

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR Silvio Fazolli  
E APROVADA PELA  
COMISSÃO JULGADORA EM 06/05/98.

João Maurício Rosário  
ORIENTADOR

**Metodologia para Cálculo da Confiabilidade  
de Sistemas Complexos na Fase de  
Desenvolvimento**

Autor: **Silvio Fazolli**

Orientador: **João Maurício Rosário**

14/98

F298m

34885/BC

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

# **Metodologia para Cálculo da Confiabilidade de Sistemas Complexos na Fase de Desenvolvimento**

**Autor: Silvio Fazolli**

**Orientador: João Maurício Rosário**

**Curso: Engenharia Mecânica**

**Área de Concentração: Projeto Mecânico**

Dissertação de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1998  
S.P. – Brasil

6684186

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F298m Fazolli, Silvio  
Metodologia para cálculo da confiabilidade de sistemas complexos na fase de desenvolvimento / Silvio Fazolli.-- Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: João Maurício Rosário.  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Confiabilidade (Engenharia). 2. Projetos -  
Elaboração. 3. Automação. I. Rosário, João Maurício. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Mecânica. III. Título.

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

TESE DE DOUTORADO

# Metodologia para Cálculo da Confiabilidade de Sistemas Complexos na Fase de Desenvolvimento

Autor: **Silvio Fazolli**

Orientador: **João Maurício Rosário**



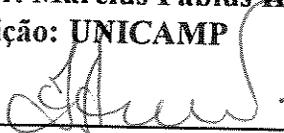
Prof. Dr. João Maurício Rosário, Presidente

Instituição: UNICAMP



Prof. Dr. Marcio Fabius Henriques de Carvalho

Instituição: UNICAMP



Prof. Dr. Irany de Andrade Azevedo

Instituição: ITA



Prof. Dr. Marcio Rillo

Instituição: USP



Profa. Dra. Kátia Lucchesi Cavalca

Instituição: UNICAMP

Campinas, 06 de maio de 1998

**Dedicatória:**

Dedico este trabalho este trabalho:

a memória de meu pai,  
e a minha mãe.

## **Agradecimentos**

Gostaria de registrar minha admiração pela dedicação demonstrada pelo meu orientador, Prof. Dr. João Maurício Rosário, em todas as vezes que o solicitei para discutir problemas e principalmente pelo prazer que tive em aprender com uma pessoa de tamanha consciência científica.

Agradeço ao pesquisador Dr. Marcius Fabius de Carvalho, pela seriedade do apoio dado ao longo de todo este trabalho.

Ao Amigo fiel, inteligente e fascinante José Renato Arroyo Simões que soube transformar as viagens semanais em dias memoráveis.

Finalmente, agradeço aos colegas de trabalho do IAE e, em especial da AVE-Q.

As convicções são mais inimigas da verdade que as mentiras.

Nietzche

## Índice

1 Organização do trabalho	1
2 Conceitos introdutórios	5
Ciclo de vida de um sistema complexo	5
Posicionamento do trabalho desenvolvido	10
Confiabilidade	15
Conclusão	20
3 Modelo de Confiabilidade proposto	21
Introdução	21
Hipóteses	29
Método do Diagrama de Blocos de Confiabilidade	29
Sistemas série	35
Sistemas paralelo	37
Confiabilidade do software	39
Conclusão	42
4 Plataforma para validação do método	43
Descrição física	43

Descrição de funcionamento	49
Escolha do sistema para validação	54
Conclusão	55
5 Exemplo de Aplicação	56
Introdução	56
Cálculo da confiabilidade dos subsistemas - enfoque físico	59
Conclusão	104
6 Confiabilidade do sistema PIPEFA	106
Configurações básicas - enfoque físico	106
Configurações básicas - enfoque funcional	112
Unidades elementares com taxa de falha diferente	116
Identificação do elo mais fraco	119
Conclusão	121
7 Resultados e Discussões	122
Aplicação do método proposto na Fase de Desenvolvimento da PIPEFA	122
Abrangência do Sistema de Supervisão e do Sistema de Transferência	124
Resultados dos exemplos	126
Grafcet	126
Continuidade	127

8 Conclusões	129
Referências Bibliográficas	132
Anexo I    Obtenção dos dados básicos de confiabilidade	135
Anexo II    Diagrama de Blocos de Confiabilidade - Instantâneo	146
Anexo III    Configurações disponíveis na PIPEFA	161
Anexo IV    Programa computacional para cálculo da confiabilidade	166

## Resumo

Fazolli, Silvio, *Metodologia para Cálculo da Confiabilidade de Sistemas Complexos na Fase de Desenvolvimento*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998. 204 p. Tese (Doutorado)

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um método para cálculo do índice de confiabilidade de um sistema complexo na sua Fase de Desenvolvimento. Os métodos atuais de estimação da confiabilidade dão origem a um delta de confiabilidade demasiadamente elevado. O método proposto utiliza a técnica do Diagrama de Blocos de Confiabilidade considerando uma condição temporal aliada a uma característica da entrada dos dados de cada bloco do diagrama. Como consequência desta condição imposta originaram duas versões de diagrama de blocos de confiabilidade, o Instantâneo e o de Eventos. Para validação do método foi feita uma aplicação piloto na plataforma do Sistema PIPEFA, que é uma plataforma experimental para ensino e pesquisa. Três aplicações do método também são apresentadas. Foi desenvolvido um programa computacional que permite a aplicação desta metodologia em situações reais, de maneira bastante simplificada. Através desta metodologia o Sistema PIPEFA foi analisado, do ponto de vista da confiabilidade, sob dois enfoques: o físico e o funcional. Resultados adicionais, através da utilização de componentes com taxa de falha diferente e da análise do elo mais fraco, também foram gerados. Como resultado final o método mostrou-se eficiente no cálculo do índice de confiabilidade de um sistema complexo, na indicação da opção mais confiável enquanto na Fase de Desenvolvimento.

### *Palavras Chave*

Confiabilidade, Fase de Desenvolvimento, automação, modelagem.

## **Abstract**

FAZOLLI, Silvio, A Method for Reliability Evaluation of Complex Systems During their Development Phase, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998. 204 p. Tese (Doutorado)

The development of a reliability evaluation method for complex systems, during their development phase, is presented in this work. The methods currently in use generate the undesirable reliability delta. The method proposed in this work uses the traditional RBD (Reliability Block Diagram) Technique, considering a temporal condition together with a feature of the data input of each diagram block. As a consequence, an instantaneous and event reliability block diagram appear. To validate this method, it was applied to an industrial platform used for teaching and research (PIPEFA). Three applications are presented. A software was developed with this method. An additional study was performed by using contents with different failure rates and weakest link analysis. The obtained results show that the developed method is successful in predicting a better option, more reliable, during the development phase of a complex system.

### *Key Words*

Reliability, Development Phase, Automation, Modeling

## Lista de Figuras

2.1	Fases do ciclo de vida de um projeto complexo	5
2.2	Envolvimento dos recursos no ciclo de vida	6
2.3	Situação atual empresa grande x empresa pequena	8
2.4	Tendência de situação	8
2.5	Parte visual-concreta da PIPEFA	11
2.6	Parte não-visual concreta da PIPEFA	12
2.7	Apresentação inicial do sistema PIPEFA	13
2.8	Parte não concreta da PIPEFA	15
2.9	Decaimento genérico da confiabilidade com o tempo	18
2.10	Influência das intervenções planejadas na curva de confiabilidade	19
3.1	Desmembramento de um sistema hipotético	31
3.2	DBC dos subsistemas A1 e A2	31
3.3	DBC do sistema hipotético A	32
3.4	DBC Instantâneo da operação de carregamento das placas	34
3.5	DBC de eventos da configuração montagem de cubos	34
3.6	DBC contínuo	35
3.7	Sistema série	37
3.8	Sistema paralelo	38
3.9	Sistema paralelo - redundância parcial	39
4.1	Arquitetura da Plataforma	44
4.2	Organograma Técnico da PIPEFA - nível subsistema	45
4.3	Posto de carregamento/d Descarregamento	46
4.4	Posto de montagem/desmontagem	47
4.5	Posto de Inspeção	48
4.6	Diagrama de estrutura de confiabilidade	50
4.7	Diagrama de estrutura de confiabilidade opcional 1	52
4.8	Produto = placa mais dois blocos	54
5.1	Organograma Técnico da PIPEFA	58
5.2	Organograma Técnico do posto de carregamento e descarregamento	60
5.3	DBC da operação de carregamento, nível subsistema	61
5.4	DBC-Instantâneo – Operação de carregamento das placas	83
5.5	DBC da parte de controle da operação de carregamento	63
5.6	DBC da operação de descarregamento, nível subsistema	64
5.7	DBC da parte de comando da operação de descarregamento	66
5.8	Organograma Técnico do posto de inspeção	68
5.9	DBC da operação de aceitação, nível subsistema	69
5.10	DBC da parte de comando da operação de aceitação	70
5.11	DBC da operação de refugo, nível subsistema	72
5.12	DBC da parte de controle da operação de refugo	73
5.13	Organograma Técnico do posto de montagem central	75

5.14	DBC da operação de montagem central, nível subsistema	76
5.15	DBC da parte de controle da operação de montagem central	78
5.16	Blocos reduzidos da operação de montagem central	79
5.17	DBC da operação de desmontagem central, nível subsistema	79
5.18	DBC da parte de controle da operação de desmontagem central	80
5.19	Blocos reduzidos da operação de desmontagem central	82
5.20	Organograma Técnico do posto de montagem lateral	83
5.21	DBC da operação de montagem lateral, nível subsistema	83
5.22	DBC da parte de controle da operação de montagem lateral	84
5.23	Blocos reduzidos da operação de montagem lateral	85
5.24	DBC da operação de desmontagem lateral	88
5.25	DBC da parte de controle da operação de desmontagem lateral	89
5.26	Blocos reduzidos da operação de desmontagem lateral	90
5.27	Organograma Técnico do sistema de transferência	91
5.28	DBC do sistema de transferência, nível subsistema	95
5.29	DBC da parte de controle do sistema de transferência	96
5.30	Organograma Técnico do sistema de transferência	97
5.31	DBC da operação do sistema de transferência	97
5.32	Correção do índice de confiabilidade dos subsistemas	100
5.33	Blocos reduzidos das rotinas do sistema de transferência	101
5.34	Organograma Técnico do sistema de supervisão	101
5.35	DBC da operação do sistema de supervisão	102
6.1	Montagens realizadas pelo posto de montagem lateral	111
6.2	Montagens realizadas pelo posto de montagem lateral	111
6.3	Montagens realizadas pelo posto de montagem central e lateral	112
6.4	Produto placa mais um cubo	113
7.1	Opções para operação de montagem na PIPEFA	123
A1.1	Período do cronograma de testes de desenvolvimento da PIPEFA	141
A1.2	Gráfico função acumulada de falhas $F(t)$ do atuador pneumático	144

## Lista de Tabelas

4.1	Seqüência genérica de etapas	41
4.2	Seqüência de etapas opcional 1	43
4.3	Seqüência de etapas opcional 2	43
5.1	Valor corrigido da confiabilidade dos subsistemas	90
6.1	Comparação de índices de confiabilidade	104
6.2	Comparação dos resultados obtidos	107
A1.1	Ordenação dos dados	138
A1.2	Parâmetros obtidos através dos dados	139
A1.3	Tempo de testes de desenvolvimento de cada subsistema	141
A1.4	Descrição das unidades elementares	142
A1.5	Cronologia das falhas	143
A1.6	Valores correspondentes à categoria mediana - atuador pneumático	143
A1.7	Valores correspondentes à categoria mediana - transdutor	144

.....

## Nomenclatura

### *Letras Latinas*

R – confiabilidade

t - tempo

.....

### *Letras Gregas*

$\lambda$  - taxa de falha

.....

falha/unidade de tempo

### *Abreviações*

**CLP** – Controlador Lógico Programável

**PC** - Parte de Controle

**PO** - Parte Operativa

.....

### *Siglas*

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**DPM** - Departamento de Projeto Mecânico

**FEM** – Faculdade de Engenharia Mecânica

**PIPEFA** – Plataforma Experimental para Ensino e Pesquisa

**SAP** – Sistema Automatizado de Produção

.....

## **Anexos**

- Anexo I      Obtenção dos dados básicos de confiabilidade
  
- Anexo II     Diagrama de Blocos de Confiabilidade - Instantâneo
  
- Anexo III    Configurações disponíveis na PIPEFA
  
- Anexo IV    Programa computacional para cálculo da confiabilidade

## Capítulo 1

### Organização do Trabalho

A confiabilidade é um dos parâmetros de performance de um sistema. Para sistemas em uso, os dados obtidos através da manutenção, assistência técnica ou qualquer outro modo de coleta de dados permitem que a confiabilidade seja calculada. Quando os índices gerados por estes dados refletem uma situação incômoda, como baixa confiabilidade, quanto menor a confiabilidade maior a quantidade de reparo e, conseqüentemente, alto custo de suporte, o departamento de engenharia é acionado para iniciar o processo de implementação de modificações ou profundas alterações no sistema, com o intuito de reverter esta situação incômoda: aumentar a confiabilidade, diminuir o número de reparos para, finalmente, diminuir os custos de suporte. Normalmente, esta reversão é feita com sucesso e o mercado após um certo tempo também assimila esta nova realidade.

O tempo de assimilação do mercado é bastante variável em função de uma série de fatores, porém, em qualquer situação, quanto menor o tempo decorrido desde a percepção do baixo valor da confiabilidade até a colocação de um sistema modificado/alterado com uma confiabilidade mais alta, menor também será o tempo necessário para assimilação da nova realidade pelo mercado. Vale o raciocínio inverso, com a ressalva de que um tempo demasiadamente longo da percepção até a recolocação implicaria num período maior de custo elevado de suporte e, ainda, um período longo de assimilação do mercado, implicando numa somatória de tempo desfavorável que nem sempre pode ser suportada pela indústria.

Visando diminuir o risco de entrada em um período proibitivo, passou-se a estimar a confiabilidade do sistema, através de leis estatísticas, com base nos resultados de testes de confiabilidade e de desenvolvimento realizados antes da colocação do sistema no mercado,

enquanto a confiabilidade calculada com os dados de uso assumiu o status de confirmação de um índice já calculado.

Com o decorrer do tempo, constatou-se que o valor da confiabilidade calculada diferia do valor estimado, dando origem ao que se chama de delta de confiabilidade. Para tornar este delta menor, é necessário aumentar consideravelmente o número de testes e/ou o tamanho da amostra, o que nem sempre é possível em alguns sistemas/projetos.

Outra constatação foi que a confiabilidade estimada presta valiosa informação no decorrer do desenvolvimento de um projeto/sistema, à medida que indica o sentido de maior confiabilidade quando introduzida uma modificação. Sendo assim, o problema consiste no desenvolvimento de um método voltado para a estimação da confiabilidade de sistemas complexos, na Fase de Desenvolvimento, através da qual possa ser discernido o impacto de uma modificação no projeto/sistema e, ao mesmo tempo, forneça um valor cujo delta de confiabilidade seja mínimo.

Para expor o método desenvolvido, este trabalho irá iniciar, no Capítulo 2, com uma apresentação dos conceitos introdutórios e uma breve apresentação do sistema PIPEFA. Nesta apresentação é feita uma ligação das decisões tomadas nas fases iniciais do ciclo de vida de um projeto complexo e o índice de confiabilidade estimado nestas fases. Esta ligação permite estabelecer conseqüências para as próximas fases do ciclo de vida e é um dos motivos deste trabalho. Ainda neste capítulo, é feito um posicionamento do trabalho desenvolvido perante o exemplo de aplicação usado para validação do método.

No Capítulo 3 é feita uma revisão da literatura juntamente com o encadeamento de raciocínio que culminou com a proposição deste método. Na seqüência, será apresentado o método desenvolvido para cálculo da confiabilidade de sistemas complexos na fase de desenvolvimento, bem como os modelos de estrutura e equações de confiabilidade que são usados. Estas equações e estruturas são as tradicionalmente utilizadas em sistemas série e paralelo, com e sem redundância, porém, na utilização do diagrama de blocos de confiabilidade (DBC) é proposta sua aplicação em duas versões: o DBC Instantâneo e o DBC de Eventos. O DBC Instantâneo é aplicado quando os componentes do sistema, do qual se calcula a confiabilidade, operam simultaneamente e o tempo decorrido entre o início da operação e o

término não permite que haja variação nas características de confiabilidade dos componentes do sistema; enquanto o DBC de Eventos não representa um sistema, mas um encadeamento de eventos, os quais constituem a entidade de que se deseja calcular o índice de confiabilidade.

O Capítulo 4 contém a descrição do sistema que será usado para validação do método desenvolvido, a PIPEFA (Plataforma para Automação e Controle Industrial), cuja parte física está sendo implementada no Laboratório de Automação Integrada e Robótica na Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Este sistema é composto por quatro postos de trabalho, um sistema de supervisão e um sistema de transferência, e permite simular os principais elementos de um sistema automatizado de produção, caracterizando um sistema produtivo, com o intuito de dar uma formação básica para os profissionais na área de Automação e Controle Industrial.

No Capítulo 5 terá início um exemplo de aplicação, que será finalizado no Capítulo 7, onde serão calculados os índices de confiabilidade de todos os subsistemas da PIPEFA. Este cálculo será feito com base no DBC Instantâneo; também serão apresentadas todas as equações utilizadas e, finalmente, um bloco reduzido que representará toda operação disponível na PIPEFA já com um índice de confiabilidade atrelado, de modo que a próxima etapa, cálculo da confiabilidade do sistema, será fortemente simplificada. Para o cálculo do índice de confiabilidade de cada operação, foi utilizado um programa computacional desenvolvido a partir desta metodologia; sendo assim, tal cálculo foi realizado como uma maquete para validação deste programa computacional.

No Capítulo 6 será concluído o cálculo da confiabilidade do sistema através do DBC de Eventos, com os resultados obtidos no capítulo anterior; é proposto analisar o sistema, não pelo produto físico resultante, mas funcionalmente e, através do valor da confiabilidade, é discutido o ganho obtido. Neste capítulo ainda são feitas mais duas análises para avaliação do ganho no índice de confiabilidade: uma através da utilização de componentes com taxas de falha diferentes daquelas usadas inicialmente, e outra através da substituição do componente (bloco) com índice de confiabilidade mais baixo.

No Capítulo 7 estão os comentários e discussões relevantes que permitem um melhor entendimento do trabalho desenvolvido com a comparação dos resultados das análises feitas.

Finalmente, no Capítulo 8, são apresentadas as conclusões e são feitas as sugestões para os próximos trabalhos.

São apresentados sob a forma de anexos: uma metodologia utilizada para obtenção de dados básicos de confiabilidade (taxa de falha) de unidades elementares; os DBCs das operações disponíveis na PIPEFA, as tabelas contendo os produtos e índice de confiabilidade atrelado à cada configuração da PIPEFA e três exemplos de aplicação do método com o programa computacional desenvolvido.

## Capítulo 2

### Conceitos Introdutórios

Este capítulo apresenta uma revisão geral dos principais temas abordados neste trabalho, confiabilidade e desenvolvimento de um projeto complexo, de maneira atualizada, incorporando o advento da simulação.

#### 2.1 Ciclo de vida de um sistema complexo

O ciclo de vida de um sistema/projeto complexo pode ser dividido em quatro fases:

- Conceitos e definições,
- Projeto e desenvolvimento,
- Produção e instalação e
- Operação e manutenção.

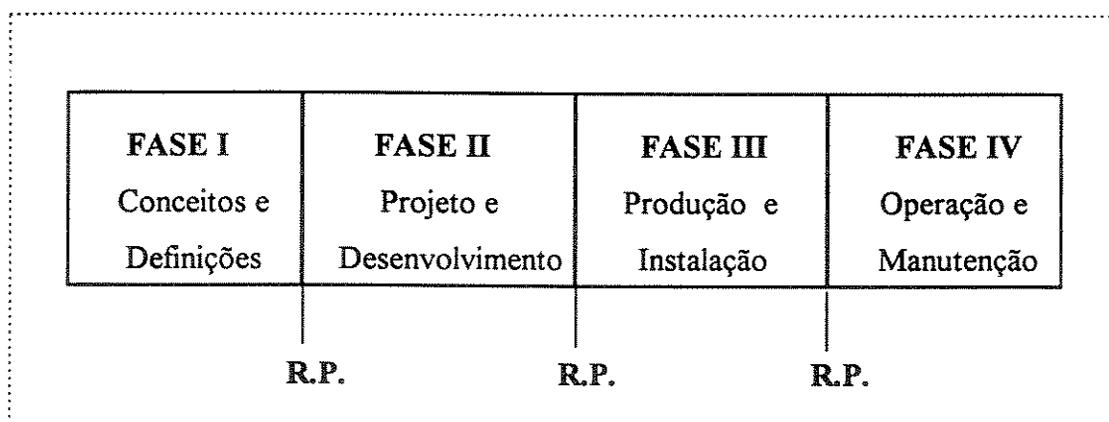


Fig. 2.1- Fases do ciclo de vida de um projeto complexo

A passagem de uma fase para outra é balizada por pelo menos uma revisão de projeto (RP), as quais se caracterizam por um exame formal do andamento do projeto. Neste momento, são detectadas e corrigidas possíveis deficiências e é verificada a adequação do projeto à sua aplicação. Este andamento do projeto consome recursos, mas, principalmente, compromete recursos que serão consumidos. Para projetos militares, no final da década de 70, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, revela que:

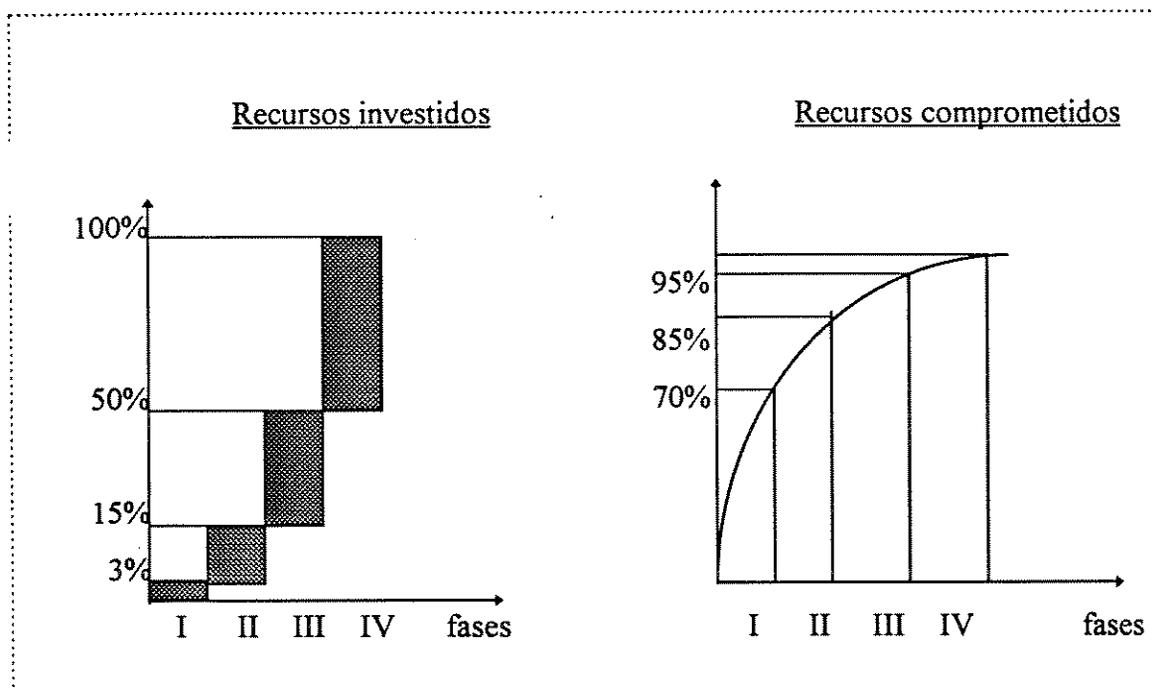


Fig. 2.2 - Envolvimento dos recursos no ciclo de vida

Por mais simples que sejam, os sistemas automatizados de produção (SAP) atuais são sistemas complexos constituídos por tecnologias oriundas de várias disciplinas distintas como: informática, modelagem matemática, sistemas de controle, etc. Para sua implantação, além de planejamento e investimentos de longo prazo, é necessário o desenrolar das fases do ciclo de vida de um sistema complexo.

Durante a Fase de Desenvolvimento lidamos com incertezas, sendo algumas relativas ao futuro comportamento deste sistema na fase de operação. Quando é possível realizar a simulação, ainda na Fase de Desenvolvimento, o comportamento do sistema passa a ser caracterizado por parâmetros que diminuem essas incertezas e são usados no auxílio das

decisões necessárias nesta fase, tornando possível avaliar, introduzir e comparar modificações na busca de um sistema otimizado, a um custo mínimo.

Uma vez implantado, o sistema automatizado inicia sua atividade cuja performance será fator determinante na sobrevivência da empresa, pois poderá ser o diferencial na competição com concorrentes e/ou ser mais ou menos oneroso. Na fase produtiva, qualquer modificação no SAP implica não somente em planejamento e investimento, mas também em prejuízo durante o tempo não produtivo, necessário para tal modificação e, através dos gráficos da figura 2.2, é possível comparar a implicação de uma modificação, perante os recursos consumidos e comprometidos, quando efetuada na Fase de Desenvolvimento.

Os projetos de maior porte normalmente incluem no seu planejamento os meios necessários para realizar simulações na Fase de Desenvolvimento e o fazem através de meios bastante específicos e dedicados. Na Fase de Desenvolvimento de um foguete, por exemplo, são feitas simulações da trajetória prevista para o foguete. Esta simulação é feita com auxílio de software desenvolvido exclusivamente para este fim.

Este desenvolvimento do software de simulação é caro, longo e feito por especialistas. Seu custo, embora alto, é absorvível no custo total do projeto e o tempo necessário para seu desenvolvimento não implica em tempo adicional não previsto no cronograma.

Outro exemplo poderia ser o da implantação de uma linha de montagem da indústria automobilística. Antes da sua instalação o sistema produtivo já sofreu simulações, na Fase de Desenvolvimento, através de um sistema também desenvolvido exclusivamente para este fim, na qual o futuro comportamento do sistema foi avaliado através de parâmetros que permitiram optar e obter um sistema otimizado (gargalos, tamanho de filas, ociosidade de equipamentos...).

