tempo de observação, definido pelo usuário, é maior que o tempo máximo representável: Neste caso o ambiente computacional recalcula o tempo de observação para um múltiplo inteiro do tempo máximo representável, de tal forma que este múltiplo seja imediatamente superior ao tempo desejado de observação. Para compensar o efeito do tempo múltiplo, o número de iterações necessárias para o cálculo de um ponto, é multiplicado pelo fator de multiplicidade.

Seja o seguinte exemplo ilustrativo:

Interface de vídeo HGC:720 pontos horizontais.

São utilizados 4% destes pontos para ceder espaço a numeração do eixo vertical. Restam úteis para o traçado do gráfico, apenas 692 pontos.

Sejam então os valores:

Caso 1. $T=5$ e $dt=0.01$:

Máximo Representável = $692 \times 0.01 \Rightarrow 6.92$

Como T é menor que $6.92 \Rightarrow$ recalcula-se dt para:

$$dt = 5/692 = 0.0072254$$

Caso 2. $T=8$ e $dt=0.01$:

Como T é maior que $6.92 \Leftrightarrow$ recalcula-se T para:

$T = 2 \times 6.92 = 13.84$ e faz-se duas iterações para cada ponto traçado no gráfico

Por estes motivos os valores na escala de tempo podem diferir daqueles Inicialmente definidos pelo usuário.

Após a definição dos tempos (T e dt), solicita-se ao usuário definir um nome de arquivo para armazenar os pontos calculados do gráfico da confiabilidade (ver figura 3.48).

Dimensão» 50

MENSAGENS

Arquivo para guardar resultados : C:\CONFIA.MKV
Esc • NAO gerar arquivo de resultados.

FIGURA 3.48 - DEFINIR ARQUIVO PARA SALVAMENTO DE R (t)

O nome default assumido para o arquivo de salda, será o nome do último arquivo de salda que tenha sido definido. Caso ainda não se tenha definido nenhum arquivo, o nome CONFIA.MKV será assumido como default. O path assumido pelo programa será sempre aquele a partir de onde o programa tenha sido chamado, ou o último path. que tenha sido definido.

Caso o arquivo de salda definido pelo usuário já exista no disco, a mensagem mostrada pela figura 3.49 será apresentada ao usuário. A autorização de sobreposição significa que os dados serão gravados por cima do atual conteúdo da arquivo, que será perdido. A não autorização para a sobreposição retorna à condição de definição do nome do arquivo.

Dimensão» 50

MENSAGENS

Arquivo para guardar resultados : C:\CONFIA.MKV
Arquivo ja existel. Sobrepor (S/N): .

FIGURA 3.49 - NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA JÁ EXISTENTE

O salvamento tabular da confiabilidade é opcional, Pressionando-se ESC cancela-se este salvamento, e dá-se prosseguimento ao traçado do gráfico representativo da conflagllidade.

A figura 3.50 apresenta o formato do retículo gráfico de apresentação da confiabilidade calculada. Ambas as escalas, vertical e horizontal, são representadas por 10 divisões. Uma divisão na escala vertical corresponderá sempre a 0.1 de probabilidade. O tempo equivalente a uma divisão na escala horizontal dependerá da definição do usuário e de um possível reajuste executado pelo ambiente computacional, conforme visto anteriormente.

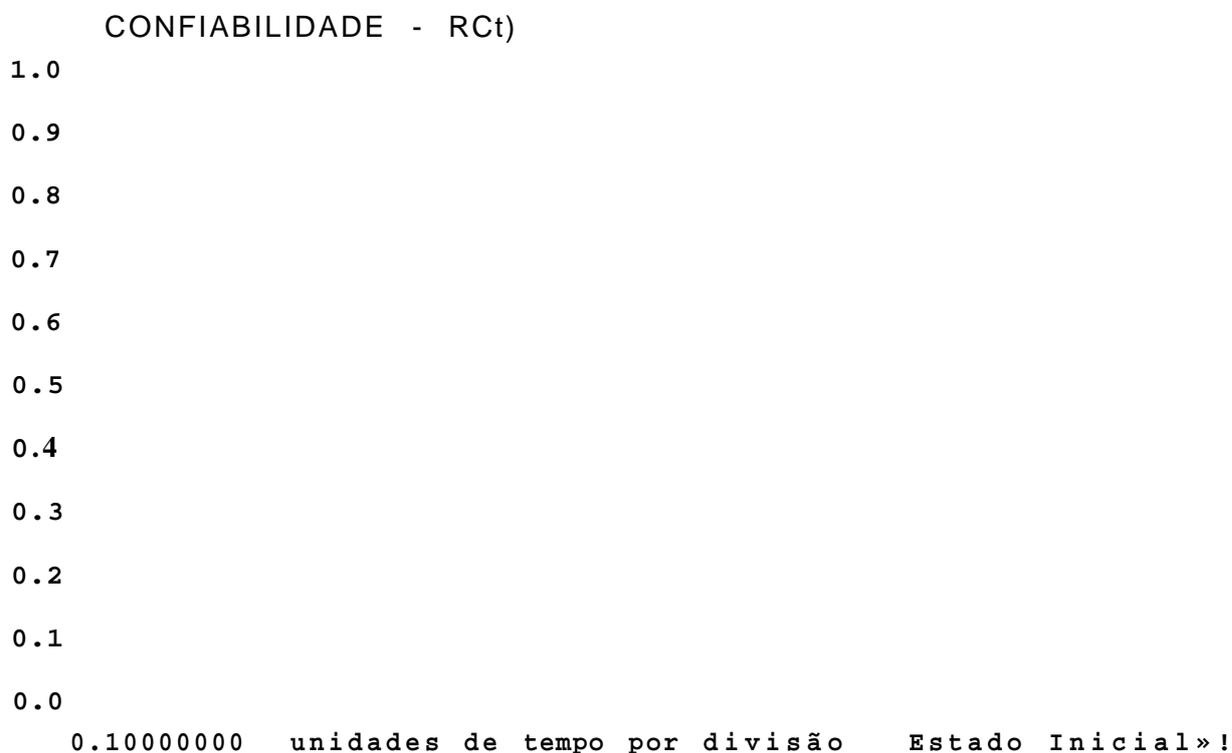


FIGURA 3.50- FORMATO DE TELA PARA O TRAÇADO DA CONFIABILIDADE

3.4,3.2 EVOLUÇÃO TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE DO SISTEMA:

Normalmente existe um maior interesse na disponibilidade estacionária (ou assintótica) do sistema, ou seja, a proporção de tempo em que o sistema está funcionando adequadamente. Esta proporção de tempo, entretanto, refere-se a um valor médio tomado a longo prazo. Para intervalos de tempo muito próximos ao início da operação do sistema, este valor perde um pouco o seu significado.

Viu-se que a disponibilidade assintótica é a probabilidade, a longo prazo, do sistema estar ocupando um estado do tipo *UP*, e o seu valor foi calculado simplesmente somando-se as probabilidades estacionárias de ocupação dos estado *UP*. Se em lugar de somar as probabilidades estacionárias, fosse realizada a soma dos valores instantâneos das probabilidades de ocupação dos estados *UP*, o resultado seria a evolução no tempo da disponibilidade do sistema. É exatamente isto o que faz a opção "(D)isponibilidade - $\hat{A}(t)$ " das medidas variantes. Escolhendo-se esta opção, o ambiente computacional requisita ao usuário a definição de qual será o estado inicial do sistema (ver figura 3.45). Observe-se que o valor estacionário da disponibilidade será o mesmo independente do estado (*UP*) inicial escolhido, entretanto sua evolução em direção a estacionaridade dependerá do estado inicial.

Após a definição do estado inicial, o ambiente computacional requisita ao usuário a definição do tempo total de observação (*T*) e do incremento temporal (*dt*) a serem utilizados. Estas requisições se dão de maneira análoga a descrita para o caso da confiabilidade (ver figuras 3.46 e 3.47). Todas as observações relativas aos tempos *T* e *dt* citadas anteriormente para o caso da confiabilidade, permanecem válidas.

Após a definição dos tempos (*T* e *dt*), solicita-se ao usuário definir um nome de arquivo para armazenar os pontos calculados do gráfico da confiabilidade (ver figura 3.51).

Dimensão- 50

MENSAGENS

Arquivo para guardar resultados : C:\DISPON.MKV
Esc - NAO gerar arquivo de resultados.

FIGURA 3.51 - DEFINIR ARQUIVO PARA SALVAMENTO DE $\hat{A}(t)$.

O nome *d&a.ult* assumido para o arquivo de salda, será o nome do último arquivo de salda que tenha sido definido. Caso ainda não se tenha definido nenhum arquivo, o nome *DISPON.MKV* será assumido como *default*. O *patfx* assumido pelo programa será sempre aquele a partir de onde o programa tenha sido chamado, ou o último *path* que tenha sido definido.

Caso o arquivo de salda definido pelo usuário já exista no disco, a mensagem mostrada pela figura 3.52 será apresentada ao usuário. A autorização de sobreposição significa que os dados serão gravados por cima do atual conteúdo do arquivo, que será perdido. A autorização para a sobreposição retorna à condição de definição do nome do arquivo.

Dimensão- 50

«————— MENSAGENS —————»

Arquivo para guardar resultados : C:\DI3PQN.MKV
Arquivo já existe! Sobrepor (S/N): .

FIGURA 3.52 - NOME DO ARQUIVO DA SAÍDA JÁ EXISTENTE.

O salvamento tabular da disponibilidade é opcional. Pressionando-se *ESC* cancela-se este salvamento, e dá-se prosseguimento ao traçado do gráfico representativo da disponibilidade.

A figura 3.53 mostra o formato de apresentação da disponibilidade. Ambas as escalas, vertical e horizontal, são representadas por 10 divisões. Uma divisão na escala vertical corresponderá sempre a 0.01 de probabilidade, variando de 0.9 a 1.0. O tempo equivalente a uma divisão na escala horizontal dependerá da definição do usuário e de um possível reajuste executado pelo ambiente computacional, conforme visto anteriormente.

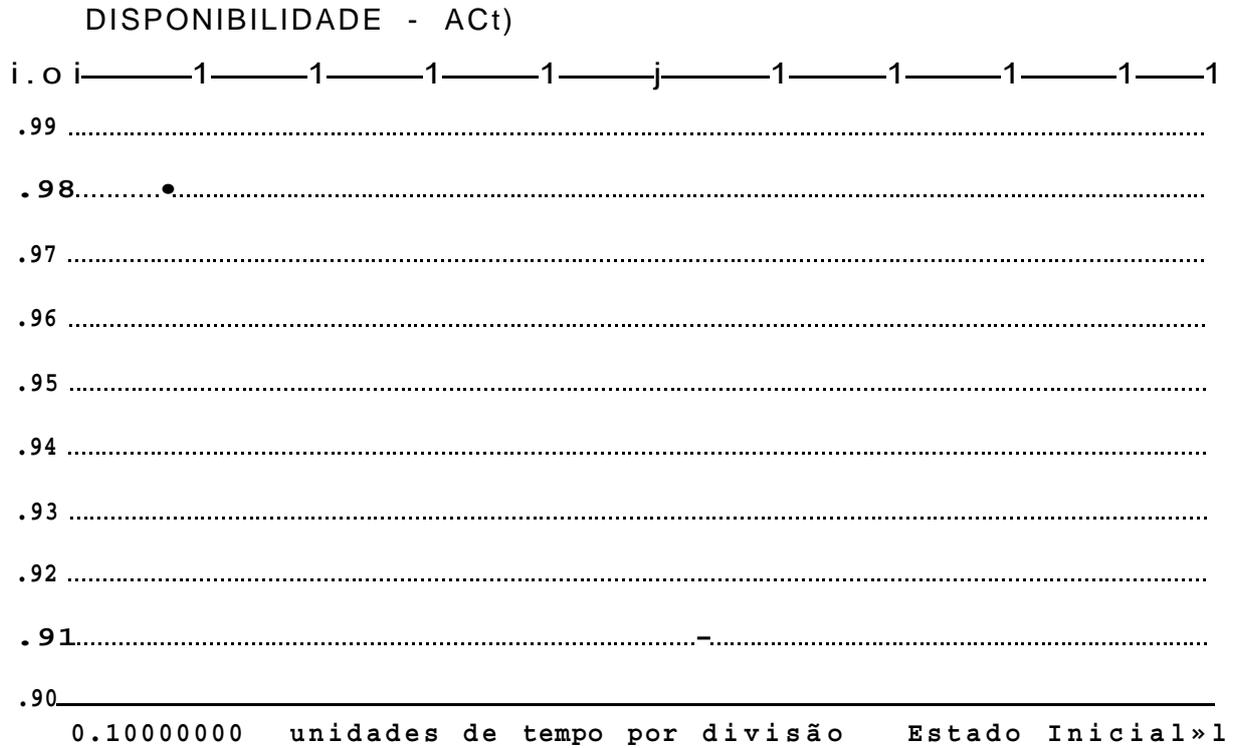


FIGURA 3.53- FORMATO DE TELA PARA O TRAÇADO
DA DISPONIBILIDADE

3.4.3.3 EVOLUÇÃO TEMPORAL DAS PROBABILIDADE DE OCUPAÇÃO DOS ESTADOS:

Normalmente um maior interesse nas probabilidades estacionária do sistema, ou seja, na proporção de tempo em que o sistema estará ocupando cada possível estado. Esta proporção de tempo entretanto, refere-se a um valor médio tomado a longo prazo. Para intervalos de tempo muito próximos ao início da operação do sistema, este valor perde o seu significado.

Em algumas situações pode se tornar importante conhecer como evolui no tempo as probabilidades de ocupação dos diversos estados de um sistema. A opção "(E)volução das Probabilidades" no menu das medidas variantes no tempo proporciona esta flexibilidade.

A situação inicial do sistema, a partir da qual se deseja observar a evolução das probabilidades de ocupação, vai além da

mera definição de um estado de partida inicial. O ambiente computacional permite ao usuário definir as probabilidades iniciais de ocupação de cada estado, em vez de concentrar toda a probabilidade inicial em apenas um estado.

Após a seleção da opção "(E)volução das Probabilidades", é solicitado ao usuário definir a partir de qual estado será iniciada a definição das probabilidades iniciais de ocupação (ver figura 3.54).

Dimensão» 50

MENSAGENS

DEFINIR AS PROBABILIDADES INICIAIS. Iniciar definição em P[JJ

FIGURA 3.54 - SOLICITAÇÃO DE DEFINIÇÃO DAS PROBABILIDADES INICIAIS DE OCUPAÇÃO DOS ESTADOS.

Conforme visto anteriormente, este questionamento inicial pode ser útil em sistema com grande número de estados. Após esta definição, apresenta-se ao usuário a tela para a entrada das probabilidades iniciais, exemplificada pela figura 3.55. Nesta tela temos que definir, para cada estado do sistema, duas grandezas associadas. A primeira é a probabilidade inicial de ocupação daquele estado. A segunda é a seleção, ou não, daquele estado para ter sua probabilidade de ocupação traçada graficamente. Para sistemas com grande número de estados, podemos selecionar apenas aqueles estados onde há interesse na visualização da evolução de suas probabilidades. Escolhendo-se 'Y' seleciona-se aquele estado, enquanto que 'N' significa sua não seleção.

Ao se definir as probabilidades iniciais de ocupação dos estados, o sistema computacional não confere se o somatório resulta na unidade. Este cuidado deve ser tomado pelo próprio usuário.

	P[1]	-1 .000	TRAÇAR(Y/N)		Y
(E)ntrar sistema para analise	P12J	-0 .000	TRAÇAR(Y/N)		N
editar e(L)ementos da matriz	PC 3]	-0 .000	TRAÇAR(Y/N)		N
salvar (S)istema em arquivo	P[4]	•0 .000	TRAÇAR(Y/N)		N
(P)robabilidades estacionarias	P[5]	«0 .000	TRAÇAR(Y/N)		Y
(A)tributo dos estados (up/down)	Pt6]	-0 .000	TRAÇAR(Y/N)		Y
(C)ustos operacionais dos estados	P[7]	-0 .000	TRAÇAR(Y/N)		N
medidas (I)nvariantes no tempo	P[8]	»0 .000	TRAÇAR(Y/N)		N
medidas (V)ariantes no tempo	P19]	»0 .000	TRAÇAR(Y/N)		N

dlret(0)rlo
(D)imensao
(F)ira
editor de (T)extos
(R)ecalcular a diagonal da matriz
reinicializar o programa

Dimensão:

MENSAGENS

PgUp -> Retrocede. << PROBABILIDADES INICIAIS >>
PgDn -> Avanca. Esc -> Finaliza.

FIGURA 3.55 - DEFINIÇÃO DAS PROBABILIDADES INICIAIS DE OCUPAÇÃO DOS ESTADOS

No exemplo apresentado pela figura 3.55, o usuário partiu o sistema no estado '1' e deseja visualizar a evolução das probabilidades de ocupação apenas dos estados '1', '5' e '6'.

Após a definição do estado Inicial, o ambiente computacional requisita ao usuário a definição do tempo total de observação (T)- e do Incremento temporal (dt) a serem utilizados. Estas requisições se dão de maneira análoga a descrita para o caso da confiabilidade (ver figuras 3.46 e 3.47). Todas as observações relativas aos tempos T e dt citadas anteriormente para o caso da confiabilidade, permanecem válidas.

Após a definição dos tempos (T e dt), é solicitado ao usuário definir um nome de arquivo para armazenar os pontos calculados do gráfico da evolução temporal das probabilidades (ver figura 3.56).

Dimensão» 50

MENSAGENS

Arquivo para guardar resultados : C:\EVOTEM.MKV
Esc • NAO gerar arquivo de resultados.

FIGURA 3.56 - DEFINIR ARQUIVO PARA SALVAMENTO DA EVOLUÇÃO DAS
PROBABILIDADES DE OCUPAÇÃO DOS ESTADOS.

O nome *default* assumido para o arquivo de salda, será o nome do último arquivo de salda que tenha sido definido. Caso ainda não se tenha definido nenhum arquivo, o nome **EVOTEM.MKV** será assumido como *default*. O *path*. assumido pelo programa será sempre aquele a partir de onde o programa tenha sido chamado, ou o último *path*. que tenha sido definido.

Caso o arquivo de salda definido pelo usuário já exista no disco, a mensagem mostrada pela figura 3.57 será apresentada ao usuário. A autorização de sobreposição significa que os dados serão gravados por cima do atual conteúdo da arquivo, que será perdido. A não autorização para a sobreposição retorna à condição de definição do nome do arquivo.

Dimensão» 50

MENSAGENS

Arquivo para guardar resultados : C:\EVQTEM.MKV
Arquivo ja existel. Sobrepor (S/N): .

FIGURA 3.57 - NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA JÁ EXISTENTE.

O salvamento tabular das probabilidades é opcional. Pressionando-se ESC cancela-se este salvamento, e dá-se prosseguimento ao traçado do gráfico representativo da evolução das mesmas.

A figura 3.58 mostra o formato de apresentação da evolução das probabilidades. Ambas as escalas, vertical e horizontal, são representadas por 10 divisões. Uma divisão na escala vertical corresponderá sempre a 0.1 de probabilidade, variando de 0.0 a 1.0. O tempo equivalente a uma divisão na escala

horizontal dependerá da definição do usuário e de um possível reajuste executado pelo ambiente computacional, conforme visto anteriormente.

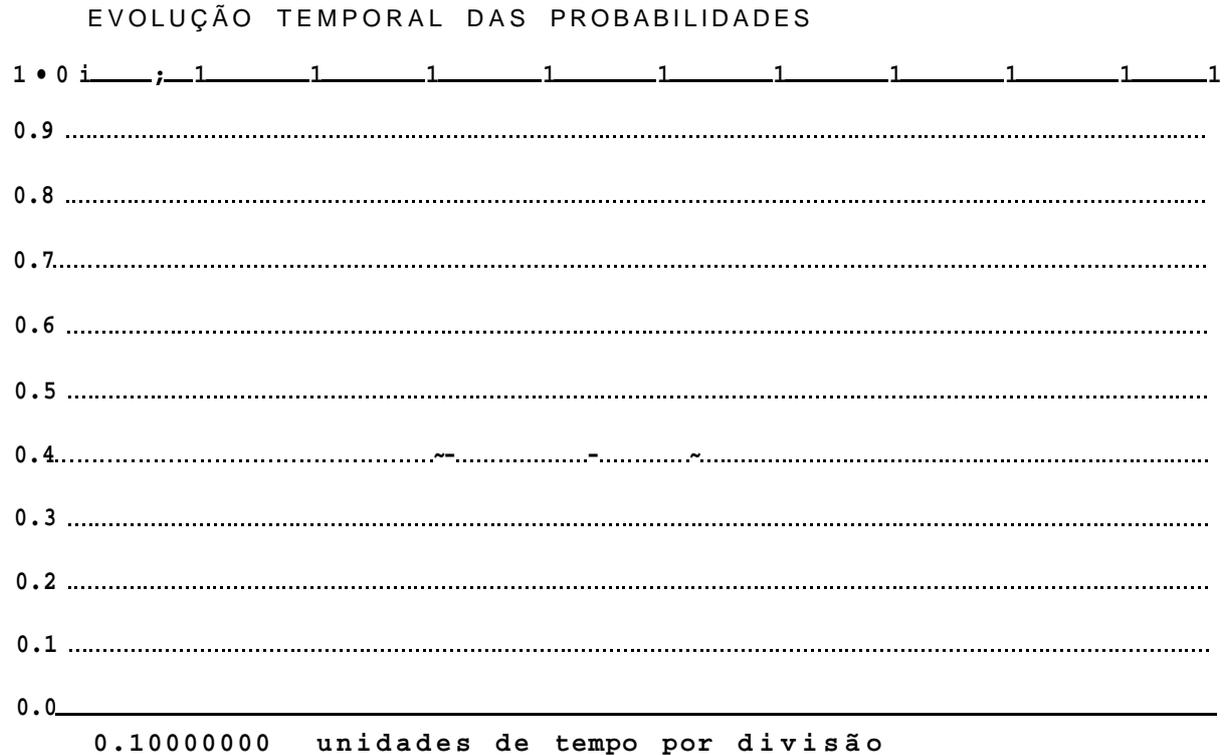


FIGURA 3.58- FORMATO DE TELA PARA O TRAÇADO
DAS PROBABILIDADES

3.5 DIRETÓRIO:

É possível a visualização do conteúdo de diretórios do sistema operacional sem a necessidade de sair do ambiente computacional. A opção "dlret(0)rlo" no menu principal propicia esta facilidade.

Após a seleção desta opção no menu principal é solicitado ao usuário definir uma especificação para a procura de arquivos. A figura 3.59 apresenta esta solicitação.

A especificação cte/ault assumida será a última especificação que tenha sido definida anteriormente. Caso ainda não se tenha definido nenhuma especificação, o de/auit assumido será "*.*" , associado ao path. a partir de onde o programa tenha sido carregado.