Quando partimos para projetos menores, as indústrias, por mais desejado que fosse, normalmente não dispõem de meios e recursos para realizar simulações. O custo de desenvolvimento de um meio (sistema) para simulação, muitas vezes não é compatível com o custo do projeto e, ainda, acarreta tempo adicional. Como consequência temos o seguinte quadro: de um lado as grandes empresas, com projetos maiores, normalmente desfrutam de

sistemas de simulação dedicados a um produto; de outro, estão as pequenas empresas com projetos menores sem a possibilidade econômica - financeira de utilização desta ferramenta como indicado na figura 2.3

<ul style="list-style-type: none"> <li>• empresa grande</li> <li>• projeto grande</li> <li>• sistemas de simulação dedicado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• empresa pequena</li> <li>• projeto menor</li> <li>• ausência de sistemas de simulação</li> </ul>
--	---

Fig. 2.3 - Situação atual empresa grande x empresa pequena

Este quadro reflete a situação atual e não é estático, se deslocando na direção da proliferação generalizada de simulações na fase de desenvolvimento de qualquer projeto/sistema devido às vantagens econômicas, cronológicas e técnicas obtidas quando as decisões são tomadas na Fase de Desenvolvimento, e não após as constatações, na Fase de Operação. Como decorrência da evolução, o quadro mostrado acima tende a modificar-se para:

empresa grande	ou	empresa pequena
projeto grande	ou	projeto menor
sistemas de simulação dedicados	⇒	sistemas de simulação mais generalistas

Fig. 2.4 - Tendência de situação

Outra mudança percebida, está na postura bastante agressiva das empresas, independente do tamanho, na busca da flexibilização, do aumento da produtividade e da racionalização de recursos, de tal forma que obriga o engenheiro não somente a ter contato e dominar outras áreas, não necessariamente abrangidas em sua formação, como gerenciamento e planejamento,

mas também de outras modalidades de engenharia. Estes fatos implicaram em uma mudança do perfil do engenheiro.

Fato bastante marcante desta mudança é a presença crescente da informática na rotina das empresas, permitindo o conhecimento dos dados, o gerenciamento do processo e a tomada de decisão em tempo real. Esta presença marcante da informática também tem seu marco nas escolas de engenharia, quando passou a fazer parte curricular da formação do engenheiro, caracterizando desta forma a sintonia indústria/formação. É importante frisar que a presença da informática nas escolas de engenharia não se limita à incorporação de disciplinas de linguagem de programação, mas se estendem ao conhecimento e a utilização do hardware necessário.

Privilegiando este enfoque: necessidade de meios de simulação acessível às empresas menores e de atualização da formação do engenheiro, foi proposto pela FEM-UNICAMP um projeto temático de cooperação científica em conjunto com o Laboratório de Engenharia Integrada de Sistemas Industriais, ISMCM-CESTI/LIISI - França, cujo objetivo fundamental é a formação de um pólo de excelência em produção automatizada com estreita ligação com o meio industrial.

Como materialização deste elo indústria/escola, está sendo implementada no Laboratório de Automação Integrada e Robótica (LAR) uma Plataforma para Automação e Controle Industrial, (PIPEFA), dirigida ao desenvolvimento de métodos e ferramentas para automação e controle industrial voltados para as Pequenas e Médias Empresas, PME, capaz de:

- i) caracterizar um sistema produtivo,
- ii) permitir a simulação dos principais elementos de um SAP,
- iii) ser genérica,
- iv) minimizar os custos de desenvolvimento e fabricação de um produto em termos de sistema de controle e comando e

v) ter gastos mínimos com insumos, e

iv) complementar a formação do engenheiro mecânico.

## **2.2 Posicionamento do trabalho desenvolvido**

O Sistema PIPEFA se propõe a representar um Sistema Automatizado de Produção (SAP) e, para tal, exibe de maneira visual e concreta a montagem (desmontagem) de blocos “Lego” em uma placa “Lego”. A placa vazia (placa com cubos) é colocada em um meio que irá transportá-la até o local da montagem (desmontagem), depois para o local onde será feita a verificação da montagem (desmontagem) realizada e, finalmente, para o local que irá retirar a placa com blocos (placa vazia) do sistema.

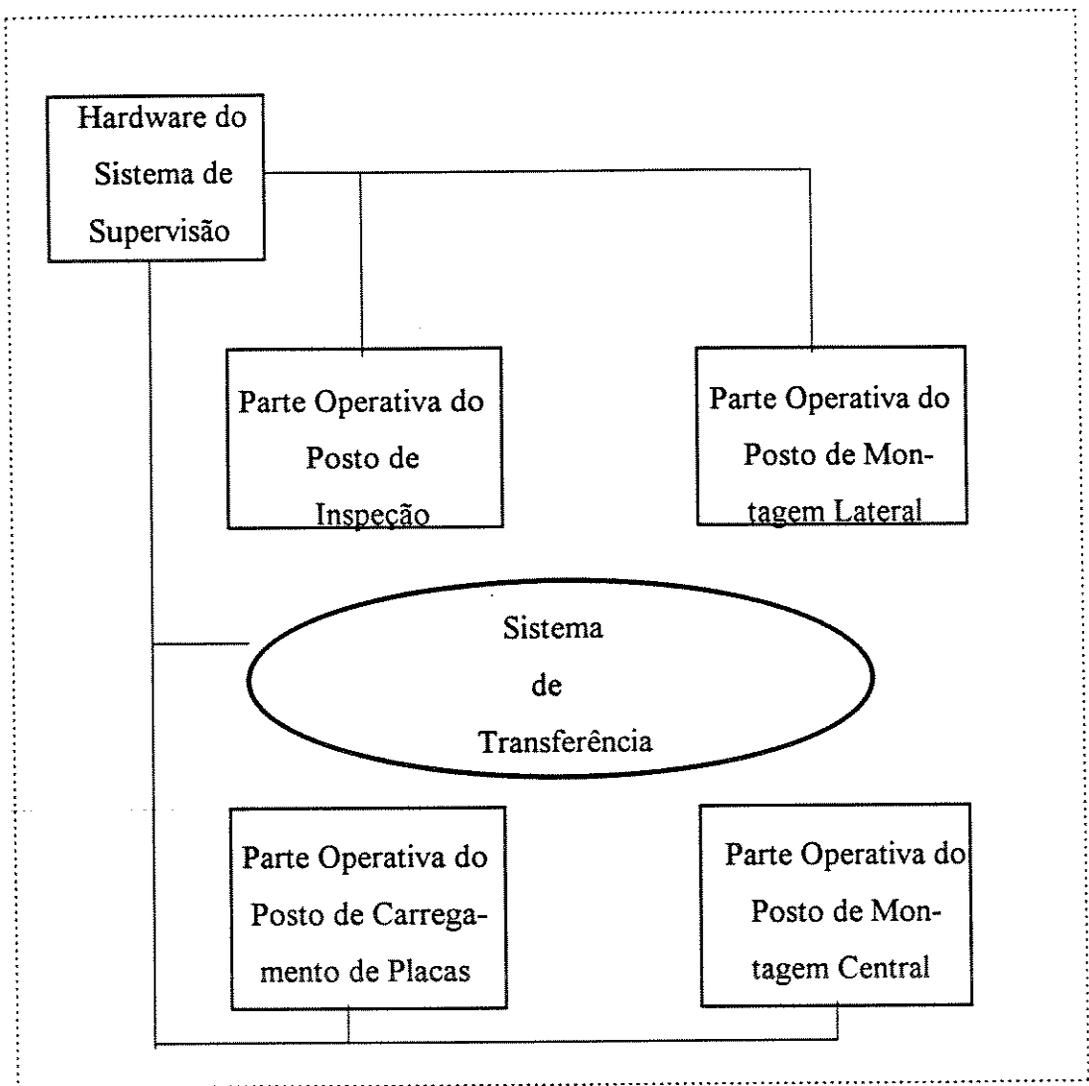


Fig. 2.5 - Parte visual-concreta da PIPEFA

Para completar a representação de um SAP, simultaneamente, a PIPEFA executa tarefas concretas não visíveis que são o acionamento dos locais descritos anteriormente (Postos) e o controle das decisões necessárias, por exemplo, o destino a ser dado a uma placa cujo número de cubos esta equivocado.

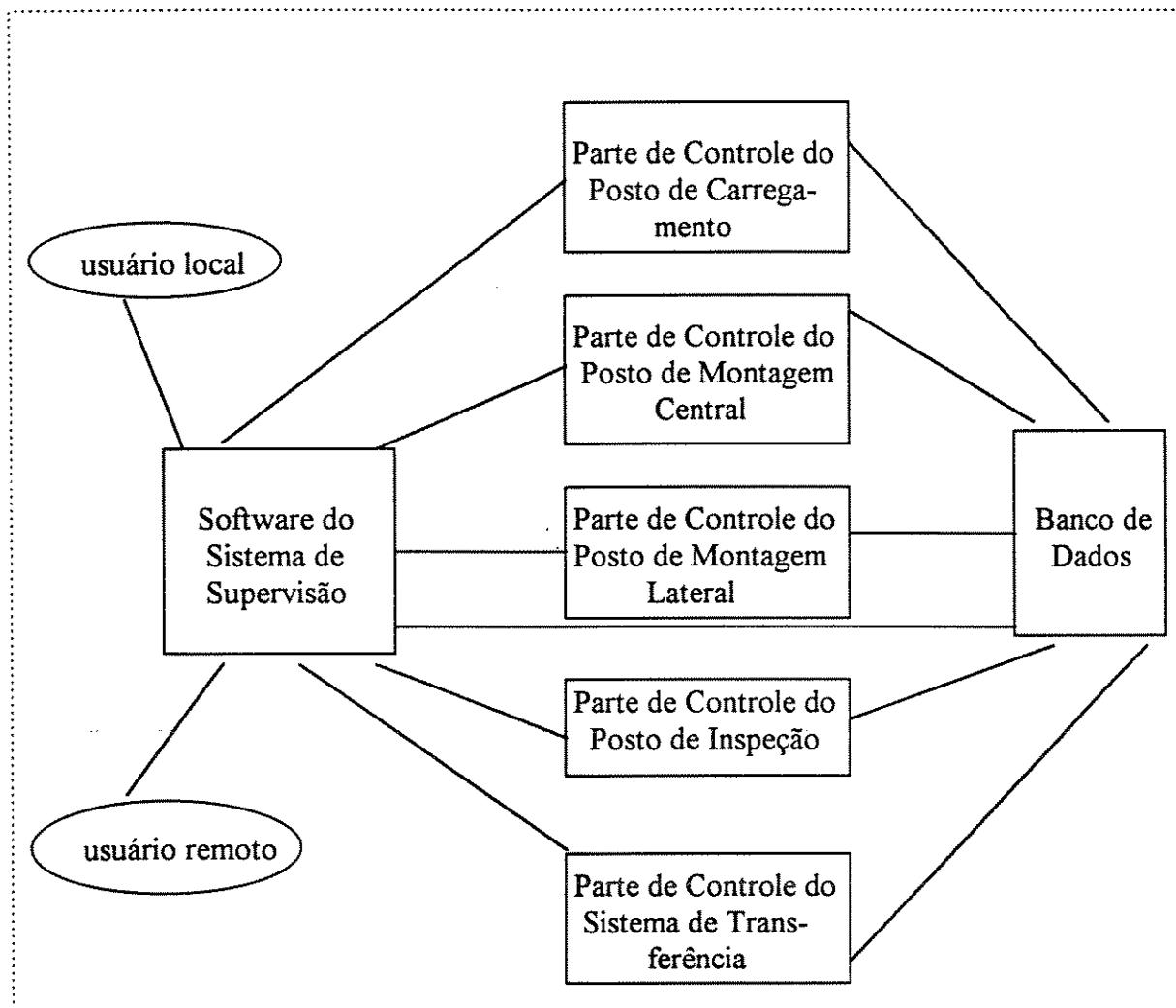


Fig. 2.6 - Parte não-visual concreta da PIPEFA

Sendo assim, podemos descrever numa primeira apresentação, no Capítulo 5 o Sistema será apresentado em mais detalhes, o Sistema PIPEFA sendo formado por quatro postos de trabalho:

- a) Posto de Montagem Central - realiza a (des)montagem de cubos na posição central da placa;
- b) Posto de Montagem Lateral - realiza a (des)montagem de cubos nas duas posições laterais da placa;
- c) Posto de Carregamento - para carregamento e descarregamento das placas no meio de transferência; e
- d) Posto de Inspeção - para verificação das operações realizadas,.

Possui, ainda, dois sistemas; um encarregado de transferir a placa entre os postos de trabalho, Sistema de Transferência, e outro responsável pelo gerenciamento de todo Sistema, Sistema de Supervisão.

Cada posto possui uma Parte Operativa (PO) - que realiza as tarefas concretas visíveis - e uma Parte de Comando (PC) - que realiza as tarefas concretas invisíveis - ambas individualizadas, de modo que cada posto pode trabalhar de maneira independente ou totalmente integrada com os outros postos.

A figura 2.7 ilustra a descrição até este ponto.

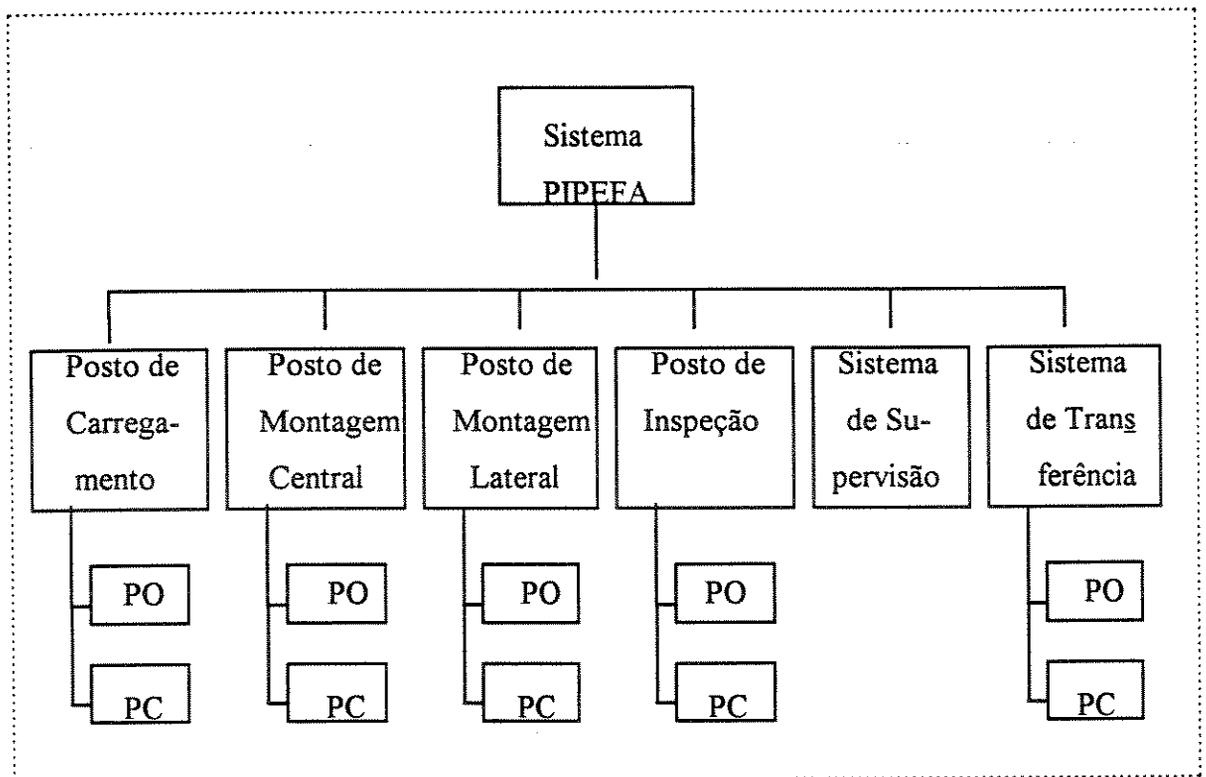


Fig. 2.7 - Apresentação inicial do Sistema PIPEFA

Pode se ver que é um sistema modular que possui um determinado grau de generalidade e reconfigurabilidade, através de diferentes arquiteturas físicas e de comando. Fisicamente a plataforma poderá ser configurada para carregar placas no sistema de transferência, montar ou desmontar 27 "produtos" (placa mais cubo(s)), verificar a montagem ou desmontagem feita e descarregar as placas do sistema de transferência. A opção pela operação de montagem ou

desmontagem é uma simples opção de comando, não implica em rearranjo físico, assim como a montagem de alguns “produtos” realizados no mesmo posto, por exemplo, montar um único bloco ou montar dois blocos um sobre o outro também é uma simples opção de comando.

A PIPEFA é um sistema multi-usuário com baixo custo de implementação, cujo objetivo físico imediato é a simulação, da maneira mais realística possível, de diferentes tipos de fabricação. Desta maneira, tanto a parte de comando como a parte de controle dos postos utilizam componentes industriais; e a opção pelos produtos “Lego” viabilizam uma característica sempre desejável, porém de obtenção ainda mais difícil quando é necessário precisão e custo baixo.

Para sua concretização torna-se necessário uma união de competências, cujo resultado permitirá atingir seus objetivos principais, dos quais citamos:

- colocar à disposição das PME, ferramentas e métodos resultantes dos mais recentes desenvolvimentos Técnicos e Científicos dentro do domínio de “Engenharia de Automação”, para melhoria da qualidade, custo e produtividade de fabricação,
- colocar à disposição das PME procedimentos e metodologias de maneira acessível às indústrias em termos de custo e facilidade de utilização, e
- propiciar um ambiente de integração de atividades em automação e solidificação de grupos de pesquisa.

Os objetivos físicos imediatos já seriam suficientes para justificar a existência da Plataforma e, caso não fosse almejado nada mais, teríamos a função da Plataforma satisfeita através da parte concreta da PIPEFA (visível e invisível), quando todos os constituintes operassem sem falhas.

A evolução na educação/formação do engenheiro se verifica, num primeiro instante, considerando a materialização de um laboratório para *prática* dos métodos e técnicas de engenharia de automação e *exploração* dos resultados obtidos, de maneira a atingir o modo mais eficiente na realização de uma tarefa. Num segundo momento, menos imediato, se verifica

através da ampliação de horizontes do engenheiro, obtida pela oportunidade de vivenciar este ambiente de um projeto temático, cuja realização só é possível através da união de competências, gerando um ambiente motivador, estimulando a proposição de inovações.

Os objetivos principais da PIPEFA, contudo, incluem metodologias, desenvolvimento técnico e científico, ambiente de integração, melhoria da qualidade, custo e produtividade entre outros, e isto nos leva a abordar uma outra parte da PIPEFA, a parte não-concreta.

A figura 2.8 resume esta discussão.

A parte não-concreta da PIPEFA consiste, especialmente, no ambiente criado por este projeto temático, o qual motiva e permite a integração e geração de novos métodos e tecnologias. Explorando esta parte não-concreta, este trabalho apresenta um método para cálculo da confiabilidade de sistemas complexos, discute a utilização do índice de confiabilidade como um valor absoluto atribuído a um sistema e a imprecisão da confiabilidade prevista.

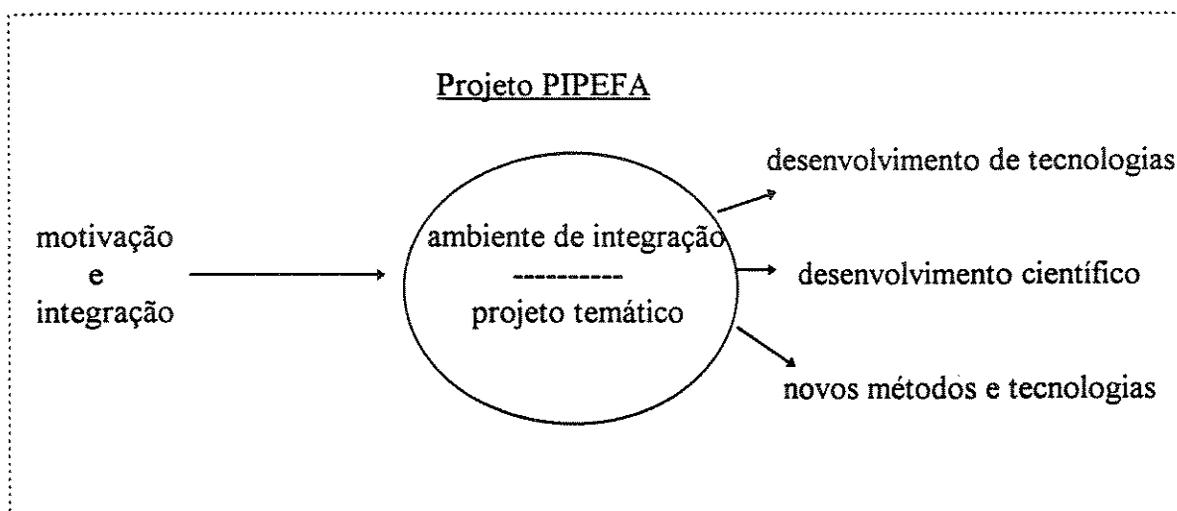


Fig. 2.8 - Parte não concreta da PIPEFA

### 2.3 Confiabilidade

Confiabilidade, segundo definição da ABNT<sup>1</sup>, é a “capacidade de um item em desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de

<sup>1</sup> NBR 5462 - Confiabilidade - Terminologia, ABNT, SP, 1993.

tempo". Quando estamos na Fase de Operação, esta capacidade, na sua forma mais simples, é medida através de um número resultante da proporção de casos favoráveis pelo número de casos totais, e é chamada de confiabilidade constatada; se estamos na Fase de Desenvolvimento, ainda não dispomos de dados para estabelecer a relação casos favoráveis/casos totais, e é gerado um número através de leis estatísticas, que dão precisão para esta estimativa, baseada em resultados de ensaios de desenvolvimento, nesta Fase este índice é chamado de confiabilidade prevista.

Obviamente, é muito desejada uma predição precisa da confiabilidade, porém, predição da confiabilidade implica no conhecimento das causas de falha, que só é possível durante a Fase de Uso com o devido recolhimento de dados. Sendo assim, a predição da confiabilidade raramente pode ser feita com precisão aceitável.

A diferença constatada entre a confiabilidade predita e a confiabilidade observada que é obtida durante o uso, costuma-se chamar de delta de confiabilidade, e tem sido um longo problema na engenharia da confiabilidade.

Durante anos, a confiabilidade dos sistemas de armas, durante o uso, foi consistentemente menor que a predita durante o desenvolvimento do sistema<sup>2</sup>.

O Relatório para o Congresso Norte Americano sobre os Resultados do Estudo Comparativo de Sistemas Lançadores Estrangeiros, publicado em dez./94, tinha como objetivo, entre outros, determinar o efeito aproximado das diferenças no custo relativo, confiabilidade, e eficiência operacional de tais veículos espaciais; concluiu-se: a única medida de mérito para a confiabilidade é a performance observada. Com um tamanho muito grande de amostra, a

---

<sup>2</sup> Phillip E. Miller and Richard I. Moore. Field Reliability Versus Predicted Reliability: An Analysis of Root Causes for the Difference. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium - 1991.

confiabilidade demonstrada pode se aproximar da verdadeira confiabilidade<sup>3</sup>.

Apesar dos problemas constatados para predizer o valor da confiabilidade, sua importância veio aumentando consideravelmente nos últimos anos, a ponto de, em alguns casos, se tornar a principal preocupação, consumindo razoável parcela do orçamento e, ainda, influenciando de maneira decisiva o planejamento e os critérios usados nos testes de envolvimento.

Quando se tenta explicar as razões deste crescimento de importância da confiabilidade, encontra-se inúmeras razões, dentre elas, o valor de um prognóstico preciso para os custos de suporte, a quantidade de peças sobressalentes, e os custos de garantia. É possível determinar estes valores através do conhecimento prévio da confiabilidade mas, quando se olha para as consequências da não confiabilidade, fica mais claro o entendimento deste significativo aumento de importância. A não confiabilidade tem consequências desfavoráveis, no mínimo, no custo, no tempo gasto e no efeito psicológico inconveniente.

O tempo gasto é uma consequência freqüente da não confiabilidade; na indústria ele é sempre sinônimo de custos desnecessários. O conhecimento da confiabilidade do sistema permite planejar em termos do número efetivo ao invés do número físico. Quando discutimos o número de máquinas operatrizes necessárias para atingir determinado nível de produção, nós estamos falando do número físico e não do número efetivo. Assim, se a confiabilidade de um sistema produtivo é 90%, o número efetivo disponível é 9/10 do número físico. Este fato normalmente é ignorado, e é *equivalente a assumir 100% de confiabilidade* para o sistema produtivo, quando de fato nós temos apenas 90%.

Esta diferença de índice (100% para 90%), projetada para toda uma linha de produção, tem consequências sempre desfavoráveis, e ainda são agravadas quando projetamos ao longo do tempo. O gráfico da figura 2.9 representa esta situação.