Dimensão» 50

DIRETÓRIO MENSAGENS
Especificação : C:*.*

FIGURA 3.59 - MASCARA PARA A OPÇÃO DIRETÓRIO
DO MENU PRINCIPAL.

Quando nenhum arquivo satisfaz ao path + máscara especificado, a mensagem da figura 3.60 é apresentada ao usuário, caso contrário os arquivos que satisfizeram as condições são apresentados numa janela em video reverso no lado direito da tela. A figura 3.61 exemplifica esta condição.

Dimensão» 50

MENSAGENS
NENHUM ARQUIVO SATISFAZENDO A
ESPECIFICAÇÃO FOI ENCONTRADO.

FIGURA 3.60 - NENHUM ARQUIVO SATISFAZ A ESPECIFICAÇÃO

AValiação DE DESEMPENHO DE SISTEMAS MARKOVIANOS— VI.8

	FILE_1.TXT	FILE_2 .TXT	FILE_3 .TXT
(E)ntrar sistema para	FILE_4 .TXT	FILE_5 .TXT	FILE_6 .TXT
editar e(L)ementos da	FILE_7 .TXT	FILE_8 .TXT	FILE_9 .TXT
3alvar (S)istema em ar	FILE_10.TXT	FILE_11 .TXT	FILE_12 .TXT
(P)robabilidades estac	FILE_13.TXT	FILE_14 .TXT	FILE_15 .TXT
(A)tributo dos estados	FILE_16.TXT	FILE_17 .TXT	FILE_18 .TXT
(C)ustos operacionais	FILE_19.TXT	FILE_20 .TXT	FILE_21 .TXT
medidas (I)nvariantes	FILE_22.TXT	FILE_23 .TXT	FILE_24 .TXT
medidas (V)ariantes no	FILE_25.TXT	FILE_26 .TXT	FILE_27 .TXT
dlret(O)rio	FILE_28.TXT	FILE_29 .TXT	FILE_30 .TXT
(D)imensao	FILE_31.TXT	FILE_32 .TXT	FILE_33 .TXT
(F)im	FILE_34.TXT	FILE_35 .TXT	FILE_36 .TXT
editor de (T)extos	FILE_37.TXT	FILE_38 .TXT	FILE_39 .TXT
(R)ecalcular a diagona	FILE_40.TXT	FILE_41 .TXT	FILE_42 .TXT
reinicializar o progra	FILE_43.TXT	FILE_44 .TXT	FILE_45 .TXT
	Continua.. .		

Dimensão'

MENSAGENS
Pressione qualquer tecla para prosseguir ou ESC para terminar

FIGURA 3.61 - APRESENTAÇÃO DOS ARQUIVOS QUE SATISFIZERAM A
ESPECIFICAÇÃO.

São apresentados até um máximo de 45 arquivos por vez na tela. Caso o número de arquivos que satisfaz a especificação for superior a este, subsequentes telas, tantas quanto necessário, serão apresentadas. Pressionando a tecla de ESC interrompe-se o processo, e o comando é devolvido ao menu principal.

3.6. EDITOR DE TEXTOS:

A opção "editor de (T)extos" no menu principal, permite ao usuário a execução de um editor de textos externo ao ambiente computacional, sem a necessidade de se abandonar este ambiente.

Após a seleção desta opção no menu principal, solicita-se ao usuário definir o "path +nome" do editor de textos que se deseja executar (ver figura 3.62). Será tomado como *default* o último "path +nome" que tenha sido definido. Caso nenhum "path +nome" tenha sido anteriormente definido, o nome *default* assumido será E.COM, e o path será aquele a partir do qual o programa tenha sido carregado.

Quando o ambiente computacional chama à execução o editor de textos selecionado, ele acrescenta em sua linha de comando o nome SYSENT.MKV (ou o nome do último arquivo de entrada de dados lido pelo ambiente). Aqueles editores que aceitam o nome do arquivo a ser editado em sua linha de comando, já entrarão com o arquivo SYSENT.MKV (ou o último que foi lido) carregado em sua área de trabalho (SYSENT.MKV é o nome *default* para o arquivo de entrada de dados, visto anteriormente). Isto foi implementado com a finalidade de se ganhar tempo, pois na maioria das vezes o arquivo que se deseja editar é o último arquivo de definição de sistema que foi lido.

Dimensão- 50

_____ MENSAGENS
Nome do Editor de Textos : C:\E.COM

FIGURA 3.62 - DEFINIÇÃO DO EDITOR DE TEXTOS.

Caso o editor de textos especificado não seja localizado, nenhuma mensagem de erro será reportada ao usuário, apenas o controle será devolvido ao menu principal.

3.7. RECALCULAR A DIAGONAL DA MATRIZ DAS TAXAS:

Algumas vezes o usuário modifica os elementos da matriz das taxas atuando diretamente nesta matriz, de dentro do próprio ambiente computacional. Um outro método seria modificar na matriz de entrada de dados e promover uma nova leitura da mesma.

A fim de desobrigar o usuário da preocupação com os ajustes dos elementos da diagonal principal, foi incluída no menu principal a opção "(R)ecalcular a diagonal da matriz".

3.8. REINICIALIZAÇÃO:

A opção "reinicializar o programa" disponível no menu principal permite recomeçar a execução do programa de forma equivalente a uma nova execução do mesmo.

Selecionada esta opção, todas as variáveis utilizadas na definição do sistema são reinicializadas. Matriz das Taxas, e Custos são zerados. Os Atributos dos estados são todos tornados *DOWN*.

A fim de evitar reinicializações indesejadas, o acesso a esta opção do menu principal só poderá ser feita através das teclas de movimento de cursor. Propositamente não foi associada a esta opção nenhuma tecla "quente".

3.9. FINALIZAÇÃO:

A saída do ambiente computacional e retorno ao sistema operacional só poderá ser feita através da opção "(F)im" do menu principal. Escolhida esta opção, é apresentado ao usuário

um sub-menu conforme mostrado pela figura 3.63. A opção "SAÍDA DO PROGRAMA" concretiza a finalização do ambiente computacional, enquanto que a opção "RETORNAR" cancela esta execução.

I AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS -V2.1 ||

```
(E) ntrar sistema para analise
editar e(L)ercentos da matriz
salvar (S)istema em arquivo
(P)robabilidades estacionarias
(A)tributo dos estados (up/down)
(C)ustos operacionais dos estados
medidas (I)nvariantes no tempo
medidas (V)ariantes no tempo
diret(0)rio
II(D)imensao
(F)ira
editor de (T)extos
(R)ecalcular a diagonal da mat
reinicializar o programa          SAIDA DO PROGRAMA
                                   RETORNAR
Dimensão» 50
```

MENSAGENS

FIGURA 3.63 - SUB-MENU DE FINALIZAÇÃO DO AMBIENTE COMPUTACIONAL.

3.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme visto neste capítulo, o ambiente computacional apresenta uma interface homem-máquina bastante amigável. A objetividade dos menus e sub-menus parece dispensar a necessidade de opções de "ajuda" {*help*} normalmente presentes em ambientes similares.

Neste capítulo, o nível de detalhamento e redundância das informações foi propositalmente escolhido de forma a permitir que o mesmo possa ser empregado como um 'Manual do Usuário' deste ambiente computacional.

CAPÍTULO IV
UM EXEMPLO DE AVALIAÇÃO

4,1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo descreve, a título de exemplo, uma avaliação de segurança de funcionamento realizada em um sistema hipotético.

O sistema proposto para análise é composto por dois computadores operando em redundância. Apenas um computador por vez está conectado ao usuário. O chaveamento entre computadores é automático e controlado por circuitos de detecção de falhas.

O estudo do sistema compreende desde a modelagem do mesmo até a análise de sensibilidade de alguns parâmetros. Políticas de manutenção são também abordadas.

4,2 SISTEMA A SER AVALIADO

O sistema proposto é composto de dois computadores (A e B) operando em redundância dinâmica (figura 4.1). Os computadores são alimentados simultaneamente com as mesmas informações de entrada, e apenas um deles fornece serviço ao usuário.

O interesse do estudo é a avaliação do sistema com relação aos módulos A e B, que representam os dois computadores. O centro de comutação recebe informação dos circuitos de detecção de falhas, para decidir qual computador ele irá conectar ao usuário. Havendo indicação de falha de um computador, o circuito de detecção desconecta o computador defeituoso e conecta o outro computador ao usuário, a menos que haja indicação de falha também para este. Neste caso, o usuário não será atendido.

O circuito de detecção de falhas tem a tarefa de supervisionar o funcionamento dos módulos processador mais memória e transmissão de contexto. O circuito de detecção de falhas detecta apenas falhas de funcionamento no hardware destes módulos, mas não detecta erros de transmissão de contexto entre computadores.

A operação de transmissão de contexto ocorre apenas durante a inicialização de um computador. Por exemplo, após a realização de uma manutenção preventiva/corretiva, quando o

computador é religado, ocorre uma transmissão de contexto entre o computador que já se encontrava em operação e o que está em re inicialização.

4.3 MODELAGEM DO SISTEMA

A modelagem do sistema consiste no estabelecimento da cadeia de Markov de parâmetro contínuo. Isto é feito cora o conhecimento dos estados que o sistema pode ocupar e cora o conhecimento dos eventos (ou processos) que provocam a transição entre estados.

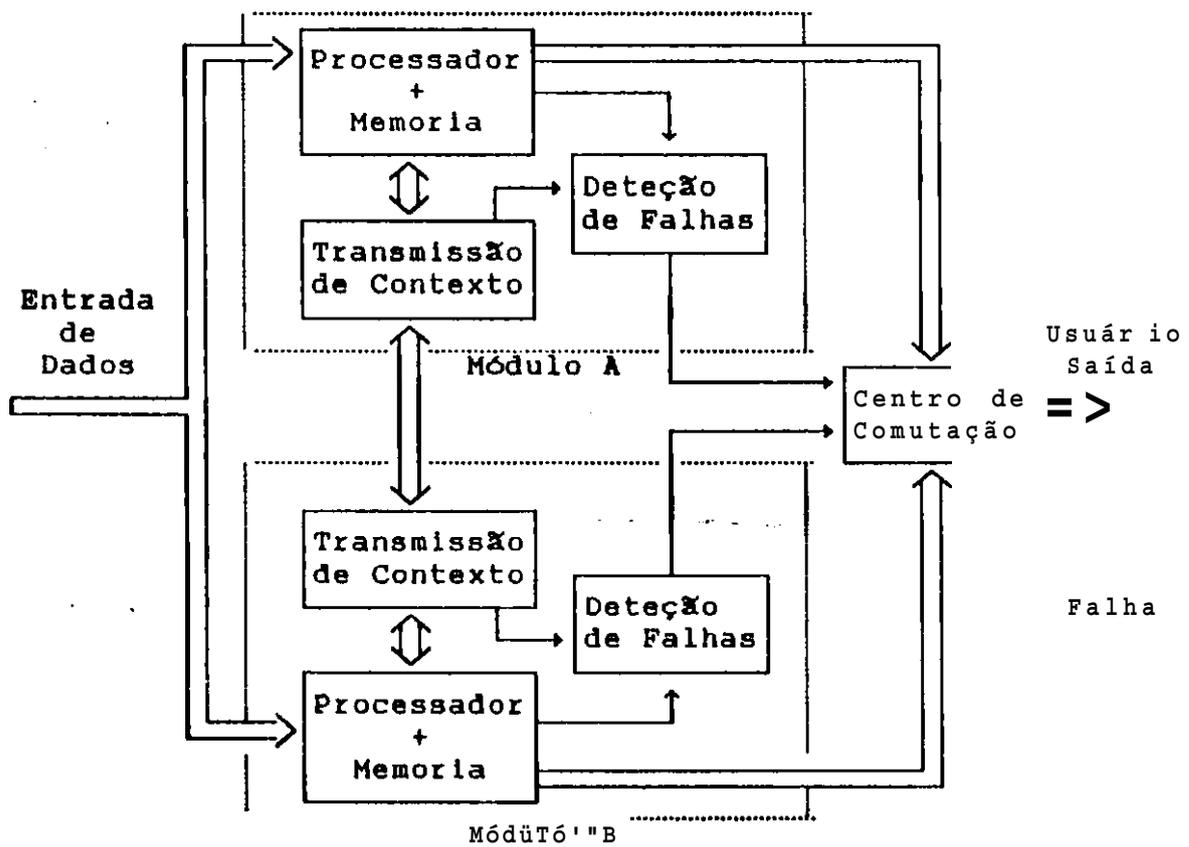


FIGURA 4.1 DOIS COMPUTADORES OPERANDO EM REDUNDÂNCIA DINÂMICA.