---

<sup>3</sup> Report to Congress on Results of Foreign Launch System Comparison Study - USA, DoD - Dez. 1994

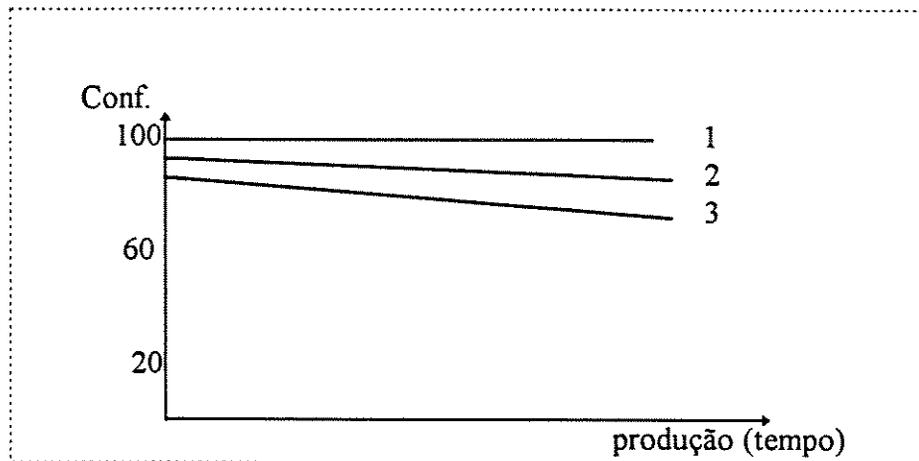


Fig. 2.9 - Decaimento genérico da confiabilidade com o tempo

Na figura:

- 1 = representa o comportamento assumido para o sistema quando não é considerado o índice de confiabilidade. Foi assumido 100%.
- 2 = representa o comportamento do sistema acima quando consideramos a confiabilidade - implica o valor real
- 3 = representa o comportamento de uma opção disponível a ser comparada, com a curva 2, para satisfazer a mesma função

Uma prática bastante utilizada com sistemas reparáveis é, com o conhecimento prévio do comportamento da confiabilidade do sistema ao longo do tempo, propor intervenções planejadas para restabelecer as condições iniciais, pois através destas intervenções é possível impedir que a confiabilidade do sistema atinja valores perigosamente baixos. Gráficamente ter-se-ia a situação da figura 2.10:

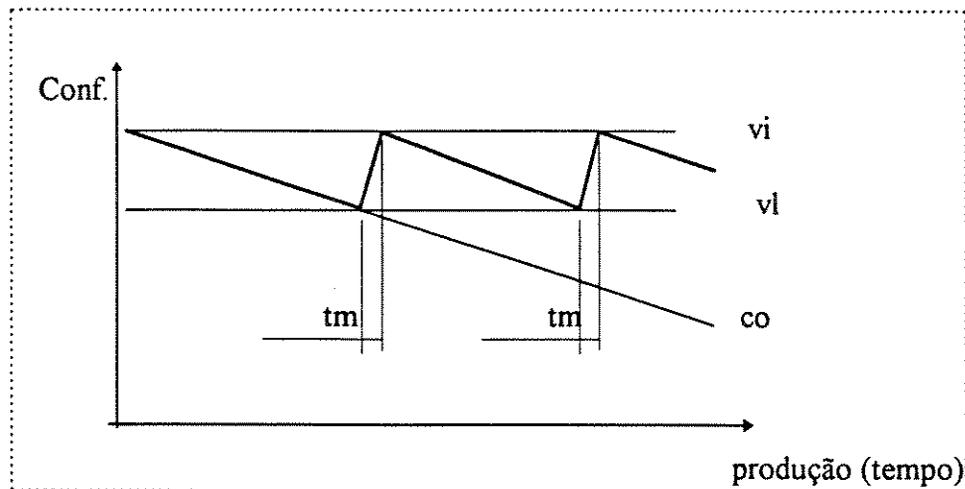


Fig. 2.10 - Influência das intervenções planejadas na curva de confiabilidade

onde:  $v_i$  = é o valor inicial da confiabilidade do sistema

$v_l$  = é o valor limite inferior aceitável para a confiabilidade do sistema

$co$  = é a curva original de confiabilidade do sistema

$t_m$  = tempo necessário para restabelecer as condições iniciais (manutenção).

Quando se admite 100% de confiabilidade, estamos em uma condição irreal, que já num primeiro momento nos levaria a planejar em bases inexistentes em termos de custo e tempo, e que ainda seria bastante agravada com o decorrer do tempo. Quando estas intervenções planejadas são contabilizadas à priori ( $t_m$ ) para efeito de custo e tempo, é possível manter o nível de confiabilidade num determinado patamar e, assim, evitar a ocorrência de interrupções não programadas no processo produtivo.

Sendo assim, o método proposto para cálculo da confiabilidade de sistemas complexos encontrou no ambiente do Projeto PIPEFA o cenário ideal para uma aplicação piloto: na simulação, na Fase de Desenvolvimento, estamos no melhor momento para buscar índices esperados e/ou desejados para o sistema. Através da incorporação do índice de confiabilidade numa simulação os índices obtidos estarão mais próximos da capacidade real de cada configuração simulada.

O índice de confiabilidade gerado nas condições acima é um valor adequado para referência. Com a vantagem da simulação de várias opções para atender uma mesma missão, pode-se simular situações críticas em estados limites (valor inferior do índice de confiabilidade). Estas simulações, feitas na Fase de Desenvolvimento permitirá que o projetista não somente opte realmente pela configuração mais adequada, mas também que antecipe alguns problemas que por isso, são contornáveis, tornando um sistema menos susceptível a falhas, e como consequência mais confiável.

A flexibilidade da simulação na Fase de Desenvolvimento permite que várias razões, como a manufaturabilidade, o custo total, a performance, por exemplo de um sistema produtivo com 90% de confiabilidade, o torne mais vantajoso que um de 95% de confiabilidade.

Decisões deste tipo requerem um bom balanço dos fatores envolvidos: esforços relativos, despesas necessárias para alcançar um nível desejado de confiabilidade e vantagens adicionais obtidas. É essencial que se analise o índice de confiabilidade em conjunto com os demais parâmetros gerados pela simulação.

## **2.4 Conclusão**

Foi feita uma revisão dos principais assuntos abordados neste trabalho. A incorporação da simulação, o envolvimento de todos os recursos no ciclo de vida e a desejada evolução continuada na formação do engenheiro e pessoal técnico impõe uma reflexão sobre os métodos existentes para cálculo da confiabilidade na Fase de Desenvolvimento de um sistema complexo, em particular quando se privilegia a PME no trabalho desenvolvido. O capítulo seguinte apresentará uma revisão da literatura que permitirá a identificação do “estado da arte” dos tópicos relevantes e o método desenvolvido para cálculo da confiabilidade.

## Capítulo 3

### Modelo de Confiabilidade Proposto

Este capítulo apresenta uma proposta de método de análise da confiabilidade aplicado a sistemas complexos, que tem como base a técnica do Diagrama de Bloco de Confiabilidade (DBC). No método foi incorporado a condição temporal, normalmente não considerada nesta técnica tradicional, o que resultou no surgimento de duas versões para a técnica do DBC: DBC Instantâneo e o DBC de Eventos.

#### 3.1- Introdução

##### 3.1.1 - Considerações Sobre a Literatura

Inicialmente, o termo confiabilidade estava bastante ligado com a idéia de probabilidade de sucesso da operação do sistema e, conseqüentemente, permitia que tal probabilidade fosse obtida diretamente da proporção: número de sistemas que não falharam pelo número total de sistemas colocados em funcionamento (critério de frequência). Porém, na definição atual de confiabilidade, *“probabilidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”*, existem dois termos que exigem entendimento mais amplo desta probabilidade de sucesso.

O primeiro termo é: “durante um dado intervalo de tempo”. Se o sistema em estudo é um televisor e temos os dados referentes as falhas ocorridas nos dois primeiros anos, poderíamos, utilizando a idéia inicial de confiabilidade, obter índices diferentes para o mesmo sistema, ou seja, admitindo um lote de 100 televisores, no primeiro ano seis televisores

falharam e no segundo apenas quatro. No final do primeiro ano diríamos que a confiabilidade do televisor é 0,94 (94/100), mas no final do segundo ano diríamos que o mesmo sistema tem uma confiabilidade de 0,9 (90/100). Este termo “durante um dado intervalo de tempo” existente na atual definição de confiabilidade elimina esta ambigüidade.

O segundo termo, “sob condições especificadas”, também age no sentido da eliminação de ambigüidades. Por exemplo, outro lote de 100 televisores, pode resultar em um número de falhas bastante diferente daquele encontrado no primeiro lote se, por exemplo, a variação da tensão de alimentação for diferente, ou ainda pior, fora dos limites especificados pelo fabricante.

Embora tenha havido evolução conceitual na definição de confiabilidade, através da utilização de termos, a idéia central, “probabilidade de sucesso”, ainda gera discussões.

Retornando ao exemplo do televisor, vamos admitir que ao final do segundo ano, a imagem, tonalidade das cores, mostre-se mais desgastada em alguns televisores que em outros. Embora exista som e imagem, devemos considerar como sucesso, da mesma maneira que os outros televisores que não apresentaram este desgaste? Uma definição exata de sucesso nem sempre é tão óbvia quanto possa parecer à primeira vista e, neste caso, a definição atual de confiabilidade não eliminou esta ambigüidade.

Outra consequência atual é que com o aumento da complexidade e das características de alguns sistemas, principalmente na área bélica e espacial, a confiabilidade passou a ser calculada com antecedência da Fase Uso, ou seja estimada.

Para estimação da confiabilidade de sistemas eletrônicos a norma mais utilizada é a MIL HDBK 217, cuja aplicação nos últimos anos, provou não ser uma estimação muito confiável<sup>4</sup>. Esta técnica acarreta numa taxa de falha muito acima daquela verificada na Fase Uso do sistema. Outra característica é que para aplicação desta técnica é necessário o conhecimento detalhado, nível componente, do sistema.

---

<sup>4</sup> The Impact of Army Reliability Standardization Improvement on Reliability Testing. Michel J. Cushing. RAC Journal, vol 4, No. 3. 1996

Um estudo comparativo entre seis métodos disponíveis para predição de confiabilidade de sistemas eletrônicos mostrou uma diferença de 240 vezes no valor obtido, entre o maior e o menor valor, para a taxa de falha do mesmo componente<sup>5</sup>.

Outra técnica bastante utilizada, quando dispomos de dados de sistemas similares que já estão na Fase Uso, é o da plotagem da probabilidade. Neste caso, os dados de falha coletados são usados para determinar a distribuição estatística que melhor caracteriza o comportamento do sistema. Conhecida a distribuição estatística é feita a previsão da confiabilidade. Esta técnica só se aplica à sistemas não reparáveis.

Para estimação da confiabilidade de um sistema, é necessário fazer uma distinção entre os sistemas não reparáveis e os reparáveis:

- sistemas não reparáveis são aqueles que poderá ocorrer uma única falha durante a vida do sistema.
- sistemas reparáveis são aqueles que quando ocorrer a falha, o sistema será reparado. A estimação da confiabilidade é feita através da probabilidade que a falha não ocorrerá no período de interesse.

Para sistemas mecânicos, o modelamento para predição torna-se praticamente impossível devido ao fato que a maioria dos componentes mecânicos são dependentes do desgaste ao longo de sua vida<sup>6</sup>.

Outras técnicas de estimação da confiabilidade existem e sempre consideram o contínuo decréscimo da confiabilidade ao longo do tempo. Na tentativa de diminuir esta diferença entre o valor previsto durante a Fase de Desenvolvimento e o valor encontrado na Fase Uso, as técnicas mais recentes propõem uma correção do valor da confiabilidade previsto, na Fase de

---

<sup>5</sup> A Survey of Reliability-Prediction Procedures For Microelectronic Device. John B. Bowles. IEEE Transactions on Reliability, vol. 41, No. 1. 1992

<sup>6</sup> Mechanical Reliability - Part IV. James A. McInn. Reliability Review, vol. 17. 1997.

Desenvolvimento, através da realimentação do valor da taxa de falha com base nos valores encontrados na Fase Uso<sup>7</sup>.

### 3.1.2 - Considerações Gerais

Durante todas as fases do ciclo de vida de um sistema complexo são feitas avaliações do índice de confiabilidade. O principal objetivo de se estimar a confiabilidade do sistema em qualquer fase do ciclo de vida é aumentar o nível de confiabilidade na Fase de Uso. A confiabilidade observada<sup>8</sup> é consequência das escolhas feitas anteriormente, principalmente na Fase de Projeto e Desenvolvimento, e de sua implementação na Fase de Produção e Instalação e da forma de manutenção e operação na Fase de Operação e Manutenção.

A avaliação do índice de confiabilidade<sup>2-4</sup> pode ser feita através de modelamento matemático, testes de laboratório, testes de campo e testes auxiliados por computador (simulações híbridas) e em qualquer caso estão baseadas no fato de que uma falha no componente resulta numa transição do estado operacional para o não operacional. Todos os modelos são estocásticos.

Os modelos matemáticos podem ser estáticos ou dinâmicos e em ambos os casos a análise poderá ser feita com base em modelos analíticos ou através da simulação de Monte Carlo.

A classificação dinâmica ou estática se dá em função da maneira como é considerada a falha do sistema: quando a falha é considerada um evento aleatório que pode ocorrer em qualquer instante do período de funcionamento do sistema, o modelo matemático é considerado dinâmico; quando as estatísticas de falha do sistema são estimadas com relação ao período de tempo mas não consideram especificamente o momento da ocorrência da falha, o modelo é considerado estático.

---

<sup>7</sup> Dynamic Reliability Prediction: How to Adjust Modeling and Reliability Growth? Gerard Collas. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium. 1991

<sup>8</sup> Norma BR 5642 - Confiabilidade: Terminologia, ABNT, SP, 1993.

<sup>2-4</sup> O'Connor P.D.T. - Practical Reliability Engineering. John Wiley, Nova York, 1991. 3- K. S. Krishnamoorthi. Reliability Methods for Engineers. ASQC, Quality Press. Milwaukee. 1992. 4- Shooman M. L. Probabilistic Reliability: an Engineering Approach. McGraw-Hill Book Company. 1968.

Análítico é todo modelo que utiliza diretamente uma relação analítica entre os dados de entrada e o índice de confiabilidade do sistema. Se os dados de entrada são as estatísticas de falha dos elementos e a teoria da probabilidade foi usada como base do modelo analítico estático, este modelo é chamado de **método de avaliação estrutural da confiabilidade**; se os dados de entrada são variáveis aleatórias e a teoria do processo é usada como base teórica do modelo dinâmico analítico, o modelo é chamado de **método paramétrico de avaliação da confiabilidade**.

A simulação de Monte Carlo é feita através da simulação da operação do sistema perante falhas aleatórias em componentes do sistema ou simplesmente parâmetros fora de faixa de maneira aleatória.

Embora os testes sejam o caminho mais imparcial para obtenção do índice de confiabilidade, alguns sistemas não podem ser testados diretamente devido a seu custo e a impossibilidade de se analisar alguma anomalia ocorrida.

Por outro lado, na Fase de Conceito e Definição e início da Fase de Desenvolvimento não dispomos de protótipos para submetê-los a testes, sendo assim, *toda estimativa de confiabilidade de um sistema complexo feita no início de seu ciclo de vida é feita através de modelos matemáticos*.

Na medida que a Fase de Desenvolvimento avança, inicia-se a fabricação de protótipos que serão submetidos ao programa de qualificação. O programa de qualificação é formado por uma série de testes que fornecem a prova que o sistema satisfaz os requisitos especificados e baliza o fim da Fase de Desenvolvimento autorizando o início da Fase de Produção e Instalação (produção série).

Entre os testes do programa de qualificação estão os testes de confiabilidade. Os testes de confiabilidade podem ser considerados a parte mais importante do programa de qualificação e são feitos com dois objetivos: o primeiro é a confirmação e/ou refinamento dos resultados obtidos pelas avaliações feitas através de modelos matemáticos ou, quando não houver avaliação prévia através de modelos matemáticos, a obtenção de um índice preciso da confiabilidade, o segundo é a descoberta de pontos fracos. Através do conhecimento

antecipado de pontos fracos do sistema, é possível tomar ações corretivas, aumentando a confiabilidade.

Do ponto de vista da confiabilidade é importante conhecer os modos de falha do objeto testado e descobrir os seus limites de funcionamento e em alguns momentos eles podem parecer conflitantes com os testes de desenvolvimento, ou de engenharia, cujo objetivo é a confirmação dos conceitos utilizados, através da simulação das condições nominais de operação.

Qualquer que seja o modo utilizado para avaliar a confiabilidade do sistema, ele só poderá ser aplicado se conhecermos os componentes e a maneira que esta organizado o sinal de saída de cada um deles. A organização do sinal de saída dos componentes é chamada de **estrutura de confiabilidade** do sistema e através da estrutura de confiabilidade do sistema é possível conhecer o efeito de um componente na confiabilidade do sistema.

De maneira geral, podemos dizer que os componentes de um sistema podem ser estruturados de duas maneiras: série ou paralelo:

Série - Quando todos os componentes do sistema tem que operar com sucesso para o sistema operar ou, a falha de um componente implica na falha do sistema. Neste caso, dizemos que não existe redundância.

Paralelo - É necessário que apenas um dos componentes do bloco operem com sucesso para o sistema operar ou, somente quando o ultimo componente do bloco falhar o sistema irá falhar. Neste caso dizemos que existe redundância.

Para estimar a confiabilidade de sistemas complexos são utilizados várias técnicas, sendo as principais:

- Conjuntos de Corte,
- Decomposição Bayesiana,
- Simulação de Monte Carlo,

- Distribuição de Carga Resistência,
- FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis),
- Árvore de Falhas,
- Árvore de Eventos e
- Cadeias e Processos de Markov

As técnicas de Decomposição Bayesiana e dos Conjuntos de Corte, com forte apelo teórico, são de difícil utilização nas aplicações práticas, tendo maior interesse acadêmico.

Os métodos da Simulação de Monte Carlo e das Distribuições de Carga Resistência são fortemente baseados em resultados experimentais e apresentam maior interesse no caso de sistemas já em fase de pré-produção.

A FMECA e análise pela Árvore de Falhas são muito trabalhosas e implicam na existência de um sistema de dados de confiabilidade que se torna oneroso demais para uma PME.

O método da Árvore de Eventos, em que há uma formulação em árvore de eventos combinados e seqüenciais apresenta interesse para as PME.

As Cadeias e Processos de Markov poderiam apresentar interesse no caso de sistemas com poucos estados possíveis; caso contrário, o problema se complica com rapidez.

Pelas razões apresentadas propõe-se a não utilização de qualquer delas, mas sim o uso direto do Diagrama de Bloco de Confiabilidade (DBC) que admite o sistema como um conjunto de componentes, representado cada um deles por um bloco, que executa sua função preestabelecida de maneira independente. Uma modificação no uso do DBC a ser proposta mais adiante, vai permitir aliar a extrema simplicidade de sua construção e aumentar a flexibilidade de seu uso.

Desta maneira, para concepção de um método de cálculo de sistemas complexos na sua Fase de Desenvolvimento, agregado à PIPEFA, devemos considerar quatro pontos:

1) Para obter o índice de confiabilidade através da realização de testes, que seria o caminho mais imparcial, é necessário dispor de protótipos, o que quase sempre não é possível com sistemas complexos no início da Fase de Desenvolvimento,

2) a predição de confiabilidade de sistemas complexos, feita através de modelos matemáticos, até hoje, não foi capaz de fornecer um índice que se aproxime dos conseguidos na operação no campo, o que a torna inadequada,

3) a PIPEFA se propõem a simular sistemas, sendo utilizado na Fase de Desenvolvimento dos mesmos, não tendo sentido usar métodos que pressupõe a existência do produto final (FMECA, Markov, árvore de falhas e outros), e

4) qualquer que seja o método adotado, antes de sua aplicação, um sistema complexo terá que ser estruturado, e geralmente é usado um Diagrama de Bloco de Confiabilidade para descrevê-lo.

Do exposto acima conclui-se pela conveniência da utilização da técnica do Diagrama de Blocos de Confiabilidade. Mais ainda, deve-se considerar uma condição temporal aliada a uma característica da entrada dos dados em cada bloco do DBC.

A condição temporal é necessária, uma vez que o índice de confiabilidade varia com o tempo e na construção de um DBC esta característica pode ser considerada.

Por outro lado a característica dos dados de entrada utilizados para cada bloco do DBC, influi decisivamente na precisão e confiança no valor final obtido.

A incorporação da condição temporal aliada a característica dos dados de entrada, impõe que se proponha a consideração de duas versões para o DBC: o DBC Instantâneo e o DBC Estático.

Antes do detalhamento do método proposto serão explicitadas as hipóteses consideradas para o desenvolvimento da metodologia.

### 3.2 - Hipóteses

Serão usadas aquelas que são as usualmente encontradas na prática:

a) os componentes do sistema são estatisticamente independentes com respeito a confiabilidade, i.e. falhas em diferentes componentes do sistema surgem independentemente em cada um deles;

b) os dados de entrada (estatísticas), que descrevem a confiabilidade dos componentes do sistema (taxa de falha das unidades elementares) correspondem às condições operacionais reais de uso (cargas, temperatura, vibração...); e

c) todo componente, no início de operação,  $t = 0$ , começa funcionando e sua confiabilidade neste momento é igual à unidade,  $P_{i0} = 1,0$ .

### 3.3- Diagrama de Bloco de Confiabilidade (DBC)

O Diagrama de Bloco de Confiabilidade consiste representação dos componentes do sistema na forma de blocos. Os blocos operam independentemente com respeito às falhas e a confiabilidade do sistema pode (e é adequado para) ser calculada a partir da forma da estrutura e do valor da confiabilidade de cada bloco.

Uma das interpretações do DBC está associada com a idéia de continuidade no sistema. Se o elemento do sistema está operável, então o bloco correspondente do DBC é assumido ser capaz de transmitir a energia para os blocos que se liga. Se um elemento está num estado não operável, a energia não passa por ele. Se a energia consegue passar por todo DBC, o sistema é considerado como operável.

No DBC os componentes do sistema são representados por **blocos**, interligados, na maioria dos casos, em série e/ou paralelo. Normalmente as conexões entre blocos são

assumidas como ideais, i.e. absolutamente confiáveis; caso necessário podem ser representadas como blocos adicionais com probabilidades de falha conhecidas.

As conexões dos blocos em um DBC não correspondem necessariamente às ligações funcionais ou estruturais encontradas no sistema; elas refletem a lógica de como as falhas dos componentes afetam a confiabilidade do sistema como um todo.

Em um sistema complexo, independente do seu tamanho, só é possível calcular diretamente seu índice de confiabilidade através da aplicação de algoritmos, na maioria das vezes aplicáveis a uma configuração particular. Sendo assim, propõe-se uma alternativa: fazer um desmembramento do sistema até o nível onde seja possível iniciar o cálculo.

O cálculo começa no nível em que os componentes possuem dados próprios de confiabilidade, aqui chamados de unidades elementares, ou podem ser avaliadas analiticamente e segue o caminho inverso feito no desmembramento.

O desmembramento começa no nível mais elevado do sistema e, obrigatoriamente, tem seu limite no nível anterior ao nível em que é necessário considerar a interação de componentes, pois uma das hipóteses feitas para as estimações de confiabilidade é a independência dos componentes em relação as falhas. Normalmente, o Organograma Técnico do sistema já fornece este desmembramento.

A figura 3.1 ilustra o procedimento para realizar o desmembramento do sistema.

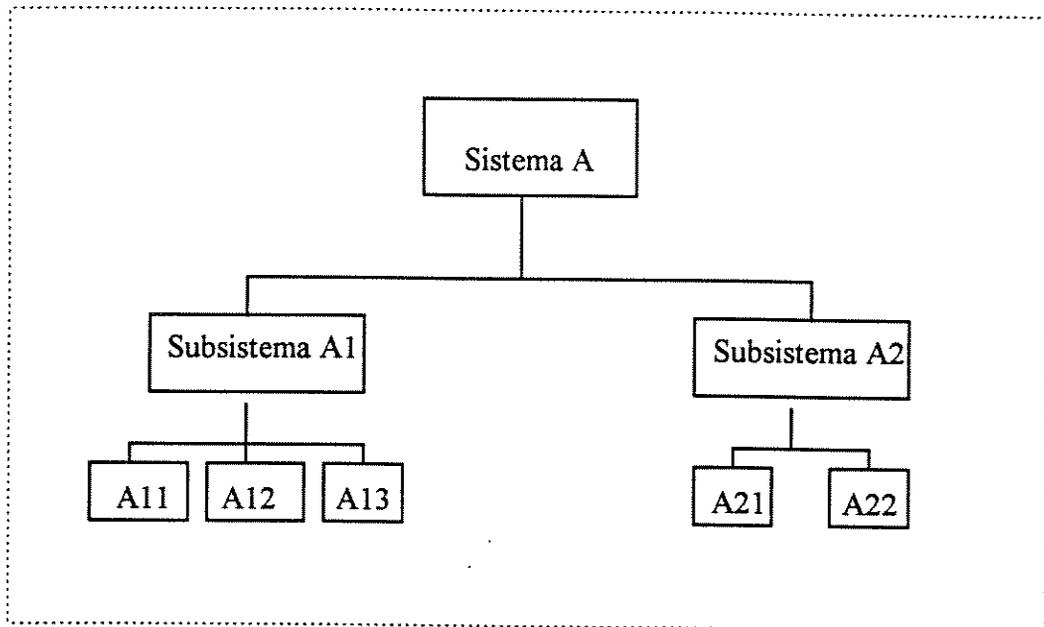


Fig. 3.1- Desmembramento de um sistema hipotético

Na figura 3.1 o índice de confiabilidade do Sistema A, por sua complexidade, não pode ser obtido diretamente e é formado pelo índice de confiabilidade dos subsistemas A1 e A2. Para estes subsistemas, A1 e A2, em que o sistema pode ser desmembrado, também não se pode obter os índices desejados. Prossegue-se até o próximo nível, unidades elementares, onde temos dados para iniciar o cálculo.

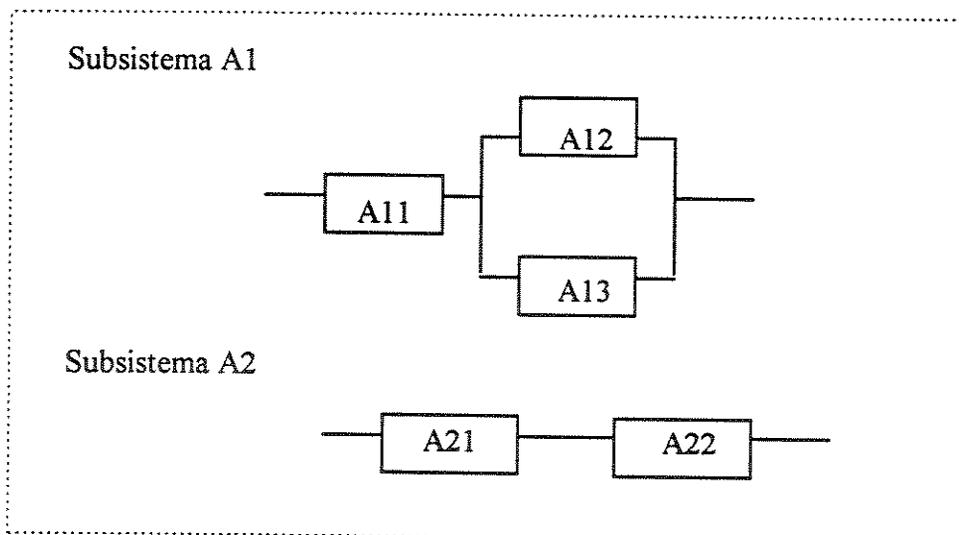


Fig. 3.2- DBC dos subsistemas A1 e A2

Neste nível, unidade elementar, temos dados próprios de confiabilidade ou podemos realizar testes até obtê-los, desta maneira, obtemos o índice de confiabilidade de cada subsistema e finalmente do sistema.