Na análise, os eventos envolvidos são modelados por variáveis aleatórias cora distribuição de probabilidade exponencial, e portanto, definidos apenas por suas taxas. Serão considerados os seguintes parâmetros associados ao sistema:

X. - Taxa de Falhas de um Computador- esta taxa inclui o efeito conjunto de falha de *hardware* dos módulos integrados do computador: Processador, memória e transmissor de contexto. Para simplificação da análise, será considerado que o circuito de detecção de falha e o centro de comutação são imunes a falhas, isto é, suas taxas de falhas são tão pequenas que os mesmos provavelmente não irão falhar durante a vida útil dos restantes dos equipamentos.

t_i - Taxa de Reparação de ura Computador - esta taxa inclui os tempos adicionais envolvidos numa manutenção, tais como: tempo de preparação, deslocamento, detecção, substituição e reinicialização do equipamento.

$P_{d.}$ - Probabilidade do Circuito de Detecção detetar uma falha de *hardware* dado que uma falha de *luardware* tenha ocorrido. Conhecida como FATOR DE COBERTURA.

P^{\wedge} - Probabilidade de que a transferência do contexto ocorra sem erro.

T^{\wedge} - Tempo médio em que o usuário percebe uma falha de *hardware* no computador que o serve, dado que a falha não foi detectada pelo circuito de detecção. Define-se $H-1/T^{\wedge}$ como a taxa de detecção de falha de *hardware* pelo usuário.

T - Tempo médio em que o usuário percebe uma falha de contexto no computador que o serve. Define-se $C \ll 1/T$ como a taxa de detecção de falha de contexto pelo usuário.^G

4.3.1 CONJUNTO DE ESTADOS

Para identificar o conjunto de estados do sistema, é necessário inicialmente conhecer os estados que podem ser assumidos pelos seus componentes. Os estados dos componentes são identificados ou definidos por um conjunto de variáveis de estados. Serão consideradas na análise as seguintes variáveis de estado:

- a-SITUAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DO *HARDWARE*: Bom ou Defeituoso
- b-SITUAÇÃO DO CONTEXTO: Correto ou Inadequado
- c-SITUAÇÃO DE CHAVEAMENTO: Conectado ou Não ao usuário
- d-SITUAÇÃO DE MANUTENÇÃO: Em Manutenção ou Fora de Manutenção

4

Quatro variáveis de estado, binárias, significam $2^4 = 16$ estados possíveis para cada computador do sistema. Entretanto, nem todos os estados teoricamente existentes são possíveis de acontecer. Por exemplo, estando o *hardware* defeituoso não pode-se ter um contexto adequado, ou então, estando em manutenção não pode-se estar com o *hardware* bom (aqui se está considerando apenas manutenções corretivas) etc.

De forma semelhante aos estados individuais de cada computador, nem todos os estados teoricamente possíveis do sistema podem ser alcançados. Por exemplo, como se admitiu que o Centro de Manutenção não está sujeito a falhas, a situação de se ter os dois computadores simultaneamente conectados ao usuário nunca acontecerá.

Antes de prosseguir na simplificação dos estados, será definida uma simbologia que permita uma referência simplificada aos diversos estados do sistema:

A representa o computador 'A'

B representa o computador 'B'.

A e B " representam respectivamente o computador 'A' e 'B' com o *hardware* defeituoso.

(A) e (B) ~ representam respectivamente o computador 'A' e 'B' com o contexto inadequado.

A e B - representam respectivamente o computador 'A' e 'B' conectado ao usuário.

\ ° 3» - representam respectivamente o computador 'A' e 'B' em manutenção.

E além disto, as convenções de simbologia assim definidas podendo serem combinadas entre si, por exemplo:

- CA) ~ representa a situação em que o computador 'A' está conectado ao usuário, e está com o contexto inadequado.
- B_m - representa a situação em que o computador 'B' está com hardware defeituoso e se encontra em manutenção.
- $A \bar{B}$ - representa a situação em que o computador 'A' está perfeito e conectado ao usuário, enquanto o computador 'B' está quebrado e sendo reparado.
- $A \bar{C} B$ ~ representa a situação em que o computador 'A*' está quebrado e o defeito apresentado não foi detectado pelo circuito de detecção (Caso contrário ele estaria em manutenção), e o computador 'B' está conectado ao usuário cora o contexto inadequado.

REDUÇÃO DO NUMERO DE ESTADOS DE CADA COMPUTADOR:

A seguir apresentam-se os estados que serão eliminados juntamente com a hipótese admitida para a sua eliminação:

(Obs : X está representando A ou B«)

X_m - Não haverá manutenção sem que o hardware esteja defeituoso.

$X^{A*} \bar{X}_m$, \bar{X}_m , \bar{X}_m Computadores em manutenção serão sempre desconectados do usuário.

(X) , (X) - CX)_m -Uma vez o *hardware* defeituoso, o contexto sempre será considerado inadequado, e portanto torna-se dispensável explicitar.

CX)_m ~ Estando em manutenção subteende-se que o computador está desligado, e portanto perde-se o sentido de contexto.

RESTAM OS SEGUINTEs C7) ESTADOS POSSÍVEIS PARA CADA COMPUTADOR:

TABELA 4.1. POSSÍVEIS ESTADOS DE UM COMPUTADOR

X	Computador em perfeito estado e não conectado ao usuário.
X	Computador em perfeito estado e conectado ao usuário.
CX)	Computador com <i>hardware</i> bom e contexto inadequado, mas não conectado ao usuário.
(X)	Computador com <i>hardware</i> bom e contexto inadequado e conectado ao usuário.
X	Computador com <i>hardware</i> defeituoso e não conectado ao usuário.
X	Computador com <i>hardware</i> defeituoso e conectado ao usuário.
	Computador com <i>hardware</i> defeituoso e em manutenção.

REDUÇÃO DO NUMERO DE ESTADOS DO SISTEMA:

Os sete estados possíveis de cada computador originariam em princípio $7 \times 7 = 49$ estados para o sistema. Entretanto, uma parte destes estados são inatingíveis conforme apresentado a seguir, juntamente com as justificativas associadas:

1. Todos os 9 possíveis estados do sistema gerados pela combinação entre os seguintes estados dos computadores:

A, CA) e A com B, (B) e B

serão descartados, pois é assumido que o Centro de Comutação conecta apenas um computador por vez ao usuário. Como por hipótese o Centro de Comutação é imune a falhas, estes estados são inatingíveis.

2. Todos os 15 possíveis estados do sistema gerados pela combinação entre os seguintes estados dos computadores:

A, (A) e A com B, CB) e B

A_m com B, (B) e B

B_m com A, CA) e A

serão descartados pois é assumido que não havendo indicação de falha pelo circuito de detecção, o Centro de Comutação assumirá os computadores em perfeito funcionamento e conectará um deles para atendimento ao usuário. Desta forma não é possível acontecer que com pelo menos um dos computadores sem indicação de falha, o usuário não esteja sendo atendido.

3. O Centro de Comutação ao detectar uma falha no computador que está atendendo ao usuário, promoverá o chaveamento para o outro computador (caso não exista indicação de falha para este) e sinalizará ao usuário para que se inicie o procedimento de manutenção. Após a conclusão da manutenção ocorre a transferência de contexto entre o computador que está conectado ao usuário (que pode estar bom ou com defeito não detectado) e o que acabou de ser reparado. Neste momento existe a possibilidade de erro na transmissão do contexto. Caso isto ocorra, teremos um computador com o contexto inadequado e o outro conectado ao usuário. Para que o computador que está com o contexto inadequado seja chaveado para atender ao usuário é preciso que o computador que atualmente atende usuário falhe, sendo ou não detectada sua falha. Portanto não é possível atingir um estado onde tem-se um computador bom e outro com o contexto inadequado e conectado ao usuário.

Assim os 2 estados a seguir são inatingíveis:

(A)B e ACB)

EM RESUMO:

Considerando as observações feitas acima, têm-se 4-9 - $(9+15+2) \cdot 23$ possíveis estados para o sistema, discriminados a seguir:

A B , A B . A B . A B , A B , AB , A B , A B

CA)B . ACB) . ACB) , CA)B . CAXB) . CAXB) , CA)B . ACB)

A_mCB) , CA) B_m , $\tilde{A}_m B$, A B_m . $\tilde{A}_m B$. $\tilde{A} B_m$. $\tilde{A}_m B_m$

AGREGAÇÃO DE ESTADOS DO SISTEMA:

Toda a análise deste sistema poderia perfeitamente ser realizada considerando-se os 23 estados já discriminados. Entretanto normalmente não é de interesse identificar o estado particular de cada computador, mas sim o estado do sistema como um todo. Por exemplo, não é importante saber que o Computador 'A' está atendendo ao usuário, enquanto o Computador 'B' está em manutenção. O que na realidade interessa é saber que o usuário está sendo atendido por um dos computadores e que o outro está em manutenção. Utilizando-se deste princípio pode-se agregar estados semelhantes e reduzir o número de estados a serem estudados a 12 /da seguinte maneira:

- Estados $A B$ e $A B$ serão agrupados no estado [1]
- Estados $A B_m$ e $A_m B$ serão agrupados no estado [2]
- Estados AB e $A B$ serão agrupados no estado [3]
- Estados $A B$ e $A B$ serão agrupados no estado [4]
- Estados $CA)B$ e $ACB)$ serão agrupados no estado [5]
- Estados $A B$ e $A B$ serão agrupados no estado [6]
- Estados $CA)B_m$ e $A_m CB)$ serão agrupados no estado [7]
- Estados $CA)B$ e $ACB)$ serão agrupados no estado [8]
- Estados $A B_m$ e $A_m B$ serão agrupados no estado [9]
- Estado $A_m B_m$ será representado pelo estado [10]
- Estados $(A)CB)$ e $(A)CB)$ serão agrupados no estado [11]
- Estados $CA)B$ e $ACB)$ serão agrupados no estado [12]

Os 12(doze) estados a serem estudados encontram-se resumidos na tabela 4.2 a seguir.

TABELA 4.2 : ESTADOS DO SISTEMA

1	Dois computadores em perfeito funcionamento, estando um deles fornecendo serviço ao usuário.
2	Ura computador em perfeito funcionamento fornecendo serviço ao usuário e o outro com defeito e em manutenção.
3	Ura computador em perfeito funcionamento fornecendo serviço ao usuário e o outro com defeito. (caso de falha mascarada)
4	Ura computador fornecendo serviço incorreto (falha mascarada) e o outro em perfeito estado de funelonnemento.
5	Ura computador em perfeito funcionamento fornecendo serviço ao usuário e o outro com contexto incorreto.
6	Dois computadores defeituosos e um deles fornecendo serviço incorreto (falha mascarada).
7	Ura computador com hardware perfeito, entretanto com contexto Incorreto fornecendo serviço ao usuário e o outro em manutenção.
8	Um computador com defelto(falha mascarada) fornecendo serviço ao usuário e o outro com hardware perfeito e contento contexto incorreto.
9	Um computador defeituoso (falha mascarada) fornecendo serviço incorreto e o outro era manutenção.
10	Dois computadores em manutenção.
11	Dois computadores com contextos incorretos. Um deles fornecendo serviço ao usuário.
12	Ura computador com hardware perfeito, entretanto cora contexto incorreto fornecendo serviço ao usuário e o outro defeituoso (falha mascarada).

4.3.2 DIAGRAMA DE ESTADOS

A figura 4.2 apresenta um possível diagrama de estados para o sistema sob análise.

Estando tudo em perfeitas condições, o sistema inicia sua operação partindo do estado [1]. Na ocorrência de falha de um dos computadores, duas situações podem suceder: Se a falha for detectada, o sistema passa para o estado [2]. Se a falha não for detectada, o estado futuro do sistema dependerá de qual computador falhou. Se o computador que falhou foi o que estava atendendo ao usuário, o sistema irá para o estado [4], caso contrário, irá para o estado [3].

Observem-se as seguintes taxas de falha:

Apenas UM computador falhar HAVENDO detecção. λP_d
Apenas UM computador falhar e NÃO HAVER detecção. $\lambda(1-P_d)$
Um dos computadores falhar HAVENDO detecção. $2\lambda P_d$

No estado [3] o sistema permanecerá neste estado até que o computador que está atendendo o usuário venha a falhar. Com a eventual falha deste computador o estado futuro dependerá da falha ser ou não detectada. Para uma falha detectada o estado futuro será o estado [9]. Se a falha não for detectada o estado futuro será o estado [6].

No estado [4] tem-se quatro possibilidades de estado futuro. Se o usuário detectar a falha do computador que o atende antes que o outro computador venha a falhar (o que é o mais provável), o sistema irá para o estado [2]. Entretanto existe a possibilidade do outro computador falhar antes disto. Se isto ocorrer, e a falha for detectada, o sistema irá para o estado [9]. E se a falha não for detectada, o estado futuro será o [6].

No estado [2] existem quatro possibilidades de estado futuro. Considere-se primeiro o caso em que o computador que está atendendo ao usuário não falhe antes que seja concluída a manutenção no outro computador que está defeituoso: Ao final da manutenção haverá a transferência de contexto entre o

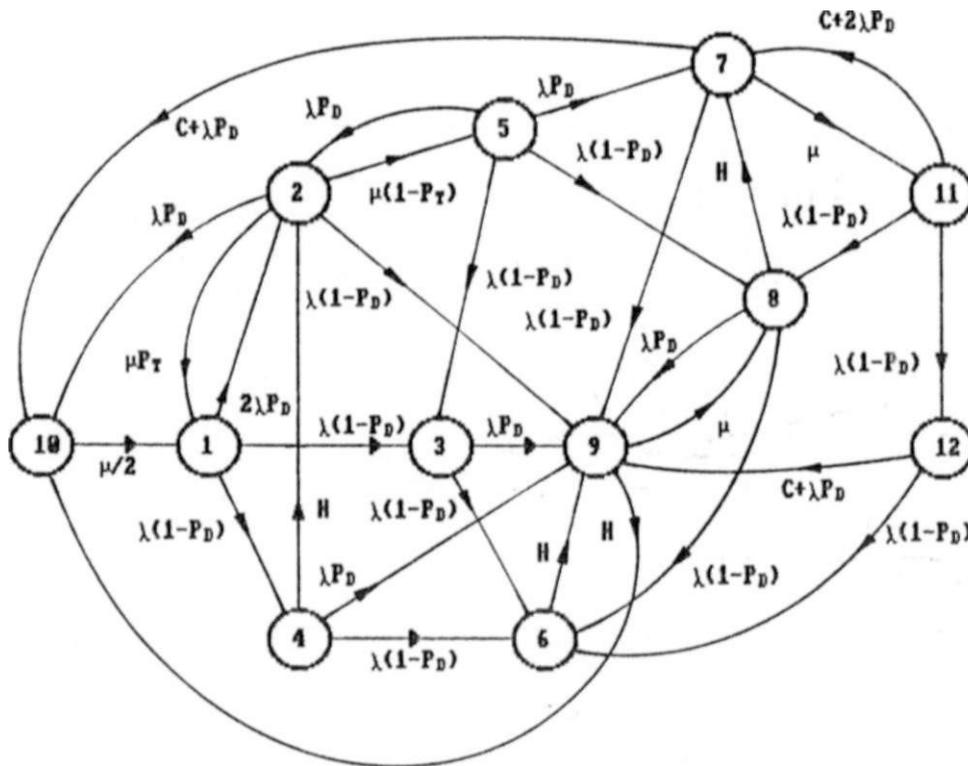


FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE ESTADOS

computador que está atendendo o usuário e o que foi reparado. Caso a transmissão do contexto ocorra Bem erros, o sistema retornará para o estado [1]. Entretanto havendo erro nesta transferência o sistema irá para o estado 15], permanecendo neste estado até que ocorra uma nova falha em um dos computadores.

Considere-se agora a situação em que o computador que está atendendo ao usuário falhe antes de concluída a manutenção do computador defeituoso. Neste caso existem duas possibilidades como estado futuro. Se a falha for detectada o sistema passará ao estado 110], onde permanecerá até que ambos os computadores sejam reparados (Esta é uma possível política de manutenção, e

que será admitida neste exemplo. Uma outra política seria a de repor em operação os computadores a medida que fossem consertados). Caso a falha não seja detectada, o sistema passará ao estado [9].

Observa-se as seguintes taxas:

Reparação com transferência de contexto SEM erro... r^{Pt}
Reparação com transferência de contexto COM mtz o. $1 - Pt$)

No estado [9] existem duas possibilidades de estado futuro. Se o usuário detectar a falha do computador que o atende antes da conclusão da manutenção do outro computador, o sistema irá para o estado [10]. Se não detectar, o outro computador será reparado e com probabilidade '1' receberá o contexto errado devido a falha do computador que atende ao usuário, levando o sistema para o estado [8].

Estando no estado [5], o sistema assim permanecerá até que ocorra uma falha em um dos computadores. Após a ocorrência da falha, existem quatro possibilidades de estado futuro. Caso a falha ocorra no computador ultimamente reparado (o que está com o contexto errado e não está atendendo ao usuário) e seja detectada, o sistema retornará para o estado [2]. Entretanto, caso a falha não seja detectada o sistema irá para o estado [3]. Veja-se agora a situação onde a falha ocorre no computador que estava atendendo ao usuário: Se a falha for detectada, o sistema irá para o estado [7]. Se não for detectada, o sistema irá para o estado [8].

No estado [7] existem três possibilidades de estado futuro. Se o usuário detectar a falha do computador que o atende antes da conclusão da manutenção do outro computador, ou se o computador que o atende falhar e for detectado, o sistema irá para o estado [10]. Se o computador que atende ao usuário falhar mas não for detectado, o sistema irá para o estado [9]. A terceira e última possibilidade é a manutenção do computador ser concluída antes que alguma das opções anteriores aconteça. Neste caso o computador recém reparado receberá com probabilidade '1' um contexto errado, e o sistema irá para o estado [11].

No estado [8] existem três possibilidades de estado futuro. Uma primeira possibilidade é o usuário detectar que o computador que o atende está defeituoso, antes de ocorrer uma falha no outro computador. Neste caso o sistema passará ao estado [7]. Entretanto caso o outro computador falhe antes e seja detectado o sistema irá para o estado [9]. E se não for detectado irá para o estado [6].

Estando no estado [6] nada poderá acontecer além do próprio usuário detectar a falha do computador que o atende, o que levará o sistema ao estado [9].

No estado [11] tem-se três possibilidades de estado futuro. A primeira possibilidade é o estado [7]. Este será o estado futuro caso o usuário detecte a falha de contexto do computador que o atende, ou que haja falha detectável em um dos dois computadores. Caso ocorra uma falha de *Hardware* não detectada em um dos computadores, o estado futuro será o [8] ou o [12], dependendo se o computador que falhou foi o que estava ou não atendendo o usuário, respectivamente.

No estado [12] tem-se duas possibilidades de estado futuro. A primeira possibilidade é o usuário detectar a falha de contexto do computador que o atende, ou o mesmo falhar e ser detectado. Neste caso o estado futuro será o estado [9]. A segunda possibilidade é o computador falhar e não ser detectado. Neste caso o estado futuro será o estado [6].

4.4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO (COM MANUTENÇÃO CORRETIVA)

Na seção anterior a modelagem do sistema foi realizada considerando-se apenas a política de manutenções corretivas. Na seção 4.5 os efeitos de uma política de manutenções preventivas serão avaliados.

Nesta seção será apresentado como a modelagem markoviana do sistema será fornecida ao ambiente computacional através do arquivo descritivo do sistema. Serão também apresentados alguns resultados de avaliação que foram obtidos com o uso do ambiente computacional objeto deste trabalho.

4.4.1 DADOS DE **ENTRADA** (ARQUIVO DESCRITIVO DO SISTEMA)

O formato básico de um arquivo descritivo do sistema foi apresentado no capítulo II.

A dimensão do sistema neste exemplo é igual a 12 (igual ao número de estados do sistema).

Os estados do tipo *UP* são aqueles estados onde o usuário está sendo atendido por um computador em perfeito estado de funcionamento. Isto é verificado apenas nos estados [11/ [2], 13] e (51).

Os elementos da matriz das taxas são obtidos diretamente do diagrama de estados. Os valores dos parâmetros associados ao sistema, que serão utilizados a título de exemplo, estão listados na tabela 4.3.

TABELA 4.3. PARÂMETROS ASSOCIADOS AO SISTEMA

$X = 2$ ano	Equivale a uma taxa de duas falhas por ano
$\lambda = 2190$ ano ⁻¹	Equivale a um tempo médio de 4 horas para uma manutenção.
$P_d = 0.9$	90% de chance de um defeito de <i>hardware</i> ser detectado.
$P_c = 0.95$	95% de chance de uma transmissão de contexto acontecer sem erros.
$T_h = 1$ hora	Equivale a uma taxa de $H = 8760$ ano ⁻¹
$T_c = 2$ horas	Equivale a uma taxa de $C = 4380$ ano ⁻¹

Para que o exemplo fique completo, são definidos os custos médios de ocupação de cada estado. Para tal, serão considerados os seguintes custos básicos (expressos em unidades monetárias por ano):

1. CUSTO FIXO DE OPERAÇÃO (\$ 10,00):

São os custos fixos para manter o sistema em operação. Neste custo estão incluídos materiais consumíveis, energia elétrica, recursos humanos para a operação do sistema etc.

2. CUSTO DE MANUTENÇÃO (\$ 100.00):

Neste custo estão incluídas as despesas médias anuais com recursos humanos e materiais para a manutenção do sistema.

3. PREJUÍZOS (\$ 1.000,00 E \$ 3.000.00):

Identificam-se dois tipos diferentes de prejuízo: o primeiro tipo é o decorrente do sistema estar parado, sem prestar serviço ao usuário (\$1.000,00). O segundo aparece quando o sistema está prestando serviço, mas de forma inadequada (\$3.000,00).