Considerando que os subsistemas A1 e A2 devem operar para que o sistema opere, resulta a associação série ilustrada na figura 3.3.

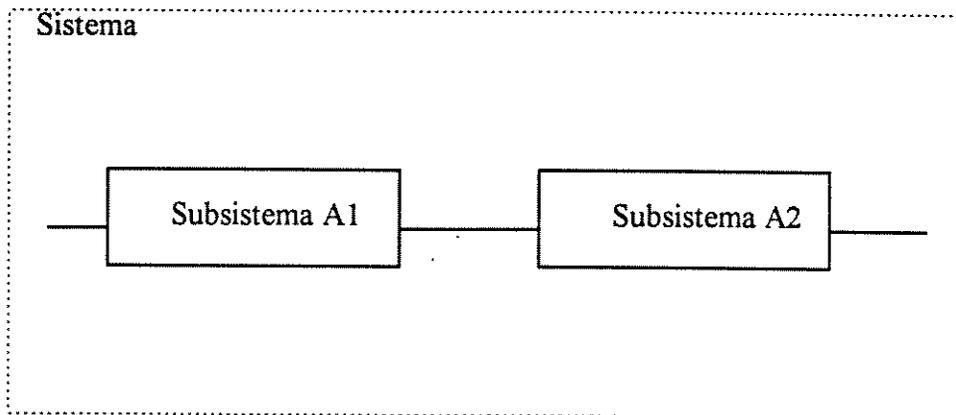


Fig. 3.3 - DBC do Sistema hipotético A

### 3.3.1- DBC Instantâneo

A função confiabilidade é uma curva monotonicamente decrescente com o tempo, sendo que, neste caso, o tempo de operação do sistema que esta representado pelo DBC é tão pequeno que não permite que haja variação em nenhuma característica de confiabilidade dos blocos do diagrama.

Os dados de entrada, os dados de confiabilidade de cada bloco, utilizados para o cálculo da confiabilidade do sistema, são dados próprios, obtidos através de testes.

Esta versão do DBC é bastante conveniente quando todos os componentes do sistema operam simultaneamente; normalmente, seus blocos se constituem de unidades elementares. Como exemplo podemos citar o funcionamento de um motor foguete: é necessário que haja ignição, queima do propelente, o envólucro

metálico não se rompa e que a tubeira direcione os gases. Isto é feito em menos de dois segundos.

Outro exemplo seria uma das operações disponíveis nos postos da PIPEFA cuja aplicação detalhada será feita no Capítulo 5. No caso do motor foguete o DBC é constituído por blocos que representam as unidades elementares, tubeiras, ignitores, sensores, atuadores.... As unidades elementares são o último nível do organograma técnico, possuem dados próprios de confiabilidade, e o cálculo da confiabilidade do sistema começa neste nível .

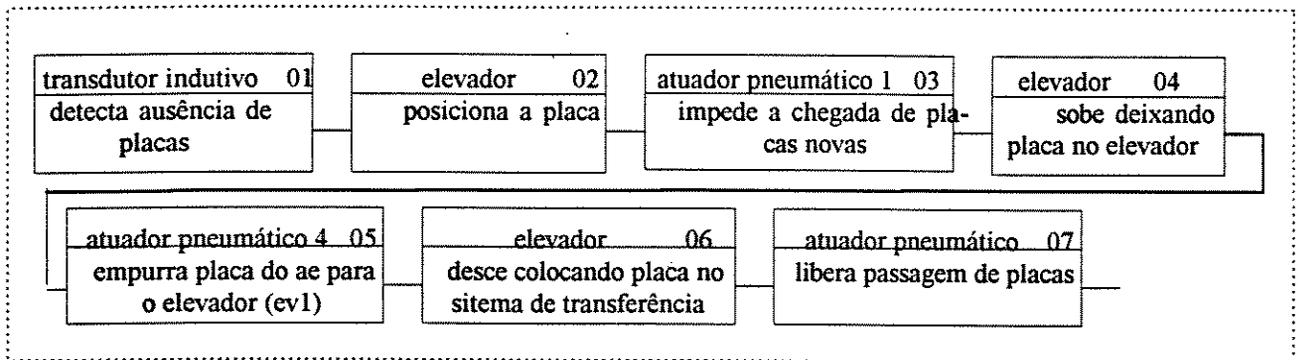


Fig. 3.4 - DBC Instantâneo da operação de carregamento de placas

A característica importante do índice de confiabilidade obtido através deste DBC é que ele foi gerado diretamente com os dados, que são próprios, de confiabilidade de cada bloco. Este dado deve ter significado especial para entendimento do delta de confiabilidade.

### 3.3.2 - DBC de Eventos

O DBC representa, não um sistema, mas um encadeamento de eventos, os quais constituem a entidade que se deseja obter o índice de confiabilidade. Cada bloco do DBC é um subsistema independente cuja característica de confiabilidade normalmente foi obtida através de um DBC- Instantâneo ou seja, não possuem dados próprios de confiabilidade. Comparado ao DBC Instantâneo, apresenta duas diferenças básicas:

- a) o índice de confiabilidade de cada bloco não foi obtido diretamente com os dados básicos de confiabilidade do bloco, é o resultado de cálculos analíticos e da estrutura de confiabilidade contida naquele bloco,
- b) é importante analisar a composição do tempo contido neste índice de confiabilidade.

Por exemplo o voo de um foguete de múltiplos estágios: os blocos representam os eventos, voo do primeiro estágio, separação de estágios, voo do segundo estágio....outro exemplo seria de uma configuração usada na PIPEFA; os blocos representam as operações desta configuração; uma aplicação detalhada será feita no Capítulo 6. Estes blocos estão um nível acima no organograma técnico, se comparado com os blocos contidos no DBC Instantâneo.

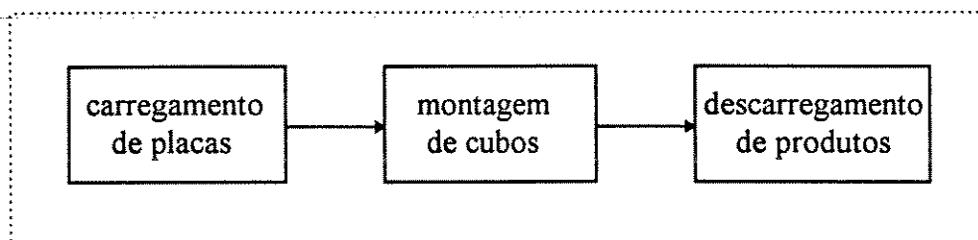


Fig. 3.5 - DBC de Eventos da configuração montagem de cubos

Uma terceira versão do DBC não abrangida por este método, será proposta no capítulo 6, a qual deve, quando incorporada, complementar este método. Nesta terceira versão sugerida, DBC Contínuo, a condição temporal incorpora a variação das características de confiabilidade dos blocos contidos no DBC.

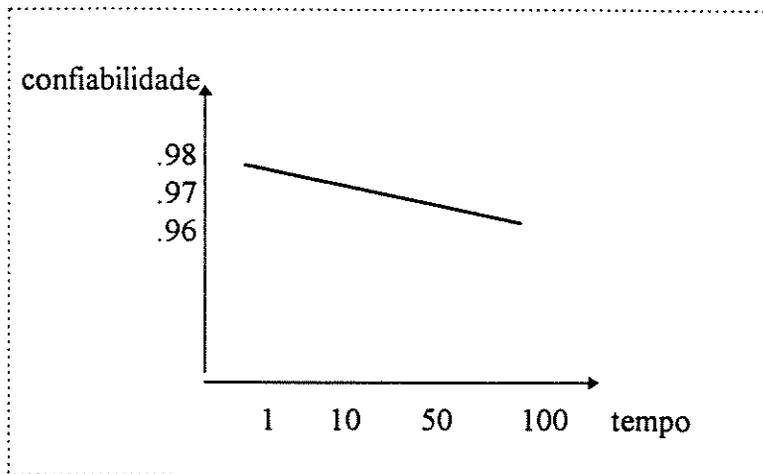


Fig. 3.6 - DBC Contínuo genérico

### 3.4- Sistemas série

Um sistema em série é definido no DBC, quando é necessário que todos os seus componentes funcionem para que o sistema funcione.

Considere:

sistema = composto no mínimo por dois subsistemas

S = a ocorrência do evento sucesso para o sistema

S<sub>j</sub> = a ocorrência do evento sucesso para o subsistema

j = 1,2,...,n.

S ocorre somente quando todos os subsistemas operam com sucesso (condição para o sistema ser considerado série)

A condição para o sistema ser considerado série pode ser expressa da seguinte maneira:

$$S = S_1 \cap S_2 \cap \dots \cap S_n \quad 3.6$$

e

$$P(S) = P(S_1 \cap S_2 \cap \dots \cap S_n) \quad 3.7$$

Rescrevendo a equação 3.5 sob a forma de probabilidade condicional, temos:

$$\begin{aligned}
 P(S) &= P(S_1/S_2 \cap \dots \cap S_n) P(S_2 \cap \dots \cap S_n) \\
 &= P(S_1/S_2 \cap \dots \cap S_n) P(S_2/S_3 \cap \dots \cap S_n) P(S_3 \cap \dots \cap S_n) \quad 3.8
 \end{aligned}$$

generalizando:

$$P(S) = \left[ \prod_{j=1}^{n-1} P(S_j/S_{j+1} \cap \dots \cap S_n) \right] P(S_n) \quad 3.9$$

Conforme hipótese feita no início deste capítulo, os eventos são independentes, isto implica em:

$$P(S_j/S_{j+1} \cap \dots \cap S_n) = P(S_j), \quad j = 1, 2, \dots, n-1$$

substituindo em 3.9 temos:

$$P(S) = \prod_{j=1}^n P(S_j) \quad 3.10$$

Chamando  $P(S)$  de confiabilidade (Reliability) e  $P(S_j)$  de  $R_j$ , nós obtemos:

$$\boxed{R = \prod_{j=1}^n R_j} \quad 3.11$$

Em palavras, a confiabilidade do sistema é o produto da confiabilidade dos subsistemas. Esta é a chamada regra do produto para sistemas séries independentes.

A figura 3.7 generaliza a representação da associação série para  $n$  componentes.

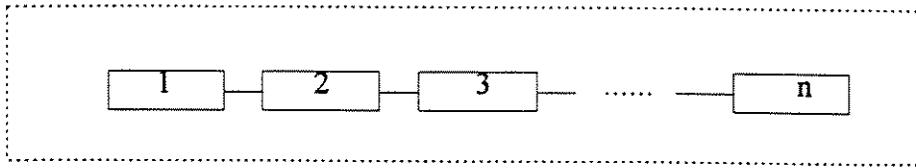


Fig. 3.7 - Sistema série

### 3.5 - Sistemas paralelo

Um sistema em paralelo no DBC é definido como um sistema em que a falha do sistema só ocorre quando todos os subsistemas falham ou, o sistema é considerado bem sucedido quando pelo menos um de seus subsistemas opera de maneira bem sucedida.

As propriedades mostradas no item 3.5 - Sistemas série podem ser dualizadas para as propriedades correspondentes de sistemas em paralelo através da troca de qualquer evento pelo seu complementar; i.e. mudar  $S_j$  (sucesso) por  $F_j$  (falha). A fórmula de sistema série dualizada do cálculo de confiabilidade, calcula a não-confiabilidade de sistemas paralelos.

Temos:

$R_t + F_t = 1$  ..... falha e sucesso; eventos complementares

$F_t = F_1 \times F_2 \times \dots \times F_n$  ..... dualidade = probabilidade do sistema falhar

$$F_1 = 1 - R_1, \quad F_2 = 1 - R_2 \dots\dots$$

Para um sistema composto por  $n$  subsistemas, o índice de confiabilidade pode ser calculado pela expressão:

$$R_t = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)\dots\dots(1 - R_n) \quad 3.12$$

onde:

$R_t$  = índice de confiabilidade do sistema

$R_j$  = índice de confiabilidade de cada subsistema

A figura 3.8 ilustra o DBC de um sistema em paralelo formado por n subsistemas.

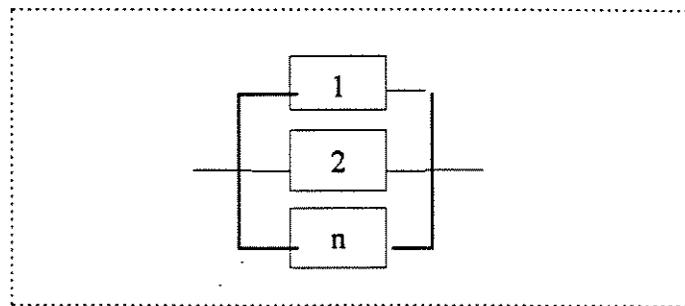


Fig. 3.8 - Sistema Paralelo

Na prática, normalmente os componentes redundantes são iguais, isto implica em :

$$R_t = 1 - (1 - R_i)^n$$

3.13

Esta equação é válida para componentes idênticos e supõem a operação simultânea de todas as unidades redundantes, é chamada redundância ativa e sua maior vantagem reside no fato de não haver necessidade de parar o funcionamento do sistema para inicialização da operação da unidade redundante.

Outra estrutura de confiabilidade bastante utilizada é a estrutura k em n. Esta estrutura representa um sistema de n componentes em paralelo, dos quais apenas k itens tem que funcionar para o sistema funcionar. Obviamente  $k < n$ .

A figura 3.9 mostra o DBC do sistema K em n. A expressão 3.14 mostra a forma de calcular o índice de confiabilidade para o sistema.

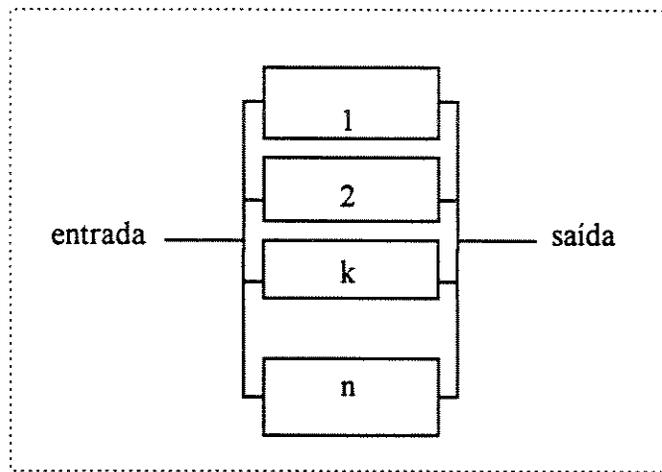


Fig. 3.9 - Sistema paralelo - redundância parcial (k em n)

$$R_s = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \binom{n}{k} R^k (1 - R)^{n-k} \quad 3.14$$

onde:

$R_s$  = índice de confiabilidade do sistema

$R_j$  = índice de confiabilidade de cada subsistema considerado idêntico

### 3.6 - Confiabilidade de Software

O índice de confiabilidade utilizado para o software do Sistema de Supervisão não foi calculado devido às características do cálculo para software. Para estimar sua confiabilidade são necessários modelos próprios. Existem três grupos de modelos para estimação de sua confiabilidade: grupo de modelos estatísticos, grupo de modelos aproximados e grupo de modelos exponenciais. Após uma breve discussão das diferenças entre componente e software, os três modelos serão apresentados de maneira resumida.

Primeira diferença básica: enquanto no hardware a falha de um componente é estabelecida quando vier a ocorrer a incompatibilidade de executar a função que lhe compete, no software é pela incompatibilidade entre o software e as tarefas que ele tem que executar. Outra diferença básica consiste no número de estados. Variações menores dos parâmetros,

geralmente não levam a uma diferença brusca no sinal de saída de um equipamento, enquanto em um software a situação é bastante diferente.

### Grupo de modelos estatísticos

Um dos modelos estatísticos é o de Mills, o qual consiste na introdução de erros artificiais no programa antes de iniciar os testes. Estes erros são independentes e incluídos aleatoriamente no programa.

$$Y = Y1 S/V, \text{ onde:}$$

$Y$  = estimativa do número de erros no programa,

$Y1$  = erros próprios detectados e

$V/S$  = proporção do número de erros artificiais detectados pelo número total de erros introduzidos.

Através da proporção de erros artificiais detectados, por erros artificiais introduzidos, estima-se o número de erros no programa. Este modelo é bastante atrativo devido a sua simplicidade lógica; sua grande desvantagem consiste na dificuldade de se introduzir erros independentes.

Para sobrepor esta dificuldade, usa-se os modelos intuitivos que não necessitam da introdução de erros. O número de erros existente no programa é estimado a partir do número de erros detectados por dois programadores independentes, que não participaram da confecção do programa.

$$Y = Y1 Y2/Y12$$

$Y1$  = número de erros detectados pelo programador 1

$Y2$  = número de erros detectados pelo programador 2

$Y12$  = número de erros detectados pelos programadores 1 e 2

O modelo intuitivo pode ser considerado como uma interpretação do modelo de Mills.

### Grupo de modelos aproximados

Neste grupo de modelos a confiabilidade do software é estimada através da observação do tempo decorrido até a falha.

O software inicia o trabalho, ocorre a primeira falha,  $t_1$ . O programador melhora o programa recoloca o software em operação e ocorre a segunda falha,  $t_2$ ...

O modelo de Zelinsky-Moranda, baseia-se em:

- o tempo até a próxima falha esta distribuido exponencialmente e
- a intensidade das falhas no programa é proporcional ao número de erros.

$$P(t_i) = e^{-\lambda_i t_i}$$

$$\lambda_i = C(Y_H - (i - 1)), \text{ onde:}$$

$C$  = coeficiente de proporção e

$Y_H$  = número inicial de erros

O modelo de Schuman considera de maneira separada o período de tempo para “debug” do programa e o de utilização e, desta maneira, aumenta a precisão da aproximação.

A desvantagem destes modelos é a hipótese da distribuição exponencial de tempo entre falhas e que após detectado um erro, na sua correção não há introdução de novos erros.

### Grupo de modelos fatoriais

Este grupo de modelos esta baseado no processamento de dados de erros característicos em programas similares. Atualmente, existe estatística suficiente sobre erros de software e suas causas.

A vantagem dos modelos deste grupo é a rápida obtenção de resultados, e sua principal desvantagem é que a estimativa obtida estará correta apenas nas condições que os coeficientes foram determinados.

$$Y = \sum a_j z_j, \text{ onde:}$$

$z_j$  = é o jésimo parâmetro do programa,

$r$  = é o número de parâmetros significantes e

$a_j$  = coeficientes

Desta maneira, como o cálculo da confiabilidade do software do Sistema de Supervisão deveria usar um modelo completamente diferente daquele desenvolvido nesta tese, optou-se por usar um índice de confiabilidade para o software compatível com os demais índices de confiabilidade obtidos através do modelo aqui desenvolvido, para as demais unidades elementares.

### **3.7 - Conclusão**

Neste capítulo foi apresentado o método para cálculo da confiabilidade de sistemas complexos no qual a técnica do DBC foi utilizada em duas versões. A primeira versão propõem o cálculo da confiabilidade quando todos os componentes do sistema operam simultaneamente e fornece um índice que não possui compromisso com o tempo, é um índice bastante útil na comparação direta entre soluções.

A segunda versão do DBC, o DBC de Eventos, complementa a primeira versão, fornecendo um índice que caracteriza a sequencia ou configuração não abrangida pela versão anterior. De posse do método iremos, no próximo capítulo, descrever o sistema que será utilizado para validar este método.

## **Capítulo 4**

### **Plataforma para Validação do Método**

No capítulo anterior foi desenvolvido o método para cálculo da confiabilidade de sistemas complexos. Este capítulo apresenta a plataforma do Sistema PIPEFA que será usada para validação do método proposto e os motivos para a escolha deste sistema.

#### **4.1 - Descrição física**

Fisicamente, a configuração do Sistema PIPEFA é composta por quatro postos de trabalho, um Sistema de Supervisão e um Sistema de Transferência, como ilustrado na figura 4.1.

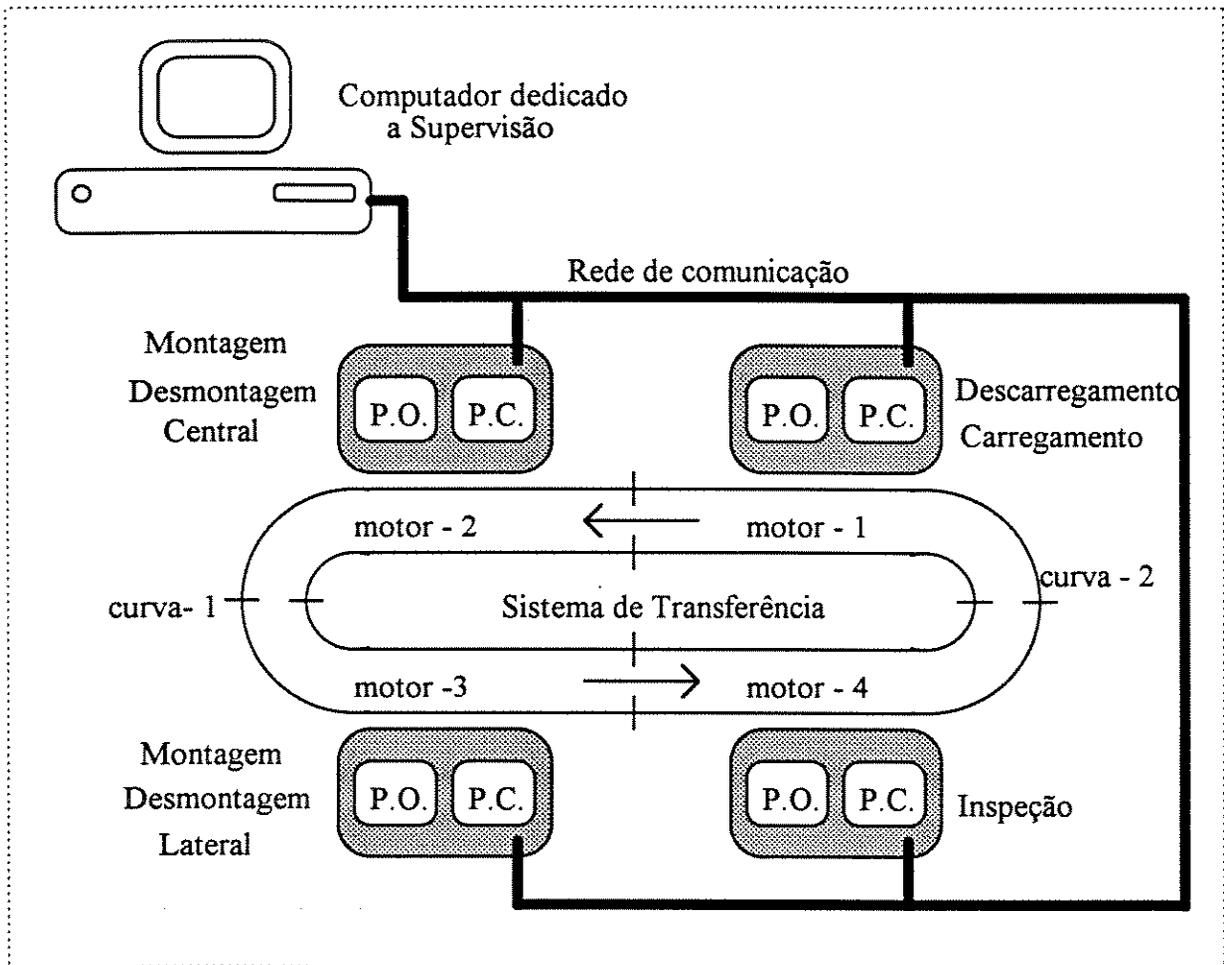


Fig. 4.1- Arquitetura da Plataforma<sup>1</sup>

Dependendo de como serão distribuídas as funções a serem desenvolvidas para montagem dos produtos, o organograma técnico do Sistema PIPEFA, englobando apenas o nível de subsistemas, pode ter uma das seguintes estruturas:

<sup>1</sup> Autor: Prof. Dr. João Maurício Rosário - DPM-FEM-UNICAMP

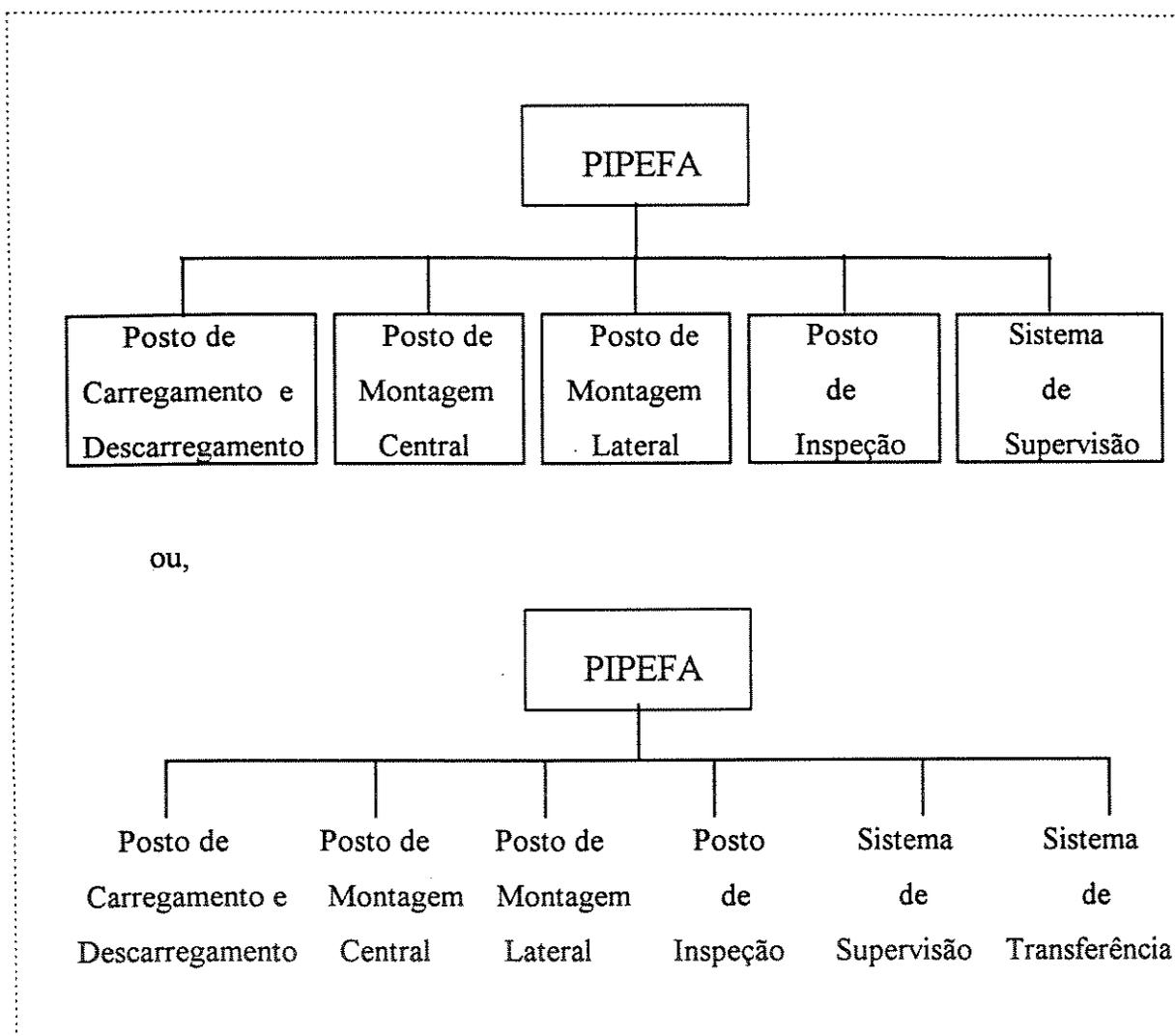


Fig. 4.2 - Organograma Técnico da PIPEFA - nível subsistema

O subsistema Posto de Carregamento e Descarregamento é responsável pela colocação das placas, ou produtos, no Sistema de Transferência (operação de carregamento) e retirada dos produtos, ou placas, do Sistema de Transferência (operação de descarregamento).

A figura 4.3 ilustra a forma física do Posto.

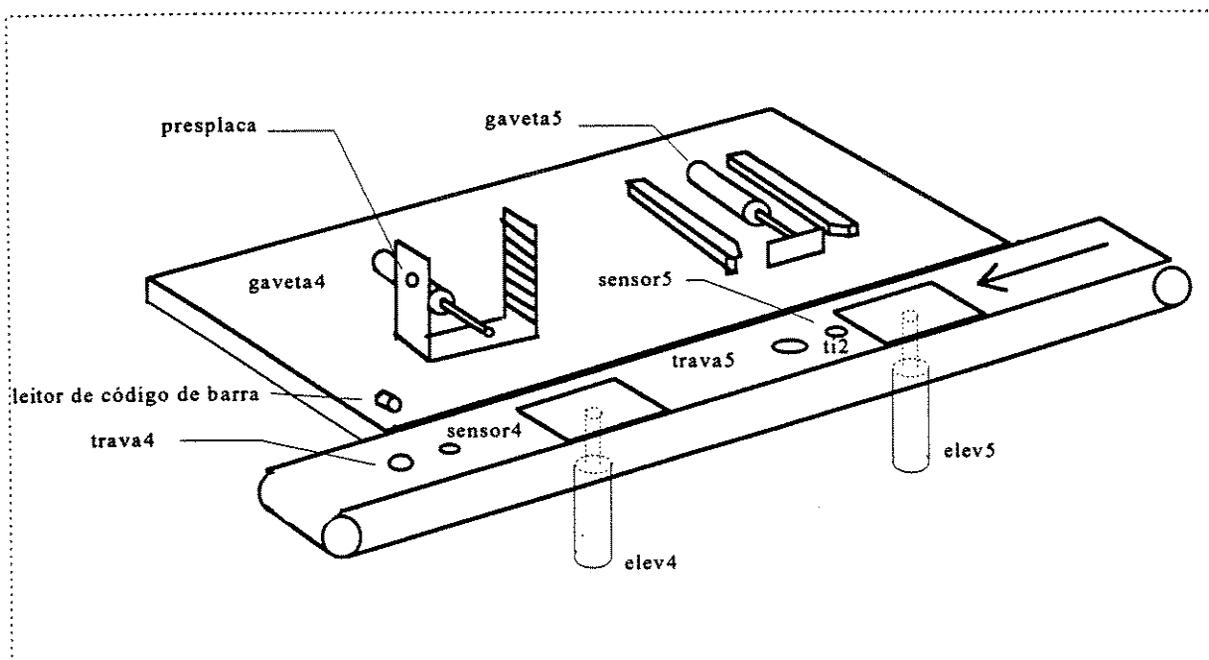


Fig. 4.3- Posto de carregamento/descarregamento<sup>2</sup>

O subsistema Posto de Montagem Lateral, é responsável pela colocação de um ou dois cubos em uma ou nas duas posições extremas da placa (operação de montagem 1) e retirada de cubos destas posições (operação de desmontagem 1). O subsistema Posto de Montagem Central realiza as mesmas operações de montagem e desmontagem de um ou dois cubos, porém na posição central da placa. Estes dois Postos foram, propositadamente, concebidos de maneira muito semelhante, o que será motivo de discussão, no Capítulo 7, do ganho qualitativo e quantitativo desta opção, através do índice de confiabilidade.

A figura 4.4 ilustra a forma física do Posto de Montagem e Desmontagem.

<sup>2</sup> Autor: Prof. Dr. João Maurício Rosário - DPM-FEM-UNICAMP

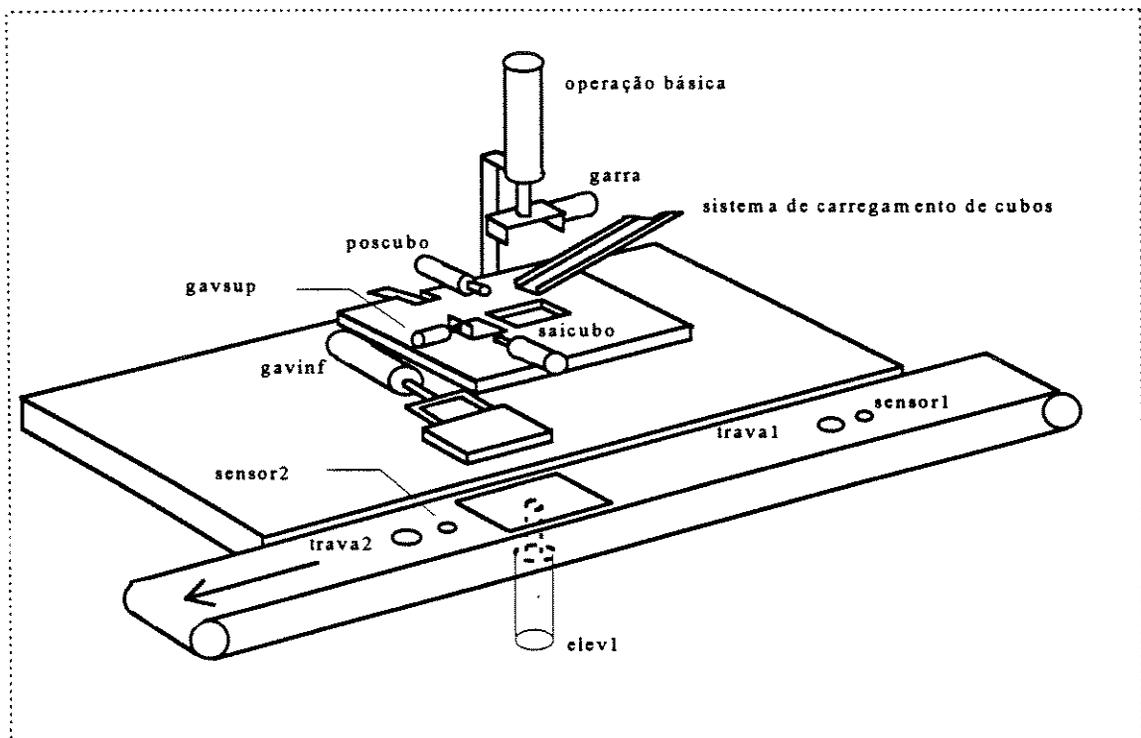


Fig. 4.4 - Posto de montagem/desmontagem<sup>3</sup>

O subsistema de Posto de Inspeção verifica a conformidade das operações de montagem e desmontagem realizadas nos postos de montagem central e lateral, tomando a decisão de aceitação (operação de aceitação) ou rejeição do produto (operação de refugo). Quando um produto não for aceito, refugo, ele poderá ser retirado do Sistema pelo próprio Posto de Inspeção, ou recolocado no Sistema para que seja refeito ou desmontado.

A figura 4.5 ilustra a forma física do Posto de Inspeção.

<sup>3</sup> Autor: Prof. Dr. João Mauricio Rosário - DPM-FEM-UNICAMP

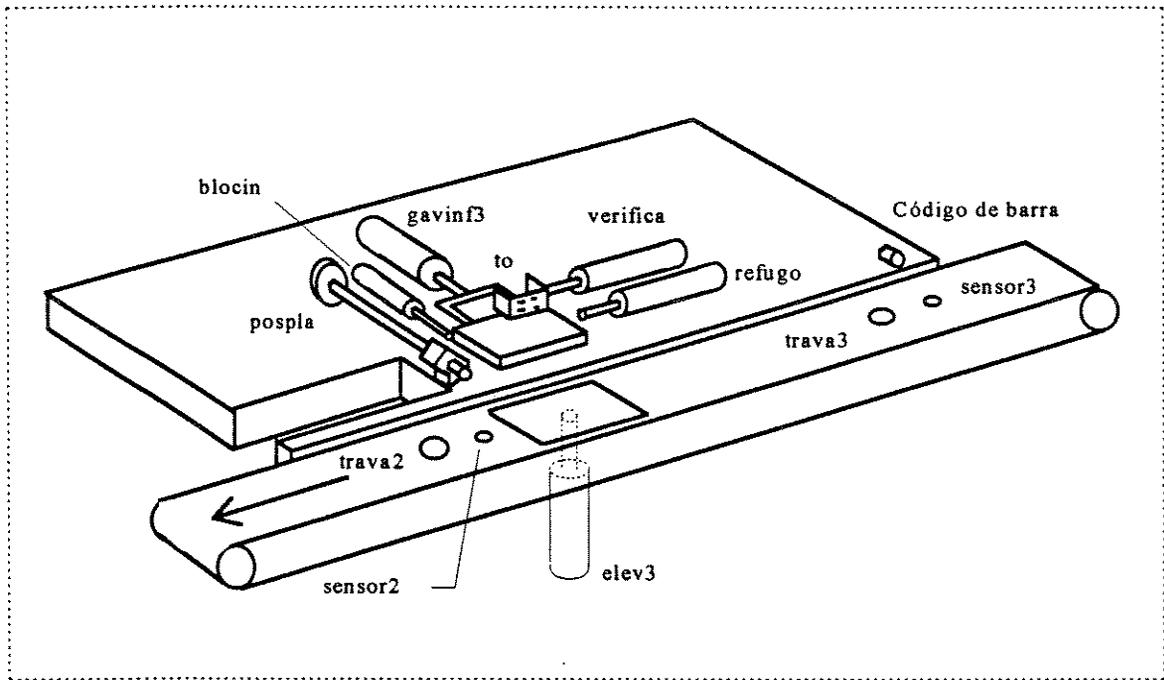


Fig. 4.5 - Posto de Inspeção<sup>4</sup>

Para cada operação realizada em um posto temos uma parte operativa (PO) e uma parte de controle (PC). Obviamente esta divisão é mais de efeito didático pois a parte de controle é única para cada posto, e nela estão contidas as rotinas para as operações que o posto realiza. A parte operativa também é única, ou seja, para uma operação são utilizados determinados componentes físicos cuja grande maioria, senão a totalidade, será utilizada para outra operação no mesmo posto.

O subsistema Sistema de Supervisão é responsável pelo gerenciamento do processo e poderá conter mais ou menos funções. Do ponto de vista deste trabalho, as implicações da abrangência do Sistema de Supervisão serão discutidas apenas sob o enfoque do impacto no índice de confiabilidade, sendo ignorada a influência nos demais parâmetros. Independente da sua abrangência, são atribuições do subsistema Sistema de Supervisão: a interface com o usuário, acionamento dos subsistemas em função do código contido no produto, o fornecimento de parâmetros básicos da simulação e a coleta das estatísticas.

<sup>4</sup> Autor: Prof. Dr. João Maurício Rosário - DPM-FEM-UNICAMP

O Subsistema Sistema de Transferência é responsável pela condução dos produtos de um posto para outro, porém o seu encargo é fortemente influenciado pela abrangência do Sistema de Supervisão e pela opção de incorporá-lo, ou não, de maneira descentralizada aos Postos. Sendo assim, será discutido de maneira isolada o impacto no índice de confiabilidade deste subsistema quando algumas decisões são tomadas, e o impacto na confiabilidade do Sistema quando a abrangência destes subsistemas muda.

Esta composição física da Plataforma (parte concreta do Sistema PIPEFA) foi concebida em função do seu propósito de executar as operações típicas de um SAP (montagem/desmontagem, controle de qualidade, transferência, planejamento e controle de processo ....).

#### Descrição do funcionamento

De posse do organograma técnico do sistema pode-se descrever como esta Plataforma realiza sua função (objetivo físico imediato - parte concreta) no momento da montagem de “produtos”, e assim obter o diagrama estrutural de confiabilidade. Por exemplo, quando é solicitado que ela simule a montagem de um produto, constituído por uma placa e dois blocos, poder-se-ia ter a seqüência genérica de etapas mostrada na tabela 4.1:

etapa	descrição	subsistema
01	gerar uma ordem para carregamento de uma placa	supervisão
02	carregar placa no sistema de transferência	carregamento
03	transportar placa para posto de montagem	transferência
04	aciona posto de montagem	supervisão
05	monta os cubos	montagem
06	transporta “produto” para posto de descarregamento	transferência
07	descarrega “produto”	descarregamento

Tab 4.1 - Seqüência genérica de etapas - Operação de montagem/desmontagem placa mais dois blocos

A seqüência descrita implica no seguinte diagrama estrutural de confiabilidade mostrado na figura 4.6.

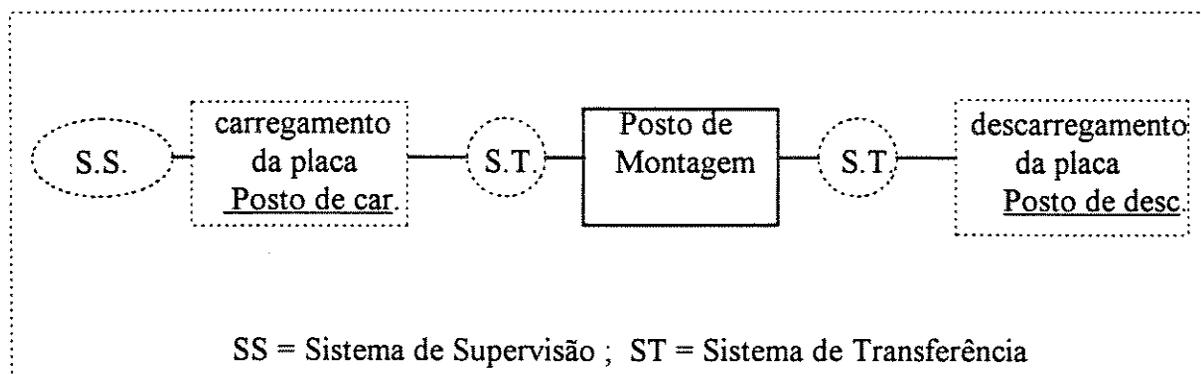


Fig. 4.6 - Diagrama de estrutura de confiabilidade

Obs.: O subsistema Sistema de Supervisão aparece uma única vez no diagrama de confiabilidade, por opção de representação.

Para que o produto possa ser montado, caracterizando o sucesso da operação, tem-se a participação de cinco subsistemas, o Sistema de Supervisão, o Posto de Carregamento, o Posto de Montagem, o Posto de Descarregamento e o Sistema de Transferência. O sucesso de funcionamento destes cinco subsistemas implicará no sucesso da operação de montagem do produto.

Este diagrama permite escrever a equação de confiabilidade e assim obter o índice de confiabilidade desta configuração da plataforma para montagem do produto solicitado; neste momento não se irá fazê-lo, pois esta não é a única maneira de montar este produto na plataforma; poder-se-ia ainda, para a mesma estrutura de confiabilidade, montar este produto da maneira indicada nas tabelas 5.2 e 5.3.

<b>etapa</b>	<b>descrição</b>	<b>subsistema</b>
01	gerar uma ordem para o Pcar colocar uma placa no sist. de transferência	supervisão
02	colocar placa no sistema de transferência	carregamento
03	aciona o sist. de transferência	supervisão
04	transportar placa para posto de montagem	transferência
05	interrompe o funcionamento do sist. de transf.	supervisão
06	aciona posto de montagem para montagem 2 cubos	supervisão
07	montagem dos cubos	montagem
08	aciona o sist. de transferência	supervisão
09	transporta “produto” para posto de descarregamento	transferência
10	interrompe o funcionamento do sist. de transf.	supervisão
11	aciona posto de desmontagem	supervisão
10	descarrega “produto”	descarregamento

Tab. 4.2 - Sequência de etapas opcional 1- Operação de montagem/desmontagem placa mais dois blocos

<b>etapa</b>	<b>descrição</b>	<b>subsistema</b>
01	gerar uma ordem para carregamento de uma placa e aciona sistema de transferência	supervisão
02	carregar placa no sistema de transferência	carregamento
03	transportar placa para posto de montagem	transferência
04	montagem de dois cubos	montagem
05	transporta “produto” para posto de descarregamento	transferência
06	descarrega “produto”	descarregamento

Tab. 4.3 - Sequência de etapas opcional 2- Operação de montagem/desmontagem placa mais dois blocos

A partir de uma sequência genérica de etapas foram geradas duas sequências opcionais, em uma optou-se por um subsistema de supervisão mais atuante, com um software mais complexo, e absorvendo alguns componentes físicos que poderiam fazer parte do sistema de transferência e dos postos; na outra optou-se por um subsistema de supervisão menos atuante, em que os postos são mais independentes, a parte de controle local é mais abrangente, e possuem mais componentes físicos que na opção anterior.

O subsistema de transferência também teve alterado fortemente o seu papel, podendo ser considerado, ou não, como um subsistema. Na primeira opção ele é um subsistema

independente, na outra ele é considerado como uma simples extensão dos postos, sem que haja alteração no número de componentes físicos do sistema PIPEFA, apenas realocação.

Ainda baseado na descrição física do Sistema, será proposta uma outra seqüência de etapas que também não altera o número de componentes físicos do sistema PIPEFA, admitindo que o produto possa ser montado no posto de montagem lateral ou central. Neste caso, ter-se-á o diagrama estrutural de confiabilidade mostrado na figura 4.7.

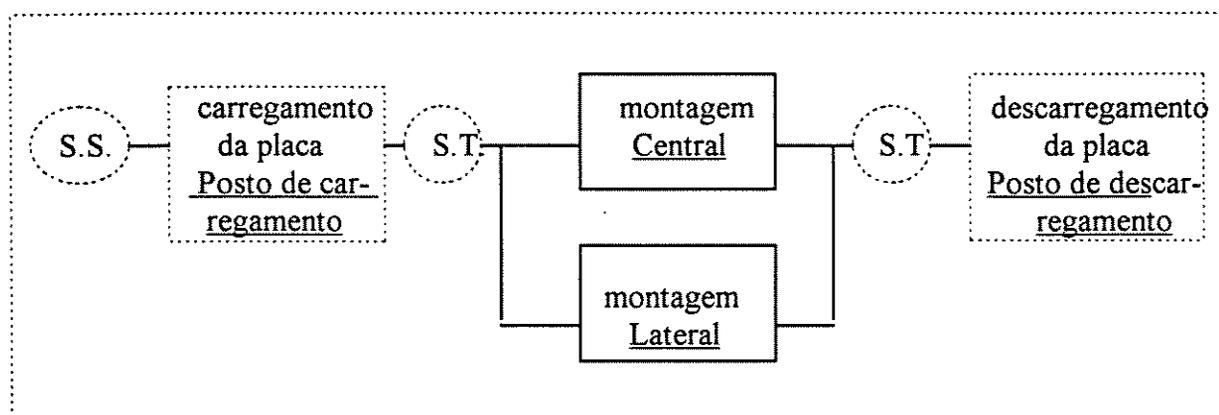


Fig. 4.7 - Diagrama da estrutura de confiabilidade opcional 1

A descrição feita inicialmente previa a montagem do “produto” apenas em um posto, mas o sistema dispõe de dois postos de montagem. No segundo diagrama proposto, o Posto de Montagem Central passou a ser uma opção para o Posto de Montagem Lateral, a ser utilizada no caso de uma eventual pane, ou no caso de uma manutenção preventiva, ou ainda no caso do Posto de Montagem Lateral ser o gargalo deste fluxo. Passa-se de uma opção para outra com sensível ganho na flexibilidade em termos de manutenção e produtividade.

A equação de confiabilidade para este diagrama é diferente da primeira apresentada para o diagrama estrutural de confiabilidade na Fig. 3.3, e fornecerá um índice de confiabilidade superior ao primeiro. Passa-se de um sistema em série para um sistema em paralelo (com redundância). No momento não serão discutidos os ganhos quantitativos de uma ou outra opção de configuração da plataforma. Esta discussão será feita no capítulo 5. Nesta oportunidade chama-se a atenção apenas para os ganhos qualitativos e da presença da parte não concreta da PIPEFA.

Neste momento que é proposto ao usuário opções para realização de uma mesma tarefa e estas opções são caracterizadas por parâmetros e índices que são conseqüências das aplicações de métodos distintos de análise da tarefa e do sistema. Estas explorações são possíveis devido à forma como a plataforma foi concebida e justamente nestas explorações a PIPEFA satisfaz seus objetivos principais:

- colocar à disposição das PME, ferramentas e métodos resultantes dos mais recentes desenvolvimentos Técnicos e Científicos dentro do domínio de “Engenharia de Automação”, para melhorias da qualidade, do custo e da produtividade na fabricação,
- colocar à disposição procedimentos e metodologias de maneira acessível às indústrias em termos de custo e facilidade de utilização,
- propiciar um ambiente flexível de integração de atividades em automação e solidificação de grupos de pesquisa.

O efeito secundário altamente positivo desta caracterização das opções possíveis é que o usuário deixa de ver o sistema físico como uma entidade estática dedicada a um único fim, adotando uma visão dinâmica.

A PIPEFA é um sistema que contém uma plataforma concebida fisicamente de uma maneira que permite a concretização da simulação da montagem ou desmontagem de vinte e sete “produtos”, que são placas que podem receber de 0 a 6 blocos. No caso do produto ser constituído por uma placa que contenha 2 blocos, ele poderá ser montado de 6 maneiras diferentes, como ilustrado na figura 4.8.

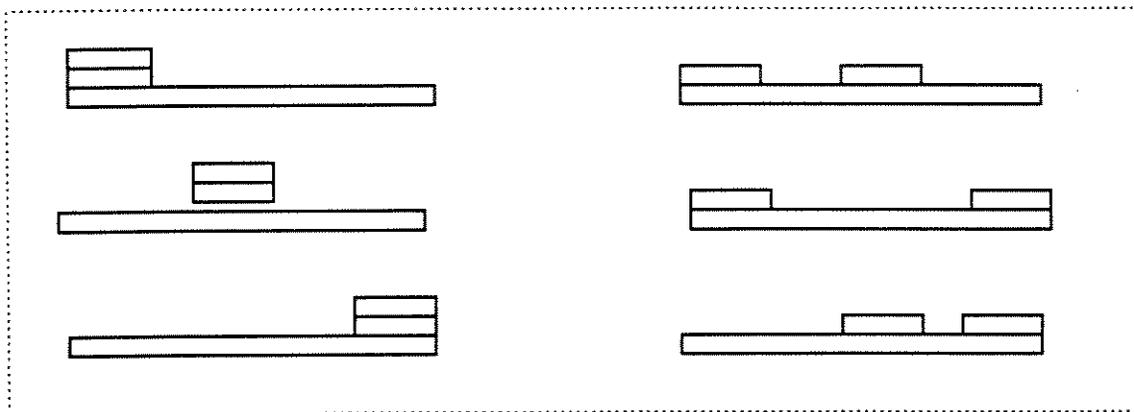


Fig. 4.4 - Formas de montagem do produto placa mais 2 blocos

Cada maneira de montar esses produtos implica em usar a mesma plataforma de forma diferente: em um caso usa-se o Posto de Montagem Lateral, em outro o Posto de Montagem Central e em um terceiro os dois postos de montagem.

Cada maneira terá suas conseqüências, pois usar o Posto de Montagem Central ou Lateral ou ambos, significa usar subsistemas, quantidades de componentes físicos e tempo gasto diferentes. O tempo, bem como outros parâmetros, é avaliado com os números gerados pela simulação. A utilização de quantidades diferentes de componentes e de postos é bem caracterizada pelo índice de confiabilidade de cada configuração e implica na maior ou menor probabilidade de se obter sucesso em uma operação.

Este índice de confiabilidade poderá ser bastante explorado em relação ao uso de componentes com qualidade superior e opções às opções de redundância. Esta exploração será feita no Capítulo 5. No momento será determinado o índice de confiabilidade de cada subsistema.