Os valores referenciados acima serão utilizados a título de exemplo. Os custos médios de ocupação dos estados são obtidos adicionando-se entre si estes custos básicos, conforme discriminado na tabela 4.4. Observe-se que no estado 10 foi considerado o dobro do custo de manutenção devido aos dois computadores estarem em manutenção. E que também o prejuízo é o de se ter o sistema parado (\$1.000,00), enquanto nos estados 4,6,7,8,9,11 e 12 o prejuízo é o gerado pelas informações erradas fornecidas ao usuário (\$3.000,00).

Uma vez identificadas e/ou definidas todas as informações descritivas do sistema, o próximo passo é a representação destas informações através de um arquivo tipo texto, conforme já mencionado. A figura 4.3 apresenta o arquivo descritivo que foi usado para realizar a avaliação de desempenho deste sistema exemplo.

TABELA 4.4 - CUSTOS MÉDIOS DE OCUPAÇÃO DOS ESTADOS

Estado	Composição dos Custos	Custo Total
1	Custo Fixo de Operação	10,00
2	Custo Fixo de Operação Custo de Manutenção	110,00
3	Custo Fixo de Operação	10,00
4	Custo Fixo de Operação Prejuizos	3.010,00
5	Custo Fixo de Operação	10,00
6	Custo Fixo de Operação Prejuizos	3.010,00
7	Custo Fixo de Operação Custo de Manutenção Prejuizos	3.110,00
8	Custo Fixo de Operação Prejuizos	3.010,00
9	Custo Fixo de Operação Custo de Manutenção Prejuizos	3.110,00
10	Custos de Manutenção Prejuizos	1.200,00
11	Custo Fixo de Operação Prejuizos	3.010,00
12	Custo Fixo de Operação Prejuizos	3.010,00

	DIMENSÃO	(3,91-	L*D		ESTADOS-UP	
	12	(4,21=	H		1	
	CONSTANTES	14,61=	L*(1-D)		2	
		(4,91=	L*D		3	
X =>	L=2	(5,21-	L*D		5	
P, ->	D=0.9	(5,31=	L*(1-D)			
P° =>	T=0.95	[5,71-	L*D		CUSTOS	
fj =>	U=2190	15,81=	L*(1-D)			
	H=8760	(6,91-	H	111-	10	
	C=4380	(7,91-	L*(1-D)	(21-	110	
		[7,101=	C+L*D	131 =	10	
	ELEMENTOS	[7,111-	U	(41-	3010	
		(8,61=	L*(1-D)	[51=	10	
	(1,2]»	2*L*D	18,71«	H	[61=	3010
	[1,31-	LM1-D)	18,91»	L*D	Hi-	3110
	11,41-	L*(1-D)	(9,81-	U	rn«	3010
	12,11-	U*T	[9,101=	H	191=	3110
	(2,51-	UM1-T)	[10,11=	U/2	1101-	1200
	(2,91=	L*(1-D)	[11,7]-	C+2*L*D	[111 =	3010
	(2,101-	L*D	[11,81-	L*(1-D)	[121 =	3010
	(3,61-	L*(1-D)	111,121 •	L*(1-D)		
			(12,61-	L*(1-D)	FIM	
			(12,91=	C+L*D		

FIGURA 4.3. ARQUIVO DESCRITIVO DO SISTEMA

4.4,2 RESULTADOS OBTIDOS DA AVALIAÇÃO:

O sistema representado pelo arquivo descritivo da figura 4.3 foi submetido ao ambiente computacional. Os resultados que foram obtidos para as medidas invariantes no tempo, estão resumidos na figura 4.4. Além da disponibilidade e do custo médio operacional do sistema, estafo presentes nesta figura as probabilidades estacionárias de ocupacSo dos estados e os tempos médios para falhar (MTTF) e para reparar (MTTR), para qualquer estado inicial escolhido.

Disponibilidade do Sistema...= 99.96700(%)
 Custo Operacional Medio/Unidade de Tempo...= \$ 10.70

P[11-0.865383-(UP) MTTFl1]	-2.28379	MTTR[1]	-0.00000
PI 21=0.001534-(UP) MTTF[2]	=2.23199	MTTR[2]	=0.00000
P[31-0.090739-(UP) MTTF[3]	=0.50000	MTTR[3]	=0.00000
PI 4]=0.000020	MTTF[4]=0.00000	MTTR[4]	»0.00011
P(5)»0.042012-(UP) MTTFl5J	-1.27939	MTTR[5]	-0.00000
P16J-0.000002	MTTFI61-0.00000	MTTR[6]	-0.00121
P171-0.000027	MTTF[7]=0.00000	MTTR[7]	»0.00126
P[81=0.000005	MTTF181-0.00000	MTTR[8]	-0.00137
PI9J»0.000017	MTTF[9]=0.00000	MTTR[9]	=0.00110
P1101-0.000245	MTTF[10]=0.00000	MTTR[10]	=0.00091
P(11)=0.000014	MTTF1111-0.00000	MTTR[11]	»0.00148
P1121-0.000000	MTTF(12]=0.00000	MTTR[12]	=0.00132

FIGURA 4.4. MEDIDAS INVARIANTES OBTIDAS DA AVALIAÇÃO

Observe-se que o Custo Operacional Médio do sistema (\$10.70), excede o Custo Fixo de Operação era \$0.70. Esta diferença é justificada pelas eventuais manutenções corretivas do sistema, e prejuízos já mencionados. Esta diferença poderia ser minimizada com a adoção de uma política de manutenções preventivas. As manutenções preventivas têm por finalidade detectar problemas latentes no sistema. Problemas que ainda não provocaram prejuízos à operacionalidade do sistema. O efeito de uma política de manutenções preventivas será estudado na seção 4.5.

O estado 1 do sistema é o estado onde ambos os computadores estão em perfeito funcionamento. O tempo médio para falhar a partir deste estado é de aproximadamente 2,28 anos (2 anos e 3 meses aprox.). Observe-se que os MTTF's para os estados *DOWN* são obviamente nulos.

Dentre os estados *DOWN* observa-se que o estado 11 é aquele que apresenta o maior tempo médio para reparo (0,00148 ano, ou aproximadamente 13 horas).

Vale a pena lembrar que todos os tempos mencionados anteriormente são valores médios obtidos a longo prazo.

Dos resultados obtidos para as medidas variantes no tempo, está reproduzido na figura 4.5 a curva da Confiabilidade esperada do sistema. Cada divisão da escala horizontal

corresponde á 0,17 ano, ou seja, 62 dias aproximadamente. Esta curva representa a probabilidade , em funcSo do tempo,do sistema funcionar continuamente sem apresentar defeitos para o usuário. Isto nSo significa uma total integridade dos componentes do sistema. Pode até ter acontecido falhas Internas ao sistema, mas estas nSo foram externadas para o usuário. Esta curva de confiabilidade nos diz, por exemplo, que a probabilidade do sistema funcionar Ininterruptamente por 0,7 anos (8 meses aprox.) é de aproximadamente 0,79.

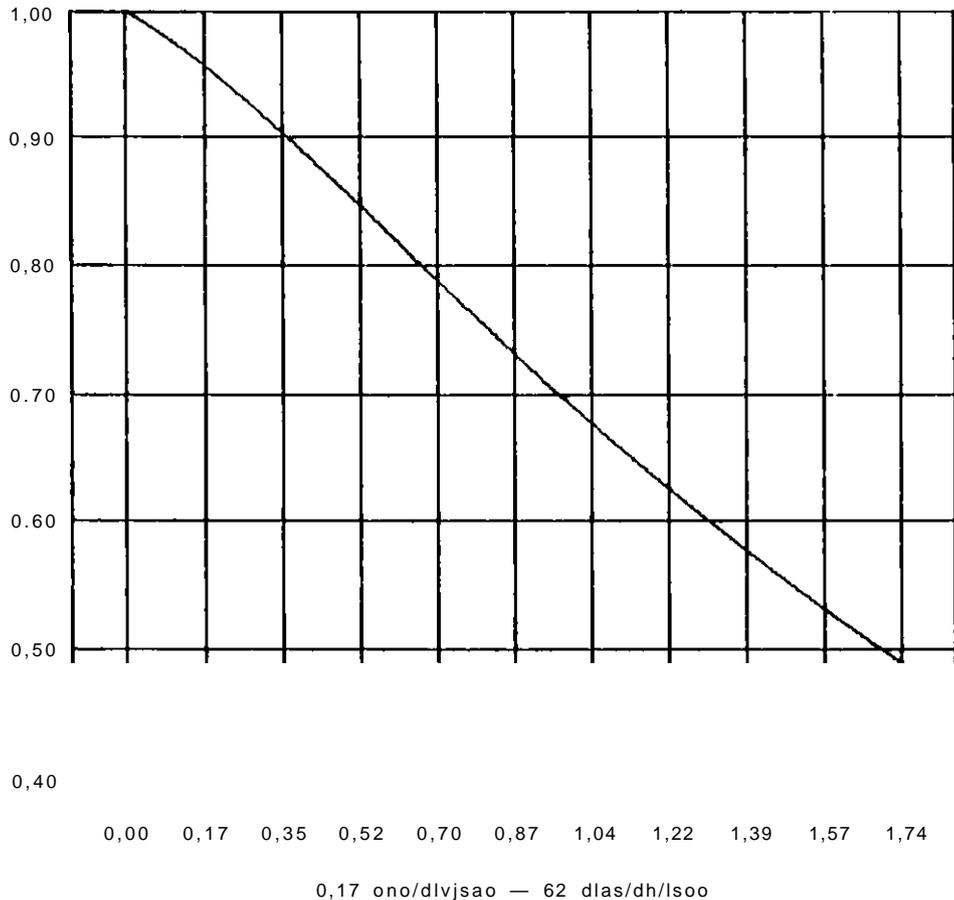


FIGURA 4.5. CONFIABILIDADE DO SISTEMA

4.5 EFEITO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA (MODELAGEM E AVALIAÇÃO)

Até entSo considerou-se que a equipe de manutenção era acionada apenas na ocorrência de uma falha, detectada pelo circuito de detecçSo ou pelo usuário, e os resultados da avaliação de desempenho foram apresentados no item 4.4.2.

O que aconteceria com o comportamento global do sistema se fossem introduzidas manutenções preventivas regulares?. Para tentar responder esta pergunta, será introduzida a política de visitas periódicas da equipe de manutenção, ao sistema, com o intuito de executar manutenções preventivas no computador reserva, ou seja, aquele que no momento não está conectado ao usuário.

Neste exemplo, as seguintes premissas serão consideradas na atuação da equipe de manutenção:

PREMISSA 1:

As manutenções preventivas serão realizadas apenas no computador reserva (o que não está conectado ao usuário). Portanto, o estado do computador principal não é verificado. Isto leva à situação onde a equipe está dando manutenção num computador, enquanto o outro está com um defeito até aquele momento não detectado.

PREMISSA 2:

Após a conclusão da manutenção preventiva, sem que o computador principal tenha apresentado defeito detectado, a equipe de manutenção reinicializa o computador reserva e deixa a cargo do computador principal a transferência do contexto, que poderá acontecer com ou sem erros.

PREMISSA 3:

Caso seja detectado um defeito no computador principal durante uma manutenção preventiva, duas ações podem ser tomadas, dependendo do estado do computador em manutenção preventiva:

Se até o presente não tenha sido detectado nenhum problema neste computador, a equipe de manutenção interrompe os trabalhos, reinicializa este computador (carregando inclusive um contexto adequado) e conecta-o ao usuário. Desta forma, o usuário passará um tempo adicional desatendido, o que não aconteceria se não houvessem manutenções preventivas.

Se já tinha sido detectado problema neste

computador, a equipe de manutenção continua normalmente seu trabalho. Após a conclusão dos trabalhos, a equipe iniciará a manutenção corretiva do computador principal.