#### 4.3- Escolha do sistema para validação do método

Embora a descrição física feita no item anterior possa induzir o leitor a acreditar que a plataforma esteja definida, isto não é verdade. Atualmente, a plataforma do Sistema PIPEFA encontra-se em adiantada Fase de Desenvolvimento, mais precisamente no final dos testes de desenvolvimento, e no início dos testes de qualificação, fato que determinou a escolha do tema

da aplicação piloto para validação do método: Projeto/Sistema em Fase de Desenvolvimento. Outras características que definiram a escolha foram:

i) complexidade

- o Sistema PIPEFA é um sistema complexo, ou seja, o seu índice de confiabilidade não pode ser obtido diretamente,

ii) variação do índice

- o sistema PIPEFA permite a comparação entre diferentes maneiras de realizar uma função, gerando índices diferentes e permitindo estudos de sensibilidade. Esta característica será bastante desenvolvida no Capítulo 6, onde as opções citadas no item 4.2- Descrição de Funcionamento e outras como a abrangência do Sistema de Supervisão e do Sistema de Transferência serão quantificadas através do índice de confiabilidade, e

iii) ambiente

- Talvez a característica mais importante, seja que, após aplicação e comprovação dos resultados obtidos com este método de cálculo da confiabilidade, o método passa a fazer parte do Sistema PIPEFA, através de um sistema computacional dedicado, como um módulo, integrando-se à parte não-concreta existente na PIPEFA.

#### **4.4 Conclusão**

Após a descrição física e do funcionamento, foram apresentados os motivos que caracterizaram a escolha do Sistema PIPEFA para validação do método proposto; na seqüência ela será usada num detalhado exemplo de aplicação.

## Capítulo 5

### Exemplo de aplicação

Neste capítulo é feito o cálculo do índice de confiabilidade de todos os subsistemas da plataforma PIPEFA, através do DBC Instantâneo. São apresentados o Organograma Técnico e o cálculo da confiabilidade de cada operação para cada subsistema. Finalmente, é apresentado um bloco reduzido que representa a operação de cada subsistema de maneira sintética.

#### 5.1 Introdução

Para a determinação do índice de confiabilidade do subsistema é necessário conhecer com exatidão seus componentes, as taxas de falha e os modos de operação de cada um deles. Para cada subsistema será apresentado o Organograma Técnico e uma seqüência detalhada do modo de operação.

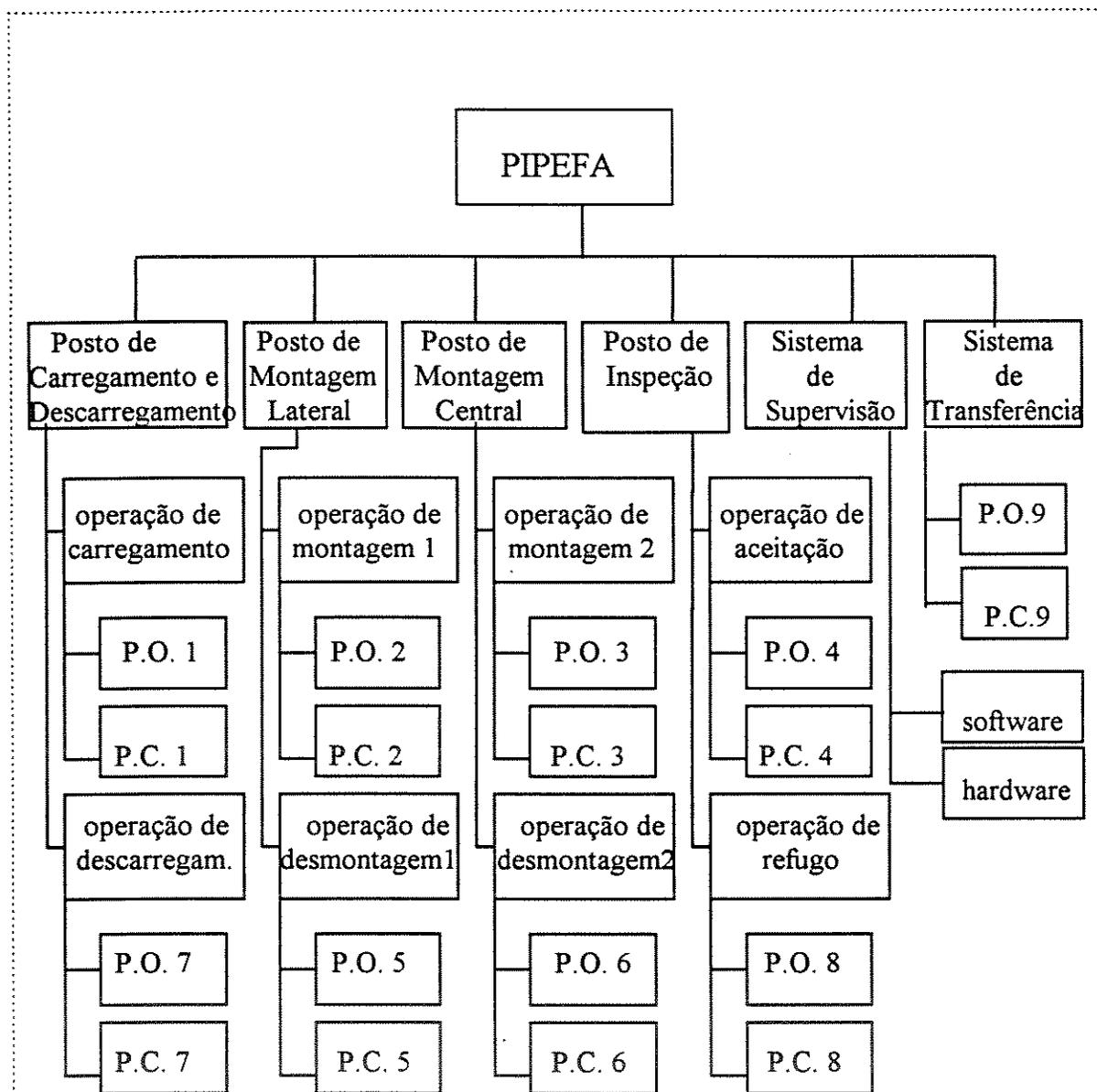
Inicialmente deve ser considerado que, para calcular a confiabilidade de um subsistema, é necessário *conhecer com exatidão* seus componentes e seus modos de operação. Por outro lado, as grandes vantagens e objetivo da PIPEFA, residem no fato de permitir realizar simulações ainda na Fase de Desenvolvimento do sistema. Poder-se-ia estar induzindo o raciocínio para um ponto de conflito, daí a importância de uma análise mais cuidadosa da situação.

Justamente por estar numa Fase que permite a exploração de diferentes opções ao menor custo, também é necessário caracterizar a configuração otimizada do sistema. Para descrever de maneira exata e inequívoca o funcionamento de cada rotina, em cada opção do sistema, lança-se mão de um método específico para tal, e que permite o estabelecimento do Organograma Técnico do sistema, que é o primeiro passo no cálculo do índice de confiabilidade. O método utilizado foi o Grafcet e será comentado no capítulo 7, para não quebrar a continuidade de aplicação do método proposto.

No momento será dada seqüência ao cálculo de confiabilidade dos subsistemas.

Alguns subsistemas, como o Posto de Carregamento e Descarregamento e o Posto de Inspeção, quando acionados, operam sempre da mesma maneira, não existindo variação. Isto permite reduzir toda sua operação a um único bloco, chamado **bloco reduzido** que apresentará o índice de confiabilidade representativo da operação. O mesmo não acontece com os postos de montagem e desmontagem central e lateral; mesmo assim é possível reduzir bastante a representação em blocos de sua operação. Estas reduções permitem uma grande agilidade para desenvolver os cálculos necessários para cada configuração disponível no sistema.

O Organograma Técnico do Sistema PIPEFA até o nível imediatamente superior ao de componente fica conforme indicado nas figura 5.1:



ou .....

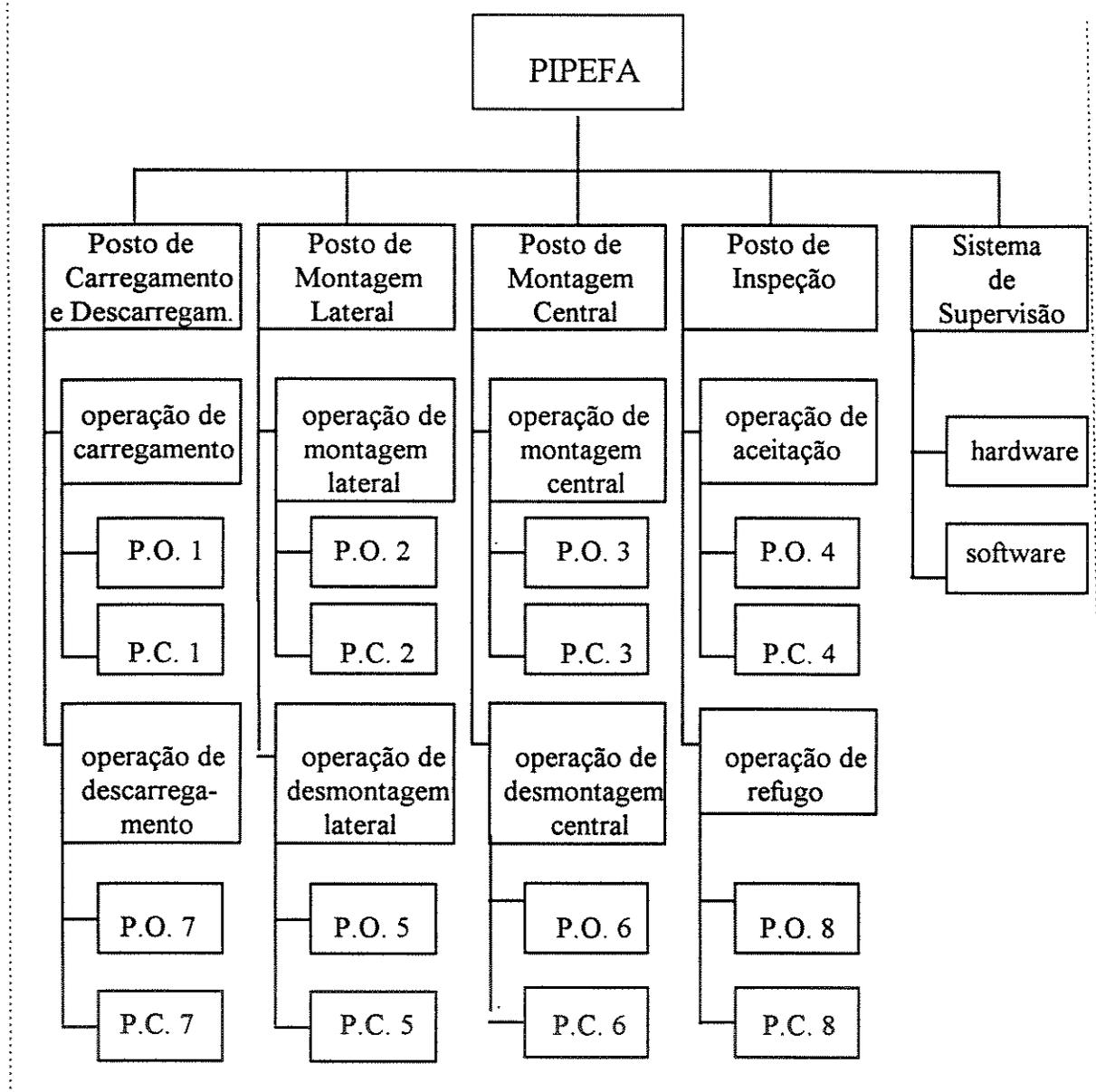


Fig. 5.1 - Organograma Técnico da PIPEFA

## 5.2 Cálculo da Confiabilidade dos Subsistemas - Enfoque Físico

### 5.2.1 Subsistema Posto de Carregamento e Descarregamento de placas

Este subsistema é responsável pelo carregamento de placas ou produtos no Sistema de Transferência e pelo descarregamento de produtos ou placas do Sistema de Transferência. Ele

executa duas operações, carregamento e descarregamento. A cada operação do subsistema será atribuído um índice de confiabilidade.

A situação descrita aparece ilustrada na figura 5.2.

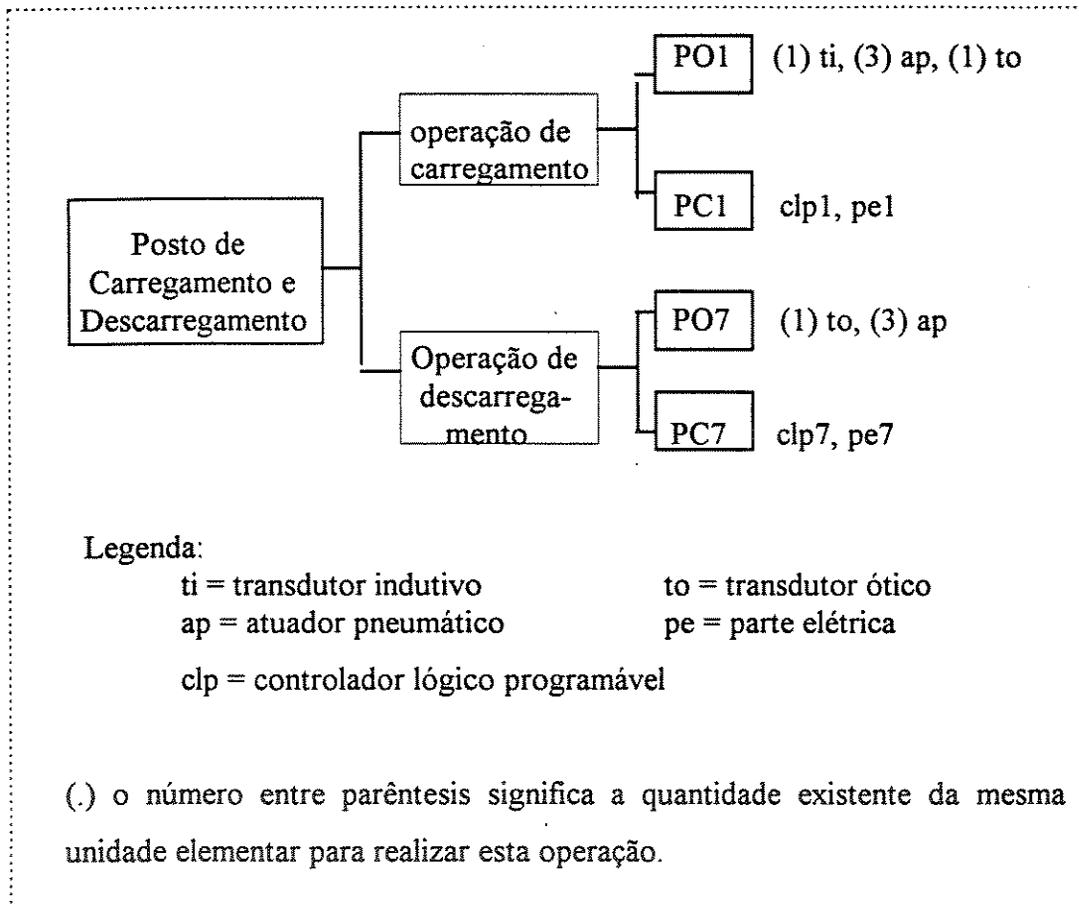


Fig. 5.2 - Organograma Técnico do Posto de Carregamento e Descarregamento (Ca/Dc)

### 5.2.1a) Operação de Carregamento

#### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

A operação de carregamento é realizada com a participação de dois subsistemas: a parte operativa 1 e a parte de comando 1. É necessário que as duas trabalhem com sucesso para o sucesso da operação de carregamento; isto implica em uma estrutura em série contendo estas duas partes, como indicado na figura 5.3.

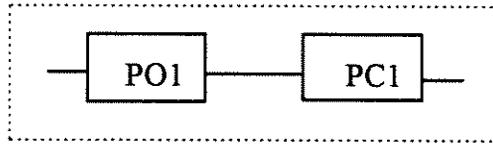


Fig. 5.3 - DBC da operação de carregamento, nível subsistema

Como consequência da estrutura série, a equação de confiabilidade da operação de carregamento é:

$$R_{ca} = R_{p01} \times R_{pc1} \quad 5.1$$

onde:

$R_{ca}$  = índice de confiabilidade da operação de carregamento

$R_{p01}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 1

$R_{pc1}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 1

Os dois blocos não possuem dados próprios de confiabilidade, é necessário descer mais nível no Organograma Técnico para obtê-los e iniciar o cálculo.

## ii) Cálculo da confiabilidade de PO1 (parte operativa da operação de carregamento)

### Diagrama de Bloco Instantâneo

Neste DBC todos os blocos possuem dados próprios de confiabilidade e, durante a operação do subsistema, não existindo variação das características de confiabilidade de nenhum bloco.

A figura 5.4 ilustra as operações a serem consideradas.

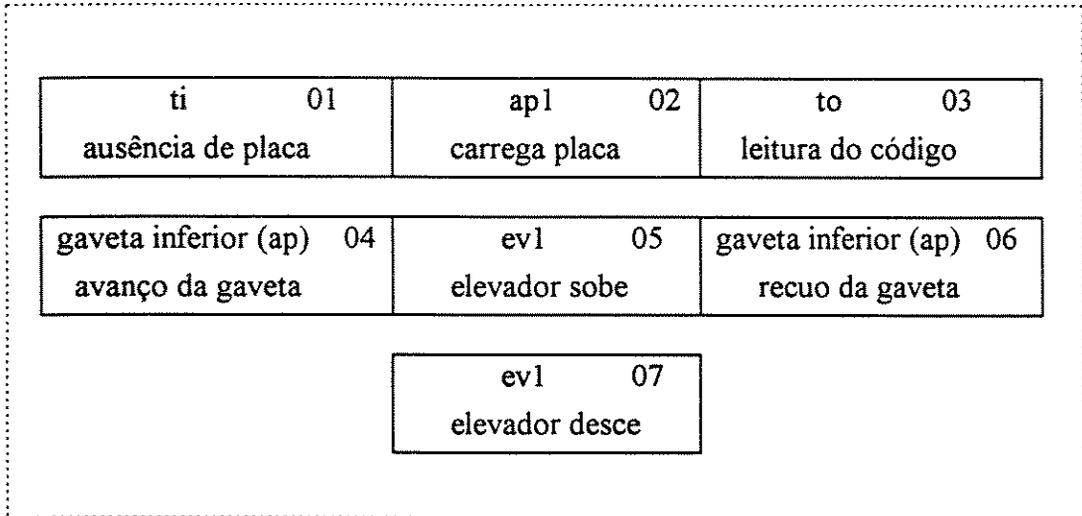


Fig. 5.4 - DBC Instantâneo - Operação de carregamento de placas

Novamente tem-se uma estrutura em série e como consequência a equação de confiabilidade da parte operativa da operação de carregamento é:

$$R_{po1} = \prod_{i=1}^n P_i$$

$$R_{po1} = (P_{ti}) \times (P_{ap})^3 \times (P_{ev})^2 \times (P_{to}) \quad 5.2$$

$$R_{po1} = (P_{ti}) \times (P_{ap})^5 \times (P_{to})$$

onde:

- P<sub>ti</sub> = probabilidade de sucesso do transdutor indutivo,
- P<sub>to</sub> = probabilidade de sucesso do transdutor ótico,
- P<sub>ap</sub> = probabilidade de sucesso do atuador pneumático,
- P<sub>ev</sub> = probabilidade de sucesso do elevador (também utiliza um atuador pneumático).

Substituindo, na equação 5.2, os valores de confiabilidade mostrados no Anexo 1, resulta:

$$R_{po1} = (0,999) \times (0,999)^5 \times (0,999)^2 \times (0,999)$$

$$R_{po1} = 0,993$$

iii) Cálculo da confiabilidade de PC1 (parte de controle da operação de carregamento)

A parte de controle da operação de carregamento é composta de dois componentes, clp1 e pel1. Aqui também é necessário que os dois componentes operem com sucesso para que a parte de controle opere com sucesso e seu diagrama de bloco tem a forma mostrada na figura 5.5.

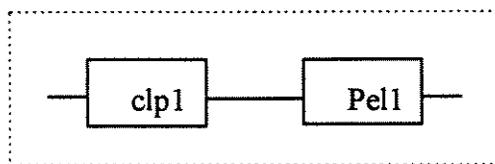


Fig. 5.5 - DBC da parte de controle da operação de carregamento

É importante observar que numa eventual falha da CLP local, esta poderia ser compensada pela atuação do Sistema de Supervisão e, neste caso, seria incluído mais um bloco correspondente ao Sistema de Supervisão em paralelo com a CLP local. Este bloco não foi incluído, pois não é esta a configuração atual da Plataforma.

A equação de confiabilidade da parte de controle da operação de carregamento é:

$$R_{pc1} = R_{clp1} \times R_{pel1} \quad 5.3$$

onde:

$R_{pc1}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 1

$R_{clp1}$  = probabilidade da clp usada no posto de carregamento/descarregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$R_{pel1}$  = probabilidade da parte elétrica da operação de carregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

Substituindo os valores de confiabilidade na equação 5.3, tem-se:

$$R_{pc1} = (0,999) \times (0,999)$$

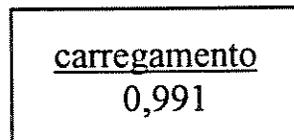
$$R_{pc1} = 0,998$$

Substituindo os valores de  $R_{p01}$  e  $R_{pc1}$  na equação 5.1, temos o valor do índice de confiabilidade da operação de carregamento:

$$R_{ca} = 0,993 \times 0,998 = 0,991$$

#### iv) Bloco reduzido

A operação de carregamento de placas no Sistema de Transferência é feita sempre da mesma maneira e consome as 7 etapas como descrito no diagrama de blocos deste item. Todas estas 7 etapas podem ser reduzidas a um único bloco. Este bloco será chamado de carregamento e o seu valor de confiabilidade foi obtido usando as equações 5.1, 5.2 e 5.3.



### 5.2.1b) Operação de Descarregamento

#### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

A operação de descarregamento é realizada com a participação de dois subsistemas: a parte operativa 7 e a parte de comando 7. É necessário que as duas trabalhem com sucesso para o sucesso da operação de descarregamento; isto implica em uma estrutura em série contendo estas duas partes, como ilustrado na figura 5.6.

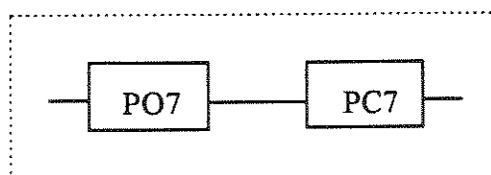


Fig. 5.6 - DBC da operação de descarregamento, nível subsistema

Como consequência da estrutura série, a equação de confiabilidade da operação de descarregamento é:

$$R_{dc} = R_{po7} \times R_{pc7} \quad 5.4$$

onde:

$R_{dc}$  = índice de confiabilidade da operação de descarregamento

$R_{po7}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 7

$R_{pc7}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 7

Como os dois blocos não possuem dados próprios de confiabilidade é necessário descer mais um nível no Organograma Técnico para obtê-los e iniciar o cálculo.

## ii) Cálculo da confiabilidade de PO7 (parte operativa da operação de descarregamento)

### Diagrama de Bloco Instantâneo

Neste DBC todos os blocos possuem dados próprios de confiabilidade e durante a operação do subsistema não existe variação das características de confiabilidade de nenhum bloco. Este DBC está no Anexo 2.

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de descarregamento é:

$$R_{po7} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{po7} = P_{to} \times (P_{ap})^3 \times (P_{ev})^2 \quad 5.5$$

Substituindo os valores básicos de confiabilidade conforme detalhado no Anexo 1, na equação 5.5, resulta:

$$R_{po7} = (0,999) \times (0,999)^3 \times (0,999)^2$$

$$R_{po7} = 0,994$$

iii) Cálculo da confiabilidade de PC7 (parte de controle da operação de descarregamento)

A parte de controle da operação de descarregamento pode ser considerada a mesma da operação de carregamento. Os componentes recebem outra denominação por facilidade didática.

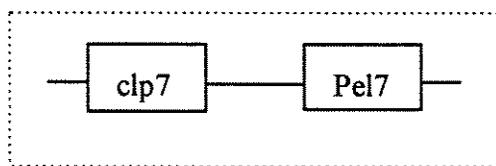


Fig. 5.7 - DBC da parte de comando da operação de descarregamento

A equação de confiabilidade da parte de controle da operação de descarregamento é:

$$R_{pc7} = P_{clp7} \times P_{pel7} \quad 5.6$$

onde:

$R_{pc7}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 7

$P_{clp7}$  = probabilidade da clp usada no posto de carregamento/d Descarregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$P_{pel7}$  = probabilidade da parte elétrica da operação de descarregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$$R_{pc7} = (0,999) \times (0,999)$$

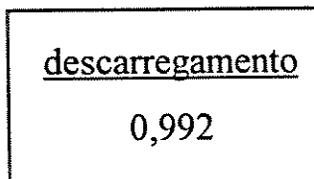
$$R_{pc7} = 0,998$$

Substituindo os valores de  $R_{p07}$  e  $R_{p7}$  na equação 5.4, temos o valor do índice de confiabilidade da operação de descarregamento:

$$R_{dc} = 0,998 \times 0,994 = 0,992$$

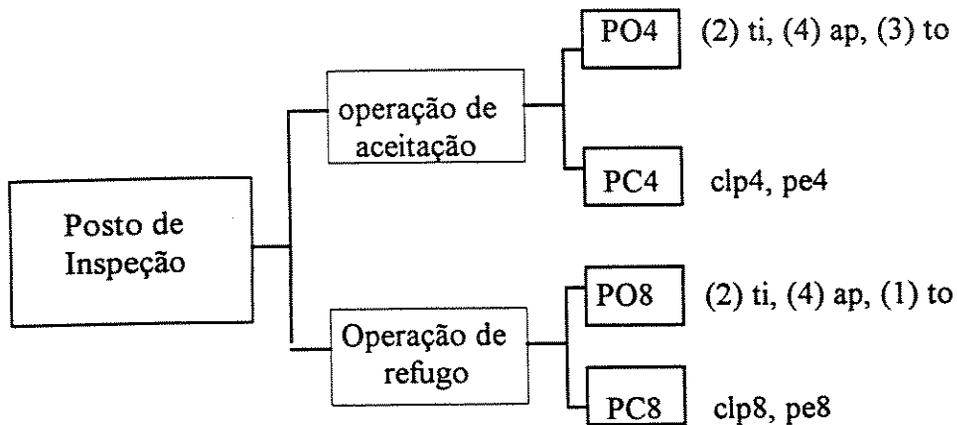
#### iv) Bloco reduzido

A operação de descarregamento de placas no Sistema de Transferência é feita sempre da mesma maneira e consome as 6 etapas como descrito no Diagrama de Blocos Instantâneo no Anexo 2. Todas estas 6 etapas podem ser reduzidas a um único bloco. Este bloco será chamado de descarregamento e o seu valor de confiabilidade foi obtido usando as equações 5.4, 5.5, 5.6 e dados do Anexo 1.



#### 5.2.2- Subsistema Posto de Inspeção

Este subsistema é responsável por verificar a conformidade das operações de montagem e desmontagem realizadas nos postos de Montagem Central e Lateral. Esta conformidade significa constatar que a ordem contida no código, montar ou desmontar  $n$  blocos,  $1 < n < 6$ , foi executada com sucesso e, como consequência o “produto” está aceito. No caso de não haver constatação da conformidade da ordem contida no código, o produto não será aceito e será refugado. Desta maneira, o Posto de Inspeção executa duas operações, aceitação e refugo, e é estruturado da maneira indicada na figura 5.8.



Legenda:

ti = transdutor indutivo

to = transdutor ótico

ap = atuador pneumático

pe = parte elétrica

clp = controlador lógico programável

(.) o número entre parêntesis significa a quantidade existente da mesma unidade elementar para realizar esta operação.

Fig. 5.8 - Organograma técnico do posto de inspeção

Para cada operação do subsistema será atribuído um índice de confiabilidade

### 5.2.2a) Operação de Aceitação

#### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

A operação de aceitação é realizada com a participação de dois subsistemas: a parte operativa 4 e a parte de comando 4. É necessário que as duas trabalhem com sucesso para o sucesso da operação de aceitação; isto implica em uma estrutura em série contendo estas duas partes, como indicado na figura 5.9.

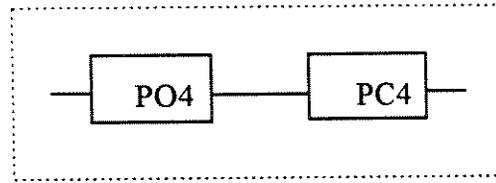


Fig. 5.9 - DBC da operação de aceitação, nível subsistema

Como consequência da estrutura série, a equação de confiabilidade da operação de aceitação é:

$$R_{ac} = R_{po4} \times R_{pc4} \quad 5.7$$

onde:

$R_{ac}$  = índice de confiabilidade da operação de aceitação

$R_{po4}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 4

$R_{pc4}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 4

Como os dois blocos não possuem dados próprios de confiabilidade, é necessário descer mais um nível no Organograma Técnico para obtê-los e iniciar o cálculo.

## ii) Cálculo da confiabilidade de PO4 (parte operativa da operação de aceitação)

### Diagrama de Bloco Instantâneo

Neste DBC, todos os blocos possuem dados próprios de confiabilidade e, durante a operação do sistema, não existe variação das características de confiabilidade de nenhum bloco. Este DBC está apresentado no anexo 2.

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de aceitação é:

$$R_{po4} = \prod_{i=1}^n P_i$$

$$R_{po4} = (P_{to})^6 \times (P_{ev})^4 \times (P_{ap})^9 \times (P_{ti}) \quad 5.8$$

onde:

Pto = probabilidade de sucesso do transdutor ótico,

Pti = probabilidade de sucesso do transdutor indutivo,

Pap = probabilidade de sucesso do atuador pneumático,

Pev = probabilidade de sucesso do elevador, (este elevador é um atuador pneumático usado na posição vertical)

Substituindo, na equação 5.8, os valores básicos de confiabilidade obtidos no Anexo 1 resulta:

$$R_{po4} = (0,999)^6 \times (0,999)^4 \times (0,999)^9 \times (0,999)$$

$$R_{po4} = 0,981$$

### iii) Cálculo da confiabilidade de PC4 (parte de controle da operação de aceitação)

A parte de controle da operação de aceitação é composta de dois componentes, clp4 e pel4. Aqui também é necessário que os dois componentes operem com sucesso para que a parte de controle opere com sucesso, sendo assim, seu diagrama de bloco é o apresentado na figura 5.10.

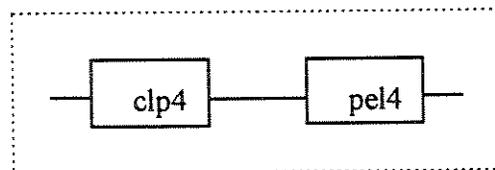


Fig. 5.10 - DBC da parte de comando da operação de aceitação

A equação de confiabilidade da parte de controle da operação de aceitação é:

$$R_{pc4} = P_{clp4} \times P_{pel4}$$

5.9

Substituindo em 5.9 os valores de Pclp4 e Ppel4 apresentados no Anexo 1, resulta em:

$$R_{pc4} = (0,999) \times (0,999)$$

$$R_{pc4} = 0,998$$

onde:

$R_{pc4}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 4

$R_{clp4}$  = probabilidade da clp usada no posto de carregamento/descarregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$R_{pel4}$  = probabilidade da parte elétrica da operação de carregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

Substituindo os valores de  $R_{po4}$  e  $R_{pc4}$  na equação 5.7, temos o valor do índice de confiabilidade da operação de aceitação:

$$R_{ac} = 0,981 \times 0,998 = 0,979$$

#### iv) Bloco reduzido

A operação de aceitação de uma montagem realizada é feita sempre da mesma maneira e consome as 19 etapas como descrito em no Diagrama de Blocos Instantâneo no Anexo 2. Todas estas etapas podem ser reduzidas a um único bloco, que será chamado de aceitação e valor de confiabilidade foi obtido usando as equações 5.7, 5.8 e 5.9.

<u>aceitação</u>
0,979

## 5.2.2b) Operação de Refugo

### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

A operação de refugo está subdividida em duas partes: a parte operativa 8 e a parte de comando 8. É necessário que as duas trabalhem com sucesso para o sucesso da operação de refugo; o que implica em uma estrutura em série contendo estas duas partes e leva à situação ilustrada da figura 5.11.

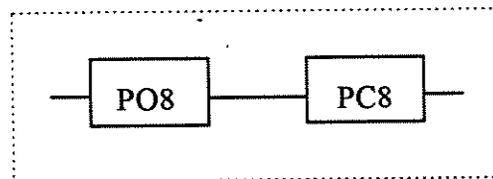


Fig. 5.11 - DBC da operação de refugo, nível subsistema

A equação de confiabilidade da operação de refugo é:

$$R_{re} = R_{po8} \times R_{pc8} \quad 5.10$$

onde:

$R_{re}$  = índice de confiabilidade da operação de refugo

$R_{po8}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 8

$R_{pc8}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 8

Como os dois blocos não possuem dados próprios de confiabilidade, é necessário descer mais um nível no Organograma Técnico para obtê-los e iniciar o cálculo.

### ii) Cálculo da confiabilidade de PO8 (parte operativa da operação de refugo)

#### Diagrama de Bloco Instantâneo

Neste DBC todos os blocos possuem dados próprios de confiabilidade e, durante a operação do sistema, não existe variação das características de confiabilidade de nenhum bloco. Este DBC está apresentado no Anexo 2.

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de refugo é (novamente uma estrutura em série):

$$R_{po8} = \prod P_i$$

$$R_{po8} = (P_{ti})^6 \times (P_{ap})^8 \times (P_{ev})^2 \times (P_{to}) \quad 5.11$$

onde:

$P_{ti}$  = probabilidade de sucesso do transdutor indutivo,

$P_{to}$  = probabilidade de sucesso do transdutor ótico,

$P_{ap}$  = probabilidade de sucesso do atuador pneumático,

$P_{ev}$  = probabilidade de sucesso do elevador, (este elevador é um atuador pneumático usado na posição vertical).

Substituindo os valores de confiabilidade obtidos no Anexo 1, na equação 5.11, temos:

$$R_{po8} = (0,999)^6 \times (0,999)^8 \times (0,999)^2 \times (0,999)$$

$$R_{po8} = 0,983$$

### iii) Cálculo da confiabilidade de PC8 (parte de controle da operação de refugo)

A parte de controle da operação de refugo é composta de dois componentes,  $clp8$  e  $pel8$ . Aqui também é necessário que os dois componentes operem com sucesso para que a parte de controle opere com sucesso, sendo assim, seu diagrama de bloco é apresentado na figura 5.12.

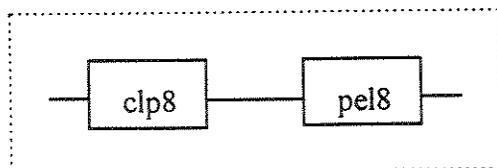


Fig. 5.12 - DBC da parte de controle da operação de refugo

A equação de confiabilidade da parte de controle da operação de refugo é:

$$R_{pc8} = P_{clp8} \times P_{pe8} \quad 5.12$$

Usando, em 5.12, os valores de confiabilidade apresentados no Anexo 1, resulta:

$$R_{pc8} = (0,999) \times (0,999)$$

$$R_{pc8} = 0,998$$

onde:

$R_{pc8}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 8

$R_{clp8}$  = probabilidade da clp usada no posto de carregamento/descarregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

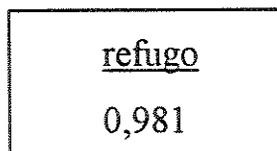
$R_{pe8}$  = probabilidade da parte elétrica da operação de carregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

Substituindo os valores de  $R_{po8}$  e  $R_{pc8}$  na equação 5.10, temos o valor do índice de confiabilidade da operação de refugo:

$$R_{re} = 0,983 \times 0,998 = 0,981$$

#### iv) Bloco reduzido

A operação de refugo de uma montagem realizada é feita sempre da mesma maneira e consome as 17 etapas como descrito no Diagrama de Blocos Instantâneo, no Anexo 2. Todas estas etapas podem ser reduzidas a um único bloco. Este bloco será chamado de refugo e o seu valor de confiabilidade foi obtido usando a equação 5.10, 5.11 e 5.12.



### 5.2.3- Subsistema de Montagem e Desmontagem Central.

Este subsistema é responsável em montar e desmontar cubos na posição central das placas. Esta estruturado da seguinte maneira:

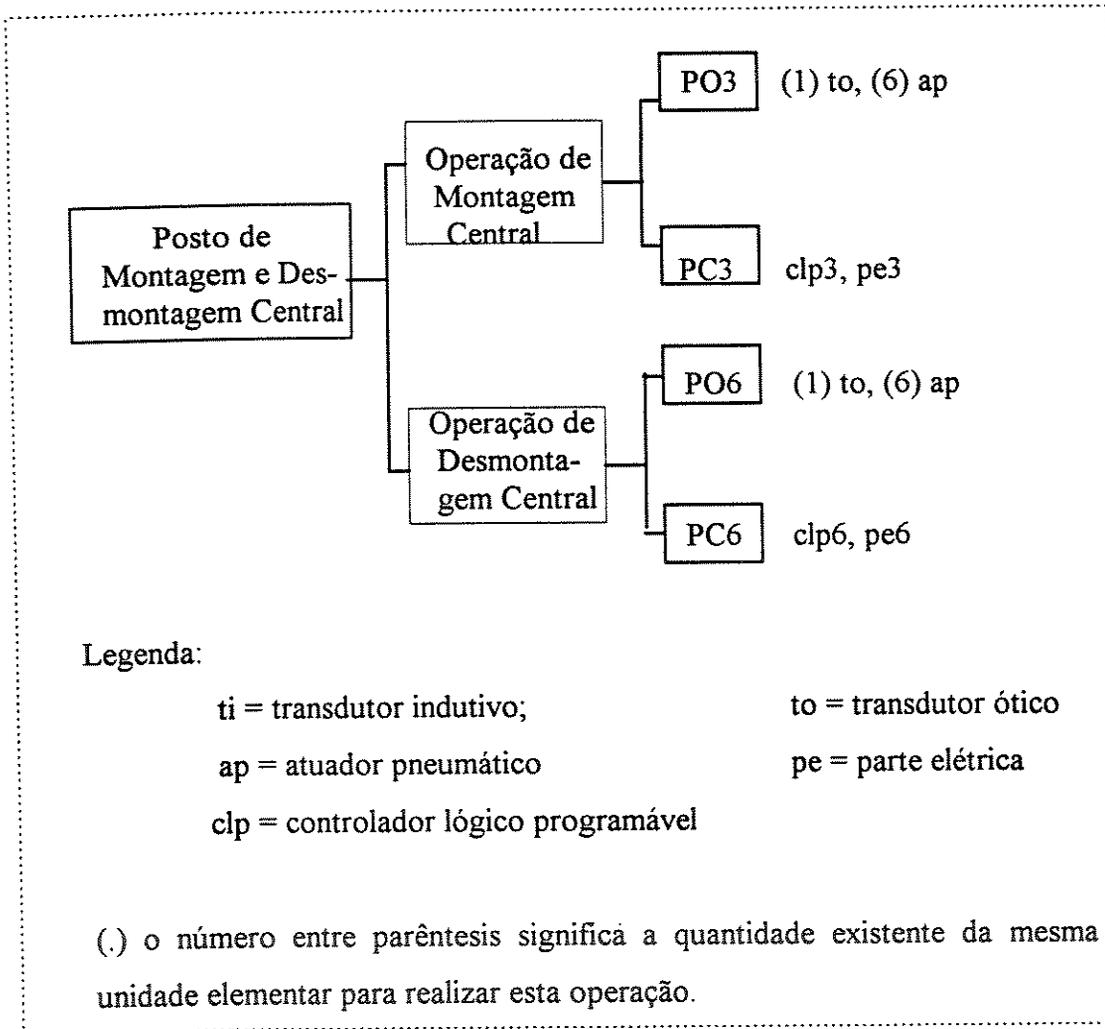


Fig. 5.13 - Organograma técnico do posto de montagem e desmontagem central

Para cada operação do subsistema será atribuído um índice confiabilidade

#### 5.2.3a) Operação de Montagem Central

### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

Esta operação comporta duas rotinas diferentes: montagem de 1 bloco e montagem de dois blocos na posição central. Em qualquer delas é necessário que a parte operativa 3 e a parte de controle 3 trabalhem com sucesso para sucesso da operação de montagem central; isto implica em uma estrutura em série contendo as duas partes, como indicado na figura 5.14.

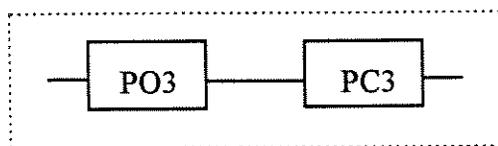


Fig. 5.14 - DBC da operação de montagem central, nível subsistema

A equação de confiabilidade básica da operação de montagem na posição central é:

$$R_{m1\_} = R_{po3} \times R_{pc3} \quad 5.13$$

onde:

$R_{m1}$  = índice de confiabilidade da operação de montagem central

$R_{po3}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 3

$R_{pc3}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 3

Observar que na realidade tem-se quatro equações de confiabilidade ligadas a esta operação, a serem discriminadas no sub-item Bloco Reduzido.

### ii) Cálculo da confiabilidade de PO3 (parte operativa da operação de montagem central)

Este posto realiza duas rotinas distintas. A diferença entre rotinas é bastante pequena e perfeitamente caracterizada no diagrama de blocos da parte operativa.

#### Diagrama de Bloco Instantâneo - montagem de 1 bloco posição central

Este DBC está no Anexo 2.

### Diagrama de Bloco Instantâneo - montagem de 2 blocos posição central

Este DBC está no Anexo 2.

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de montagem de 1 bloco na posição central é:

$$R_{m11} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{m11} = (P_t) \times (P_{ap})^{10} \times (P_{ev})^8 \quad 5.14$$

$$R_{m11} = (0,999) \times (0,999)^{10} \times (0,999)^8$$

$$R_{m11} = 0,981$$

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de montagem de 2 blocos na posição central é:

$$R_{m12} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{m12} = (P_t) \times (P_{ap})^{16} \times (P_{ev})^{12} \quad 5.15$$

$$R_{m12} = (0,999848) \times (0,999)^{16} \times (0,999)^{12}$$

$$R_{m12} = 0,971$$

onde:

$R_{m11}$  - montagem central de um bloco

$R_{m12}$  - montagem central de dois blocos

iii) Cálculo da confiabilidade de PC3 (parte de controle da operação de montagem central)

A parte de controle da operação de montagem 2 é composta de dois componentes, clp3 e pel3. Aqui também é necessário que os dois componentes operem com sucesso para que a parte de controle opere com sucesso, sendo assim, o diagrama de bloco correspondente está mostrado na figura 5.15.

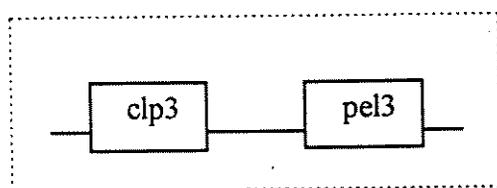


Fig. 5.15 - DBC da parte de controle da operação de montagem central

A equação de confiabilidade da parte de controle da operação de montagem central é:

$$R_{pc3} = P_{clp3} \times P_{pel3} \quad 5.16$$

onde:

$R_{pc3}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 3

$R_{clp3}$  = probabilidade da clp usada no posto de carregamento/d Descarregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$R_{pel3}$  = probabilidade da parte elétrica da operação de carregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$$R_{pc3} = (0,999) \times (0,999)$$

$$R_{pc3} = 0,998$$

iv) Bloco reduzido

De maneira análoga à que foi feita no item montagem lateral, os dois blocos atrelados a esta operação serão construídos segundo as alternativas indicadas na figura 5.16.

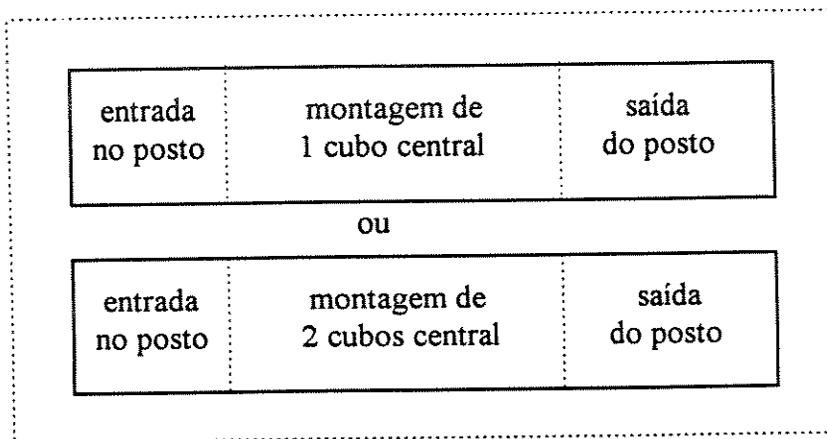
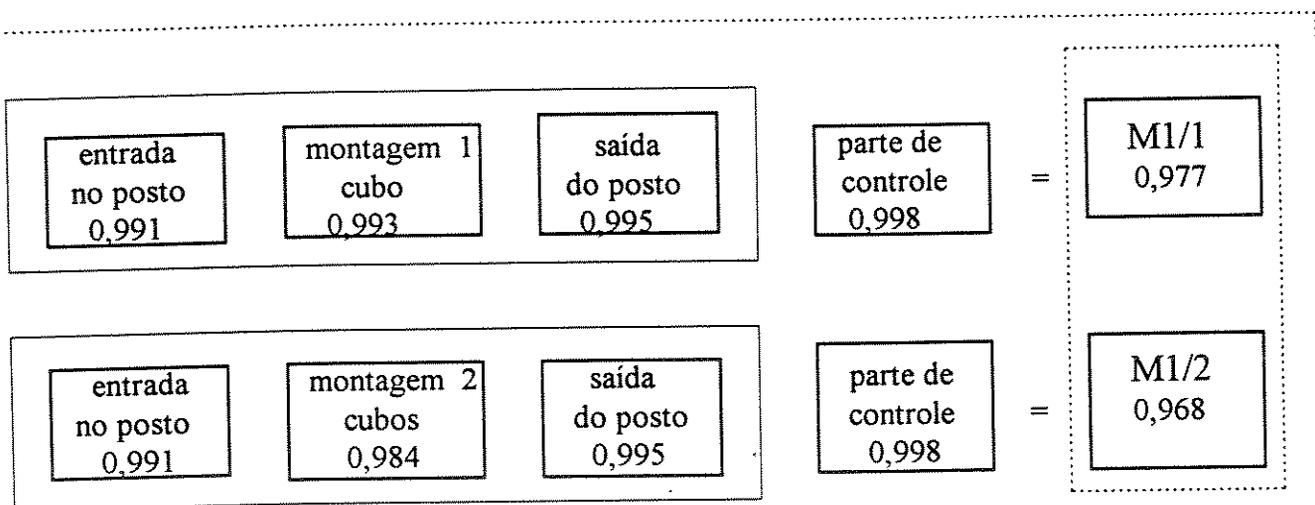


Fig. 5.16 - Blocos reduzidos da operação de montagem central

As alternativas levam aos DBCs de blocos reduzidos mostrados na figura 5.17.



Legenda:

M1/1 = bloco reduzido da operação de montagem no posto central, para a rotina de montagem de 1 bloco na posição central

M1/2 = bloco reduzido da operação de montagem no posto central, para a rotina de montagem de 2 blocos na posição central

Fig. 5.17 DBCs de blocos reduzidos - operação de montagem central

### 5.2.3b) Operação de Desmontagem Central

#### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

Esta operação comporta duas rotinas diferentes: desmontagem de 1 bloco e desmontagem de dois blocos na posição central. Em qualquer delas é necessário que a parte operativa 3 e a parte de controle 3 trabalhem com sucesso para sucesso da operação de desmontagem central; isto implica em uma estrutura em série contendo as duas partes, como indicado na figura 5.18.

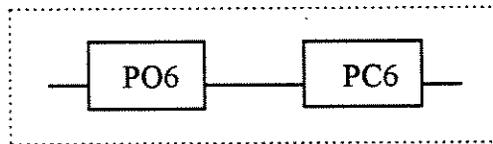


Fig. 5.18 - DBC da operação de desmontagem central

A equação de confiabilidade básica da operação de desmontagem central é:

$$R_{dm1\_} = R_{po6} \times R_{pc6} \quad 5.17$$

onde:

$R_{dm1\_}$  = índice de confiabilidade da operação de desmontagem 2

$R_{po6}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 6

$R_{pc6}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 6

Observar que na realidade temos quatro equações de confiabilidade ligadas a esta operação, que serão discriminadas no sub-item Bloco Reduzido.

#### ii) Cálculo da confiabilidade de PO6 (parte operativa da operação de desmontagem central)

Conforme dito acima, este posto realiza duas rotinas distintas. A diferença entre rotinas é bastante pequena e perfeitamente caracterizada no diagrama de blocos da parte operativa.

### Diagrama de Bloco Instantâneo - desmontagem de 1 bloco posição central

Este DBC está no Anexo 2.

### Diagrama de Bloco Instantâneo - desmontagem de 2 blocos posição central

Este DBC está no Anexo 2.

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de desmontagem de 1 bloco no posto 2 é:

$$R_{dm11} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{dm11} = (P_t) \times (P_{ap})^{10} \times (P_{ev})^8 \quad 5.18$$

$$R_{dm11} = (0,999) \times (0,999)^{10} \times (0,999)^8$$

$$R_{dm11} = 0,981$$

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de desmontagem de 2 blocos na posição central é:

$$R_{dm12} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{dm12} = (P_t) \times (P_{ap})^{16} \times (P_{ev})^{12} \quad 5.19$$

$$R_{dm12} = (0,999848) \times (0,999)^{16} \times (0,999)^{12}$$

$$R_{dm12} = 0,971$$

onde:

$R_{dm11}$  - desmontagem central de um bloco

$R_{dm12}$  - desmontagem central de dois blocos

iii) Cálculo da confiabilidade de PC6 (parte de controle da operação de desmontagem central)

A parte de controle da operação de desmontagem central é composta de dois componentes, clp6 e pel6. Aqui também é necessário que os dois componentes operem com sucesso para que a parte de controle opere com sucesso, sendo assim, seu diagrama de bloco é aquele indicado na figura 5.19.

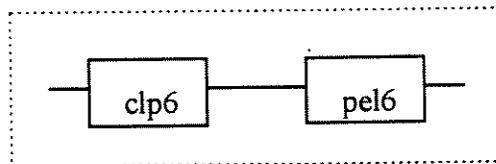


Fig. 5.19 - DBC da parte de controle da operação de desmontagem central

A equação de confiabilidade da parte de controle da operação de desmontagem central é:

$$R_{pc6} = P_{clp6} \times P_{pel6} \quad 5.20$$

onde:

$R_{pc6}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 6

$P_{clp6}$  = probabilidade da clp usada no posto de carregamento/desc. operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$P_{pel6}$  = probabilidade da parte elétrica da operação de carregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

Substituindo os valores correspondentes à equação 5.20, temos:

$$R_{pc6} = (0,999) \times (0,999)$$

$$R_{pc6} = 0,998$$

iv) Bloco reduzido

De maneira análoga à que foi feita no item, montagem central, os dois blocos atrelados a esta operação serão construídos da maneira indicada na figura 5.20.