Levando-se em conta estas premissas, foi estabelecido um possível diagrama de estados que leva em consideração as visitas para manutenção preventiva. A figura 4.6 apresenta este diagrama. Observe que foram omitidas as transições já definidas na figura 4.2 para não sobrecarregar o desenho. Nesta figura os parâmetros $[cu]$, $\{3\}$ e $[y]$ representam respectivamente:

- [α] - Taxa de Realização das Manutenções Preventivas, ou seja a frequência média das visitas ao sistema.
- [$1/3$] - Tempo Médio gasto numa manutenção preventiva, onde não foram encontrados defeitos a serem corrigidos.
- [$1/3$] - Tempo Médio para a reinicialização de um computador.

A idéia inicial é acrescentar para cada estado do sistema um "estado associado" representando a visita da equipe de manutenção ao sistema. Entretanto isto pode ser descartado para aqueles estados do sistema onde a equipe de manutenção já se encontra presente. É o caso dos estados [2], [7], [9] e [10].

Para os estados [1] e [5] não foi preciso a criação de estados distintos, pois uma visita a um destes estados leva a uma mesma situação de sistema, que foi representada pelo estado [13]. O mesmo acontece com os estados [4] e [8], que levam à situação decrita pelo estado [14]. Já para os estados [3], [6], [11] e [12] verifica-se que um visita nestes estados leva o sistema para situações distintas. Dai a necessidade da criação de estados distintos de manutenção preventiva para cada um destes estados ([16], [17], [15] e [18] respectivamente).

Foram acrescentadas transições entre os estados de manutenção preventiva recém-criados, visto que, estando o sistema em manutenção preventiva no estado [13], é possível a ocorrência de uma falha no computador principal. No caso da falha ser detectada, o sistema passa ao estado [19], ficando o

usuário desatendido. Em seguida, a equipe de manutenção interrompe seu trabalho (isto porque não havia sido detectado ainda nenhum problema no computador reserva), reinicializa o computador reserva (Inclusive com adequação de contexto) e o conecta ao usuário, passando em seguida à manutenção corretiva do computador que falhou (ver premissa 3). Todas estas ações estão representadas na transição entre os estado 119] e [21. Se, por outro lado, o defeito no computador principal não tivesse sido detectado, a equipe não teria tomado conhecimento, continuando seus trabalhos de manutenção preventiva no computador reserva. De forma similar, é possível se justificarem todas as novas transições do diagrama. Omitem-se os comentários por ser mais cômoda a interpretação direta do diagrama. Na tabela 4.5 estão descritos os novos estados que foram introduzidos.

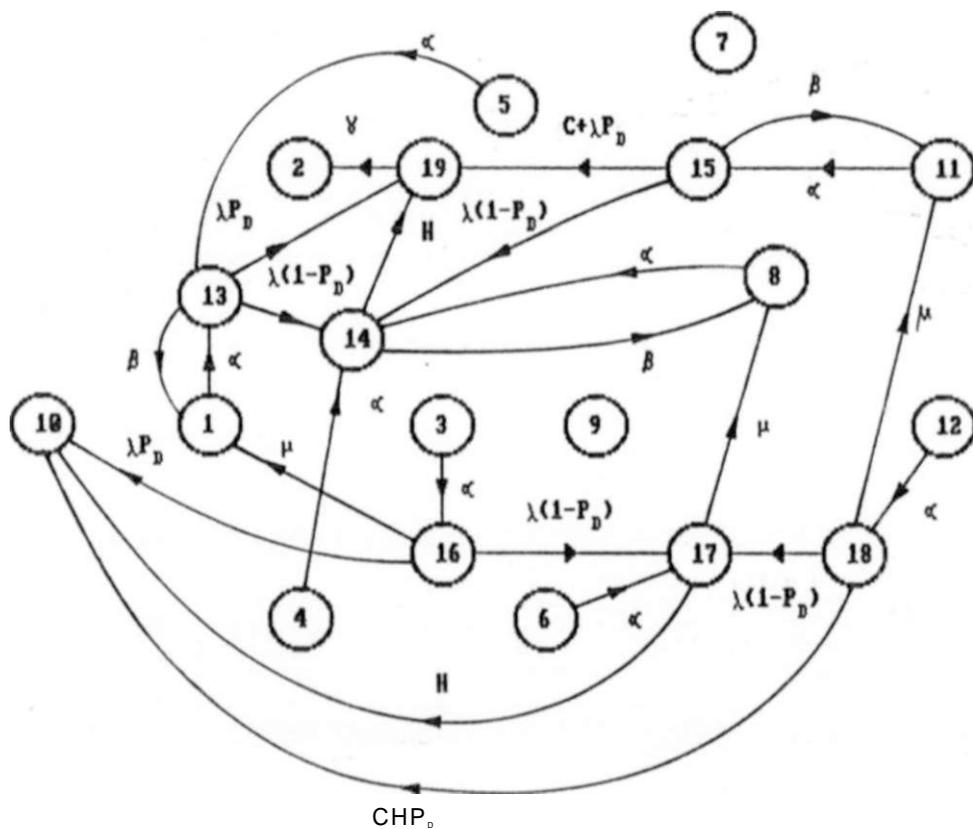


FIGURA 4.6 MODIFICAÇÕES NO DIAGRAMA DE ESTADO PARA CONSIDERAR AS MANUTENÇÕES PREVENTIVAS.

TABELA 4.5 : ESTADOS CRIADOS PELA MANUTENÇÃO PREVENTIVA

13	Dois computadores em perfeito funcionamento, estando um deles fornecendo serviço ao usuário e o outro em manutenção preventiva.
14	Um computador fornecendo serviço incorreto (falha mascarada) e o outro em perfeito estado de funcionamento e em manutenção preventiva.
15	Um computador com hardware perfeito, entretanto com o contexto incorreto, fornecendo serviço ao usuário e o outro em perfeito funcionamento e em manutenção preventiva.
16	Um computador em perfeito funcionamento fornecendo serviço ao usuário e o outro com defeito (falha mascarada) e em manutenção preventiva.
17	Dois computadores defeituosos, um deles fornecendo serviço incorreto (falha mascarada) ao usuário e o outro em manutenção preventiva.
18	Um computador com hardware perfeito, entretanto com contexto incorreto e fornecendo serviço ao usuário, e o outro defeituoso (falha mascarada) e em manutenção preventiva.
19	Um computador defeituoso com falha detectada, e o outro computador perfeito mas em manutenção preventiva.

Ou utilizando a simbologia Cp' de preventiva):

Estado [13]	representando as situações	$A B_p$	«	$A_p B$
Estado [14]	representando as situações	$A B_p$	e	$A_p B$
Estado [15]	representando as situações	$CA)B_p$	e	$A_p(B)$
Estado [16]	representando as situações	$A B_p$	e	$A_p B$
Estado [17]	representando as situações	$A B_p$	e	$A_p B$
Estado [18]	representando as situações	$(A)B_p$	e	$A_p(B)$
Estado [19]	representando as situações	$A B_p$	e	$A_p B$

4.5.1 DADOS DE ENTRADA (ARQUIVO DESCRITIVO DO SISTEMA)

Entre os novos estados criados, apenas os estados 113] e [16] são estados onde o sistema está sendo servido por um computador em perfeito funcionamento (Estados UP). Os custos da manutenção preventiva num computador defeituoso será considerado igual ao da manutenção corretiva (\$100,00), enquanto que a manutenção preventiva num computador sem defeitos é de 60% deste valor (\$60,00). Os custos de ocupação dos novos estados criados estão discriminados na tabela 4.6 abaixo.

TABELA 4.6 - CUSTOS MÉDIOS DE OCUPAÇÃO DOS NOVOS ESTADOS

Estado	Composição dos Custos	Custo Total
13	Custo Fixo de Operação Custo da Manutenção Preventiva	70,00
14	Custo Fixo de Operação Custo da Manutenção Preventiva Prejuí zos	3.070,00
15	Custo Fixo de Operação Custo da Manutenção Preventiva Prejuí zos	3.070,00
16	Custo Fixo de Operação Custo da Manutenção Preventiva	110,00
17	Custo Fixo de Operação Custo da Manutenção Preventiva Prejuí zos	3.110,00
18	Custo Fixo de Operação Custo da Manutenção Preventiva Prejuí zos	3.110,00
19	Custo da Manutenção Preventiva Pre julzos	1.060,00

A figura 4.7 apresenta o que deve ser adicionado ao arquivo descritivo do sistema da figura 4.3, a fim de serem considerados os novos estados representativos das manutenções preventivas (tabela 4.6). O número de estados do sistema

cresceu para 19. As constantes A, B e C representara respectivamente os parâmetros $[0]1$, $[0]$ e $[?']$. Na avaliação de desempenho serão considerados os seguintes valores iniciais para $[a)$ e $[f1]$ e $[y1j]$

$ot = 4$ (1/ano) => Em média uma manutenção a cada 3 meses.
 $ft \cdot 4380$ (1/ano) => Em média duas horas era cada manutenção.
 $Y = 17520$ (1/ano)=> Em média meia hora de reinicialização.

Os novos elementos correspondem as transições representadas na figura 4.6. Dentre os novos estados que foram criados, apenas os estados 13 e 16 são estados UP. E os custos estão conforme calculados na tabela 4.6.

DIMENSÃO			ESTADOS-UP
19	116,171-	L*(1-D)	
	14,141=	A	13
CONSTANTES	[8,14 1=	A	16
	16,171=	A	
A= 4	[17,81=	U	
B= 4380	[17,101=	H	CUSTOS
G= 17520	[11,151=	A	[131 = 70
.	115,111=	B	[141 = 3070
	[15,191=	C+L*D	[151 = 3070
ELEMENTOS	[15,141=	LM1-D)	[161 = 110
	[12,181=	A	[171 = 3110
	[18,101=	C+L*D	[181 = 3110
[5,131=	A	[18,111=	U
[13,11-	B	[18,171=	LM1-D)
113,191	L*D	[19,21=	G
[13,141	L*(1-D)	[14,191=	H
[3,161=	A	114,81«	B
116,11-	U		FIM
[16,101=	L*D		

FIGURA 4.7 ADICIONAR NO ARQUIVO DESCRITIVO DA FIGURA 3 PARA INCLUIR AS MANUTENÇÕES PREVENTIVAS.

4.5.2 RESULTADOS OBTIDOS DA AVALIAÇÃO:

O sistema descrito pela junção dos arquivos descritivos das figuras 4.3 e 4.7 foi submetido ao ambiente computacional.

Os resultados obtidos para as medidas invariantes no tempo, estão resumidos na figura 4.8.

Comparando-se antes e depois da introdução das manutenções preventivas (figuras 4.4 e 4.8), verifica-se que as manutenções preventivas ocasionaram uma melhoria na disponibilidade do sistema de 99.967% para 99.984%, com uma redução nos custos de \$ 10.70 para \$ 10.50. Houve também uma melhora no Tempo Médio para Falhar (MTTF), que passou de 2,28 ano para 3,32 ano.

Disponibilidade do Sistema...= 99.98465(%)
 Custo Operacional Medio/Unidade de tempo...³¹ \$ 10.50

P11]	=>0.942457-	(UP) MTTFU)=	3.32162	MTTR11]=	0.00000
P12]	<0.001653-	(UP) MTTF[2]	<3.28215	MTTR12]=	0.00000
P13]	=0.032169-	(UP) MTTF(31	= 2.37936	MTTR13]=	0.00000
Pt4]=	0.000021	MTTF[4]	<0.00000	MTTR14]=	0.00011
PI5)-	0.022627-	(UP) MTTF151	= 2.58313	MTTR15]	>0.00000
P16J <	0.000001	MTTF16]	-0.00000	MTTR16]	<0.00121
P17]	-0.000013	MTTF(71	-0.00000	MTTR17]=	0.00126
P18]	=0.000002	MTTF18]	*0.00000	MTTR18]	=0.00137
P[9]	=0.000006	MTTF191	-0.00000	MTTR19]	=0.00110
PUO]=	0.000103	MTTF110)	-0.00000	MTTR110]"	0.00091
PUI]=	0.000007	MTTF111J	= 0.00000	MTTR[11]	>0.00148
PU2]=	0.000000	MTTF112)	= 0.00000	MTTR112]	=0.00132
P[13]=	0.000881-	(UP)MTTF(13í	-3.32033	MTTR[13]	=0.00000
P114]=	0.000000	MTTF114]	=0.00000	MTTR114]	=0.00057
P115]	=0.000000	MTTF115]	*0.00000	MTTR[15]	-0.00088
P116]=	0.000059-	(UP)MTTFU6]	<3.31904	MTTR116]	=0.00000
P1171=	0.000000	MTTF117]	=0.00000	MTTR[17]	=0.00110
P118]	=0.000000	MTTF118]	=0.00000	MTTR118]	<0.00126
P119]=	0.000000	MTTF1191	-0.00000	MTTR[19]=	0.00006

FIGURA 4.8 MEDIDAS INVARIANTES OBTIDAS DA AVALIAÇÃO.

Dos resultados obtidos para as medidas variantes no tempo, está reproduzido na figura 4.9 (Curva 'B'), a Confiabilidade esperada do sistema. A curva 'A' é uma reprodução, para fins comparativos, da curva da figura 4.5. Igualmente a figura 4.5, cada divisão da escala horizontal corresponde a 0,17 ano, ou seja, 62 dias aproximadamente. Comparando as curvas 'A' e 'B' verifica-se que a introdução das manutenções preventivas ocasionou uma melhora na confiabilidade do sistema (o que era de se esperar em virtude do aumento no MTTF). Para o mesmo período de tempo de 0,7 anos, temos agora uma probabilidade de aproximadamente 0,83 do sistema funcionar ininterruptamente.

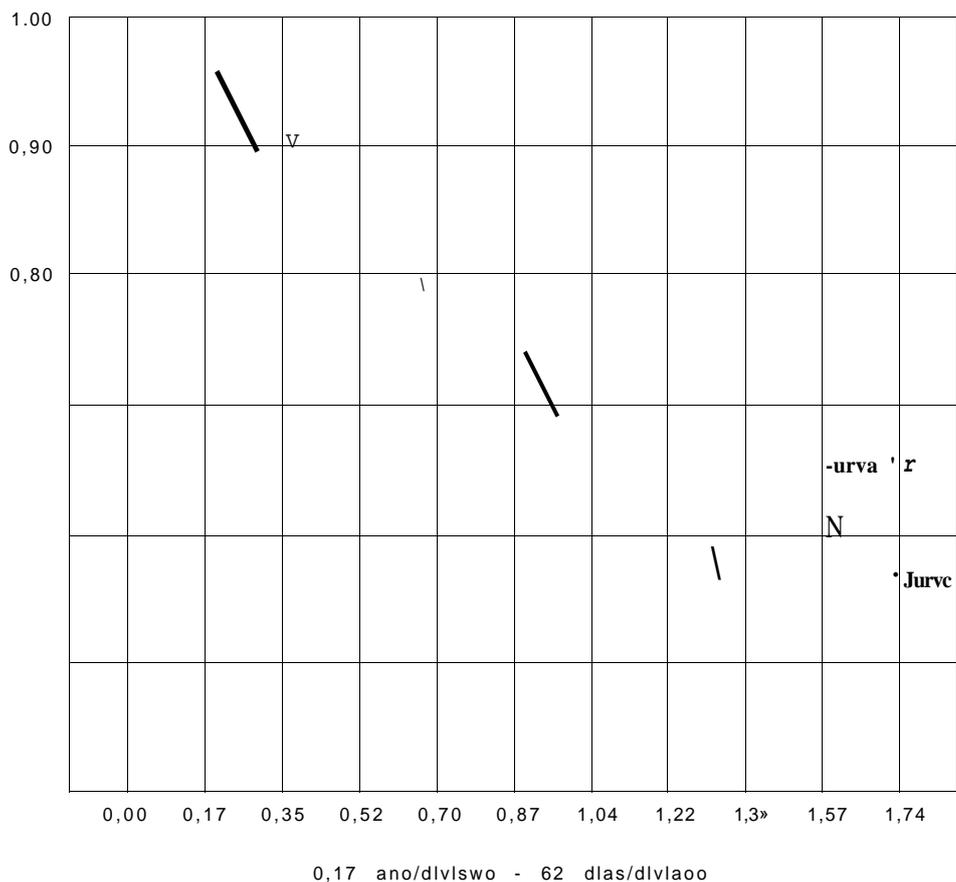


FIGURA 4.9 CURVAS DA CONFIABILIDADE DO SISTEMA

Estes resultados foram obtidos para uma periodicidade de 3 meses para as manutenções preventivas (ex-4). Será mostrado na próxima seção uma análise do efeito de variações na taxa de realização das manutenções preventivas (a) sobre a disponibilidade e custos do sistema.

4.5.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE (PARÂMETRO [« 1)

Quando foram introduzidas as manutenções preventivas, ocorreu uma melhoria no comportamento geral do sistema. Isto foi obtido para uma frequência arbitrada manutenções por ano. Um interesse que pode surgir é- saber o comportamento do sistema para variações na periodicidade das manutenções preventivas.

Naturalmente que seria muita pretensão tentar esgotar o assunto neste trabalho, mesmo porque este nSo é seu objetivo. O que é feito a seguir é apenas apresentar alguns resultados de estudos comparativos que foram realizados com o auxilio deste ambiente computacional.

Foram feitas repetidas avallac&es para uma faixa de valores de [a] de 1 a 180, o que corresponde a uma frequência de manutenções variando de uma manutenção por ano (ot=*1) até manutenções em dias alternados (a=180). Os resultados obtidos para a disponlbiliade e custo médio operacional do sistema estão relacionados nas tabelas 4.7 e 4.8.

Verifica-se por estes resultados a existência de um ponto de custo mínimo (ot>8 - Uma manutençXo a cada 45 dias) e outro de disponibilidade máxima (a=140 - Uma manutenção a cada 3 dias). O ponto ótimo de operação do sistema, situado entre ambos, dependerá do compromisso Disponibilidade/Custo que poderia ser assumido em cada aplicação particular do sistema.

TABELA 4.7

t a	Dispon.	Custo
1	99.97500	10.60
20	99.99337	10.58
40	99.99508	10.83
60	99.99564	11.09
60	99.99588	11.35
100	99.99599	11.61
120	99.99602	11.87
140	99.99603	12.13
160	99.99601	12.38
180	99.99598	12.64

TABELA 4.8

l a	Dispon.	Custo
1	99.97500	10.60
4	99.98465	10.50
8	99.98922	10.48
12	99.99134	10.50
16	99.99257	10.54
20	99.99337	10.58
24	99.99392	10.63
28	99.99433	10.68
32	99.99464	10.73
36	99.99488	10.78

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de sensibilidade do sistema para com o parâmetro τ), foi utilizada apenas a título de exemplo. Este procedimento pode ser estendido para todos os parâmetros do sistema. Nas análises de sistemas reais, costuma-se realizar a análise de sensibilidade naqueles parâmetros em que ainda seja possível interferir em seus valores. Durante a fase de projeto do sistema, por exemplo, é possível se alterar quase todos os parâmetros do sistema. Após a aquisição do sistema, entretanto, perde-se o poder de atuação sobre uma série de parâmetros do mesmo.

Um outro fato que ficou evidenciado neste capítulo, é que uma boa parte do esforço para a avaliação de segurança de funcionamento, concentra-se na modelagem do sistema a ser avaliado. Concluída a fase de modelagem, entretanto, a análise de segurança fica bastante confortável com a utilização de um ambiente computacional dedicado a esta tarefa.

CONCLUSÕES

O Ambiente Computacional apresentado neste trabalho é uma ferramenta de apoio à avaliação de segurança de funcionamento de sistemas. Com essa ferramenta, uma boa parte do esforço para a avaliação do sistema fica concentrado na modelagem do sistema a ser avaliado. O sistema a ser avaliado deve ser modelado por um Processo Markoviano de parâmetro contínuo. Concluída a fase de modelagem, entretanto, a avaliação de segurança fica bastante confortável com a utilização do ambiente computacional.

A flexibilidade da interface homem-máquina do ambiente computacional é a característica de destaque em relação a outras ferramentas equivalentes. As modificações no arquivo descritivo do sistema avaliado sendo realizadas sem abandonar o ambiente computacional, facilita o processo iterativo de análise de um sistema através de variações dos valores de seus parâmetros.

O ambiente foi concebido de uma maneira fortemente modular, permitindo que modificações possam facilmente serem implementadas em seus procedimentos, sem um eventual comprometimento de todo o ambiente. Novas opções de tratamento de dados, por exemplo, podem ser completamente desenvolvidas num arquivo de procedimentos independente.

O Ambiente Computacional vem sendo utilizado como ferramenta de apoio na disciplina "Arquiteturas Tolerantes a Falhas" do programa de mestrado em Engenharia Elétrica da UFPE - Universidade Federal de Pernambuco.

A utilização do ambiente computacional demonstrou a existência de um problema de convergência na aplicação do Método de Euler (Ver Capítulo II, item 2.2.7) para algumas matrizes de taxas; Possivelmente matrizes com valores muito grandes ou muito pequenos.

Um outro aspecto relacionado com a parte gráfica do ambiente, é que a literatura na área de segurança não costuma apresentar os gráficos das medidas variantes no tempo utilizando escala linear no eixo do tempo, mas sim escala logarítmica.

Os dois aspectos mencionados nos parágrafos anteriores ficam como sugestões para o aperfeiçoamento deste ambiente computacional em trabalhos posteriores. Adicione-se a estes as demais sugestões: Agrupamento automático de estados do sistema. Utilização de técnicas de armazenamento compacto de matrizes. Tratamento de sistemas Semi-Markovianos. Por exemplo, quando a taxa de reparação não segue uma distribuição exponencial. Utilização de algoritmos rápidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIL.85 R. Billinton & R.N. Allan "Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques", Pitman Advanced Publishing Program, Boston-London-Melbourne, 1985.
- BUZ.79 J.A. Buzacott "Markov approach to finding failure times of repairable systems", *IEEE Trans. Reliability*, vol R-19, no.14, Nov.79, pp 128-134.
- CIN.75 E.CINLAR "Introduction to Stochastic Processes" Prentice Hall, 1975
- COS.81 A. Costes, J.E.Doucet, C.Landrault, J.C. Laprie "SURF: A program for dependability evaluation of complex Fault-Tolerant computing systems" FTCS-11: 11 *Int.Symp. on Fault-Tolerant Computing Systems*, June 1981, (pp 72-78).
- COR.75 M. Corazza, "Techniques Mathématiques de la fiabilité prévisionnelle", Linebreak Cepadues Edition, Toulouse, 1975.
- SV0.76 L. Svobodova, "Computer performance measurement and evaluation methods : analysis and application", ELSEVIER Computers Science Library, New York, 1976.
- BRU.79 A. Bruce Clarke, Ralph L.Disney, "Probabilidades e Processos Estocásticos", Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, RJ, 1979.
- KRE.76 E. Kreyszig, "Matemática Superior", Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, RJ, 1976.
- VIT.74 Vitoriano Ruas de Barros Santos, "Curso de Cálculo Numérico", Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1974.