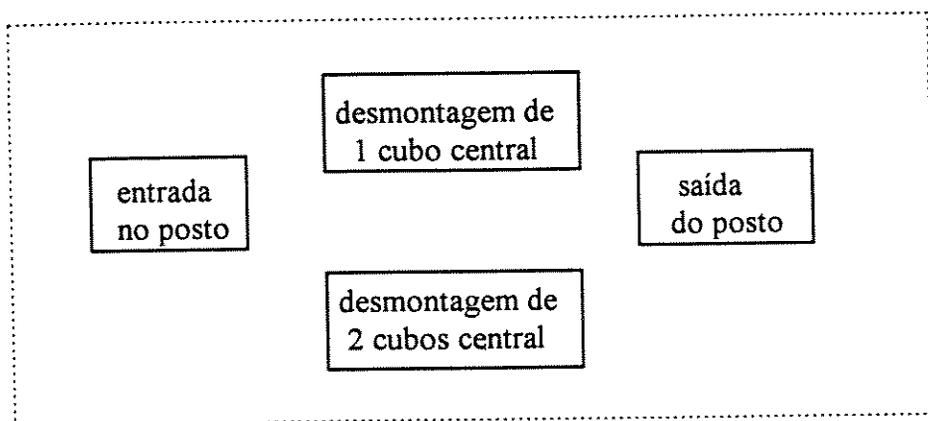
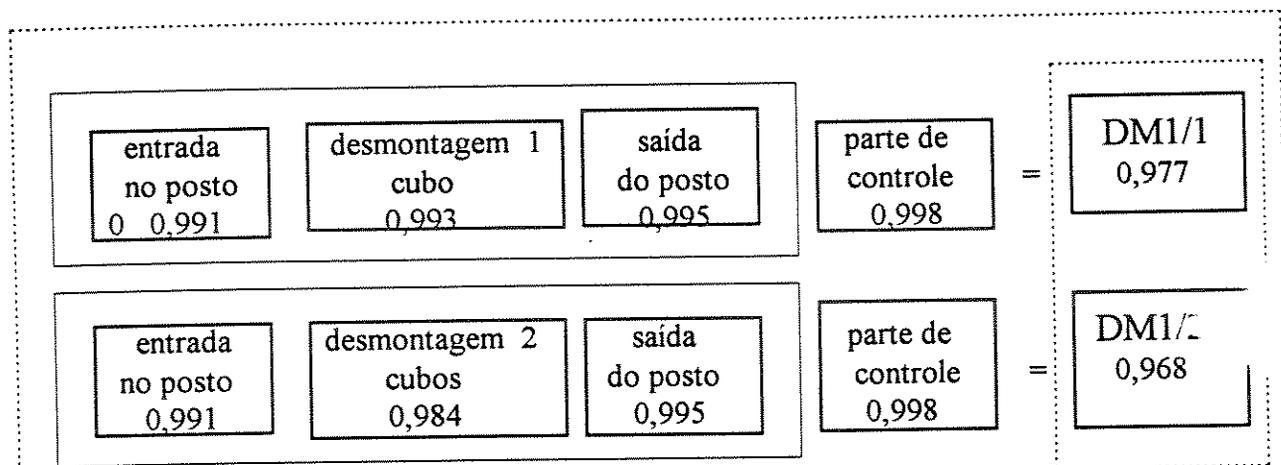


Fig. 5.20 - Blocos reduzidos da operação de desmontagem central

Os DBCs correspondentes estão apresentados na figura 5.21.



Legenda:

DM1/1 = bloco reduzido da operação de desmontagem no posto central, para a rotina de desmontagem de 1 bloco na posição central

DM2/2 = bloco reduzido da operação de desmontagem no posto central, para a rotina de desmontagem de 2 blocos na posição central

Fig. 5.21- DBCs de blocos reduzidos - operação de desmontagem central



### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

Esta operação comporta quatro rotinas diferentes: montagem de 1 bloco e montagem de dois blocos, tanto na posição lateral direita como na posição lateral esquerda. Em qualquer rotina é necessário que a parte operativa 2 e a parte de controle 2 trabalhem com sucesso para o sucesso da operação de montagem lateral; isto implica em uma estrutura em série contendo as duas partes, como indicado na figura 5.23.

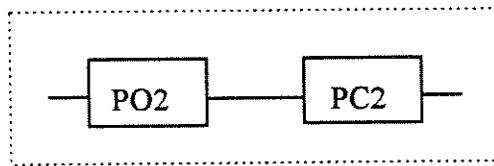


Fig. 5.23 - DBC da operação de montagem lateral, nível subsistema

A equação de confiabilidade básica da operação de montagem de um bloco na posição lateral é:

$$R_{m1\_} = R_{po2} \times R_{pc2} \quad 5.21$$

onde:

$R_{m1\_}$  = índice de confiabilidade da operação de montagem 1

$R_{po2}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 2

$R_{pc2}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 2

Observar que na realidade tem-se quatro equações de confiabilidade ligadas a esta operação, que estão discriminadas no sub-item Bloco Reduzido.

### ii) Cálculo da confiabilidade de PO2 (parte operativa da operação de montagem lateral)

Conforme dito acima, este posto realiza quatro rotinas distintas. A diferença entre rotinas é bastante pequena e perfeitamente caracterizada no diagrama de blocos da parte operativa. No Anexo 2 serão apresentados os Diagramas de Blocos Instantâneo para duas rotinas, a maior (56 etapas) corresponde à montagem de quatro blocos na posição lateral e a menor (21 etapas) corresponde à montagem de um bloco na posição lateral.

### Diagrama de Bloco Instantâneo - montagem de 1 bloco posição lateral esquerda

Este DBC está no Anexo 2.

### Diagrama de Bloco Instantâneo - montagem de 2 blocos posição lateral esquerda

Este DBC também está no Anexo 2.

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de montagem de 1 bloco na posição lateral é:

$$R_{m21E} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{m21E} = (P_t) \times (P_{ap})^{12} \times (P_{ev})^8 \quad 5.22$$

Usando os valores numéricos correspondentes na equação 5.22, resulta em:

$$R_{m21E} = (0,999) \times (0,999)^{12} \times (0,999)^8$$

$$R_{m21E} = 0,979$$

$$R_{m21D} = \prod_{i=1}^n P_i$$

$$R_{m21D} = (P_t) \times (P_{ap})^{12} \times (P_{ev})^8 \quad 5.23$$

Procedimento semelhante produz:

$$R_{m21D} = (0,999) \times (0,999)^{12} \times (0,999)^8$$

$$R_{m21D} = 0,979$$

onde:

Rm21E - montagem na lateral esquerda de um bloco.

Rm21D - montagem na lateral direita de um bloco.

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de montagem de 2 blocos na posição lateral, usando procedimento semelhante aos anteriores produz:

$$R_{m22E} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{m22E} = (P_t) \times (P_{ap})^{18} \times (P_{ev})^{12} \quad . \quad 5.24$$

$$R_{m22E} = (0,999) \times (0,999)^{18} \times (0,999)^{12}$$

$$R_{m22E} = 0,969$$

$$R_{m22D} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{m22D} = (P_t) \times (P_{ap})^{18} \times (P_{ev})^{12} \quad . \quad 5.25$$

$$R_{m21D} = (0,999) \times (0,999)^{18} \times (0,999)^{12}$$

$$R_{m22D} = 0,969$$

onde:

Rm22E - montagem na lateral esquerda de dois blocos.

Rm22D - montagem na lateral direita de dois blocos.

### iii) Cálculo da confiabilidade de PC2 (parte de controle da operação montagem lateral)

A parte de controle da operação de montagem lateral é composta de dois componentes, clp2 e pel2. Aqui também é necessário que os dois componentes operem com sucesso para que

a parte de controle opere com sucesso, sendo assim, seu diagrama de bloco é aquele mostrado na figura 5.24.

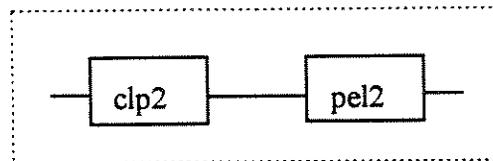


Fig. 5.24 - DBC da parte de controle da operação de desmontagem lateral

A equação de confiabilidade da parte de controle da operação de montagem lateral é:

$$R_{pc2} = P_{clp2} \times P_{pel2} \quad 5.26$$

onde:

$R_{pc2}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 2

$P_{clp2}$  = probabilidade da clp usada no posto de carregamento/descarregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$P_{pel2}$  = probabilidade da parte elétrica da operação de carregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

A utilização dos valores correspondentes em 5.26, produz:

$$R_{pc2} = (0,999) \times (0,999)$$

$$R_{pc2} = 0,998$$

#### iv) Bloco reduzido

O posto de montagem lateral possui um grau de complexidade maior que os postos de Carregamento/Descarregamento e o de Inspeção; devido às quatro rotinas que ele pode realizar, serão atrelados a ele não um, mas quatro blocos reduzidos, um para cada rotina.

Analisando o diagrama de blocos de cada rotina percebe-se que a entrada no posto é sempre a mesma (etapa 01 a etapa 09) independente da rotina que será executada. O mesmo acontece com a saída da placa do posto (etapa 17 a etapa 21 ou 27 a 31). Sendo assim, os quatro blocos atrelados a esta operação serão construídos da maneira indicada na figura 5.25.

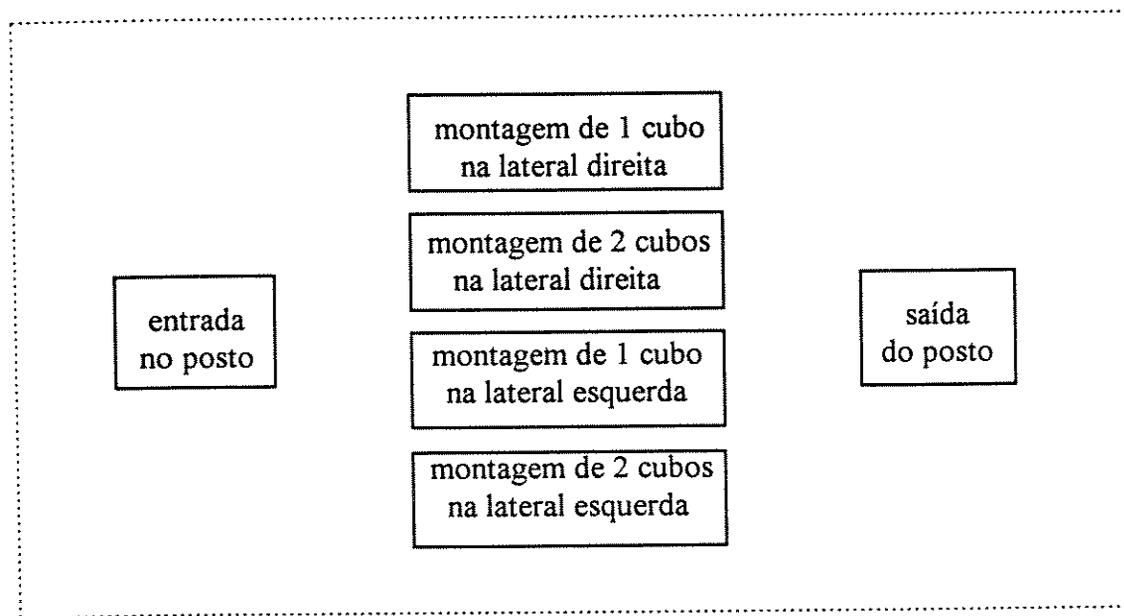
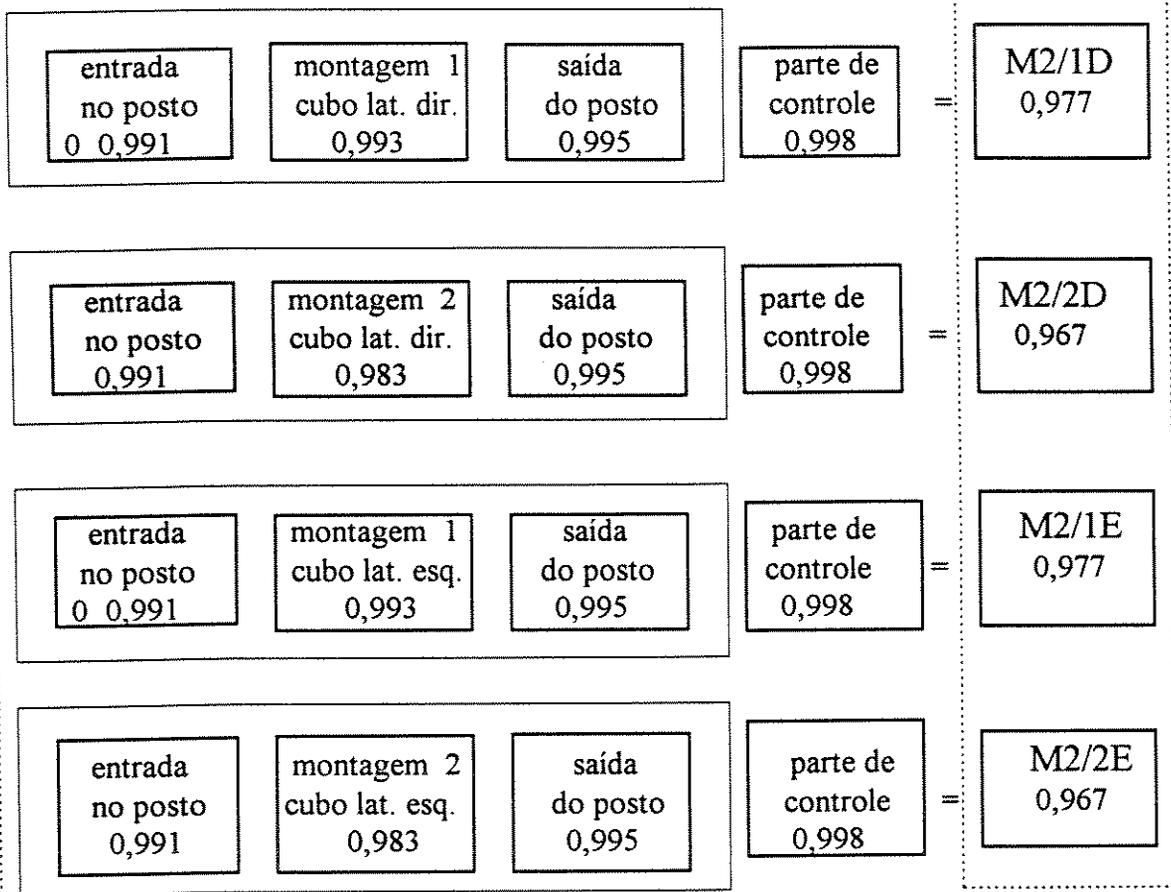


Fig. 5.25 - Blocos reduzidos da operação de montagem lateral

A situação analisada permite obter os blocos reduzidos indicados na figura 5.26. As demais configurações de montagem possíveis, neste posto, não estão representadas. Com estes blocos reduzidos é possível obter os valores de todas as outras configurações possíveis neste posto.



M2/1D = bloco reduzido da operação de montagem no posto de montagem lateral, para a rotina de montagem de 1 bloco na posição lateral direita.

M2/2D = idem, 2 blocos.

M2/1E = bloco reduzido da operação de montagem no posto de montagem lateral, para a rotina de montagem de 1 bloco na posição lateral esquerda.

M2/2E = idem, 2 blocos.

Fig. 5.26 - DBCs de blocos reduzidos - operação de montagem lateral

#### 5.2.4b) Operação de Desmontagem Lateral

### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

Esta operação também comporta quatro rotinas diferentes: desmontagem de 1 bloco e desmontagem de dois blocos, posição lateral direita e posição lateral esquerda. Em qualquer rotina é necessário que a parte operativa 5 e a parte de controle 5 trabalhem com sucesso para sucesso da operação de desmontagem lateral; isto implica em uma estrutura em série contendo as duas partes.

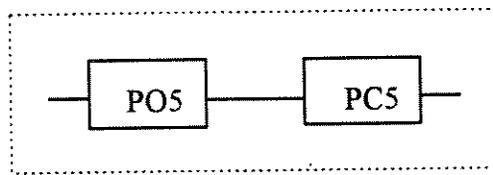


Fig. 5.27 - DBC da operação de desmontagem lateral

A equação de confiabilidade básica da operação de desmontagem lateral é:

$$R_{dm2\_} = R_{po5} \times R_{pc5} \quad 5.27$$

onde:

$R_{dm2\_}$  = índice de confiabilidade da operação de desmontagem 2

$R_{po5}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 5

$R_{pc5}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 5

Na realidade tem-se quatro equações de confiabilidade ligadas a esta operação, a serem discriminadas no sub-item Bloco Reduzido.

### ii) Cálculo da confiabilidade de PO5 (parte operativa da operação de desmontagem lateral)

Da mesma maneira que a operação de montagem comporta quatro rotinas básicas, a operação de desmontagem também as comporta e, novamente, será usado o diagrama de bloco da parte operativa para caracterizá-las. Também serão apresentados dois diagramas de bloco

para duas rotinas, a maior (31 etapas) corresponde a desmontagem de dois blocos na posição lateral e a menor (21 etapas) corresponde a desmontagem de um bloco na posição lateral.

#### Diagrama de Bloco Instantâneo - desmontagem de 1 bloco posição lateral esquerda

Este DBC está no Anexo 2.

#### Diagrama de Bloco Instantâneo - desmontagem de 2 blocos posição lateral esquerda

Este DBC está no Anexo 2.

A equação de confiabilidade da parte operativa da operação de desmontagem de 1 bloco na posição lateral e o índice resultante para cada alternativa existente usando os valores estabelecidos será:

$$R_{dm21E} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{dm21E} = (P_t) \times (P_{ap})^{12} \times (P_{ev})^8 \quad 5.28$$

$$R_{dm21E} = (0,999) \times (0,999)^{12} \times (0,999)^8$$

$$R_{dm21E} = 0,979$$

$$R_{dm21D} = \prod_{i=1}^n P_i$$
$$R_{dm21D} = (P_t) \times (P_{ap})^{12} \times (P_{ev})^8 \quad 5.29$$

$$R_{dm21D} = (0,999) \times (0,999)^{12} \times (0,999)^8$$

$$R_{dm21D} = 0,979$$

onde:

Rdm21E - desmontagem na lateral esquerda de um bloco

Rdm21D - desmontagem na lateral direita de um bloco

Da mesma forma para a parte operativa da operação de desmontagem de 2 blocos na posição lateral:

$$\begin{aligned} Rdm22D &= \prod_{i=1}^n P_i \\ Rdm22D &= (Pt) \times (Pap)^{18} \times (Pev)^{12} \end{aligned} \quad 5.30$$

$$Rdm22D = (0,999) \times (0,999)^{18} \times (0,999)^{12}$$

$$Rdm22D = 0,969$$

$$\begin{aligned} Rdm22E &= \prod_{i=1}^n P_i \\ Rdm22E &= (Pt) \times (Pap)^{18} \times (Pev)^{12} \end{aligned} \quad 5.31$$

$$Rdm22E = (0,999) \times (0,999)^{18} \times (0,999)^{12}$$

$$Rdm22E = 0,969$$

onde:

Rdm22E - desmontagem na lateral esquerda de dois blocos

Rdm22D - desmontagem na lateral direita de dois blocos

### iii) Cálculo da confiabilidade de PC5 (parte de controle da operação de desmontagem lateral)

A parte de controle da operação de desmontagem lateral é composta de dois componentes, clp5 e pel5. Aqui também é necessário que os dois componentes operem com

sucesso para que a parte de controle opere com sucesso, sendo assim, seu diagrama de bloco toma a forma indicada na figura 5.27.

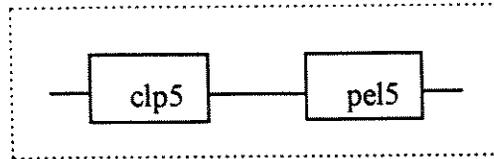


Fig. 5.27 - DBC da parte de comando da operação de desmontagem lateral

A equação de confiabilidade da parte de controle da operação de desmontagem lateral é:

$$R_{pc5} = P_{clp5} \times P_{pel5} \quad 5.32$$

onde:

$R_{pc5}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 5

$P_{clp5}$  = probabilidade da clp usada no posto de carregamento/descarregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$P_{pel5}$  = probabilidade da parte elétrica da operação de carregamento operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

O uso dos valores correspondentes em 5.32 produz:

$$R_{pc5} = (0,999) \times (0,999)$$

$$P_{pc5} = 0,998$$

#### iv) Bloco reduzido

De maneira análoga à que foi feita para operação de montagem lateral, a operação de desmontagem lateral terá quatro blocos reduzidos, um para cada rotina, conforme ilustrado na figura 5.28.

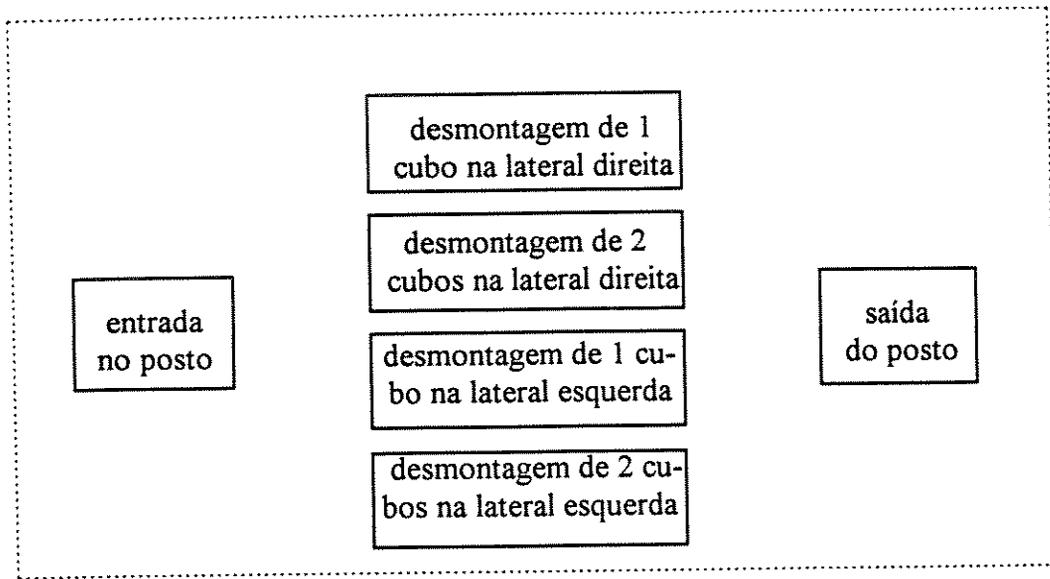
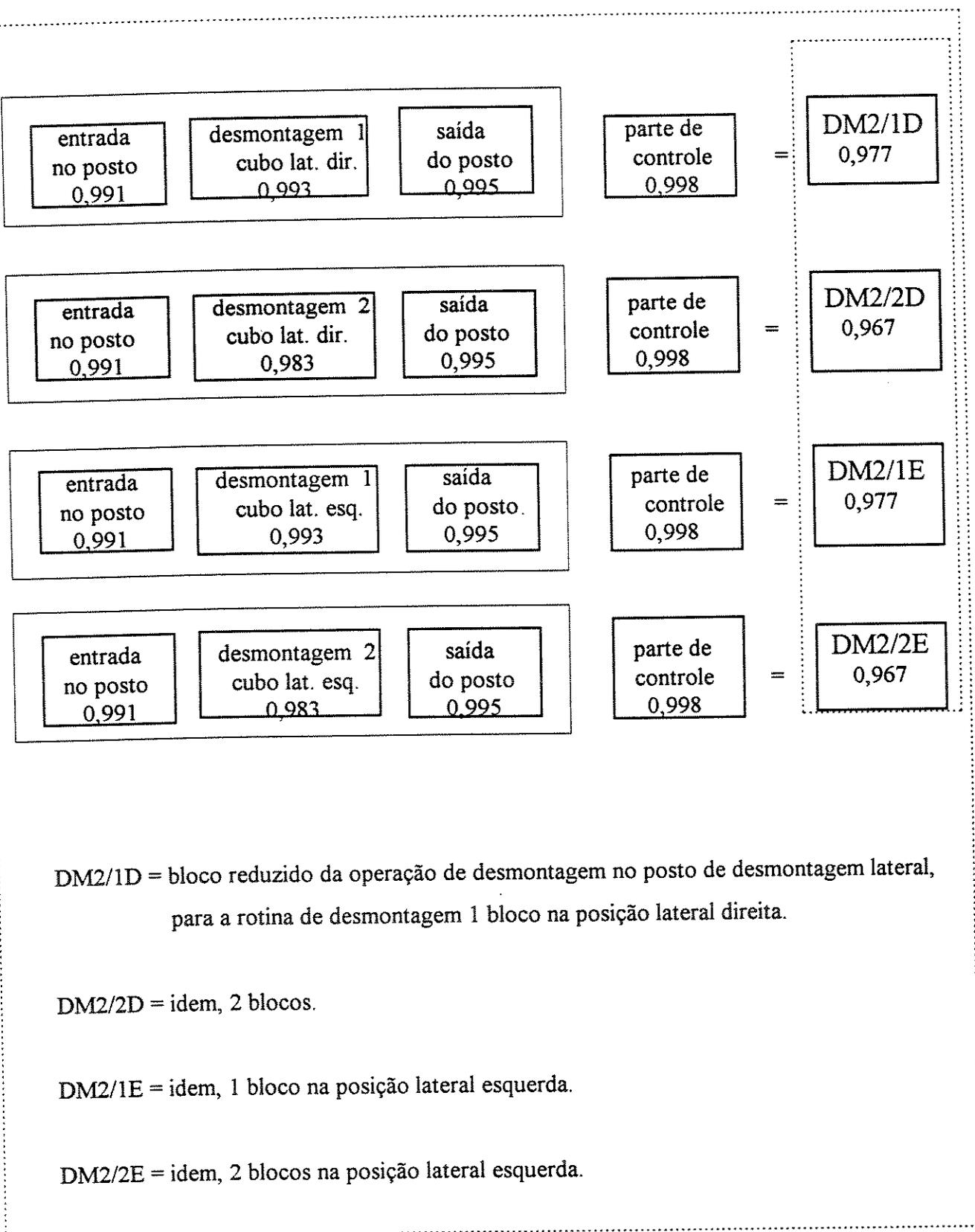


Fig. 5.28 - Blocos reduzidos da operação de desmontagem lateral

A situação analisada permite obter os blocos reduzidos indicados na figura 5.29. As demais configurações de desmontagem possíveis, neste posto, não estão representadas. Com estes blocos reduzidos é possível obter os valores de todas as outras configurações possíveis neste posto.



DM2/1D = bloco reduzido da operação de desmontagem no posto de desmontagem lateral, para a rotina de desmontagem 1 bloco na posição lateral direita.

DM2/2D = idem, 2 blocos.

DM2/1E = idem, 1 bloco na posição lateral esquerda.

DM2/2E = idem, 2 blocos na posição lateral esquerda.

Fig. 5.29 - DBCs de blocos reduzidos - operação de desmontagem lateral

### 3.2.5- Subsistema Sistema de Transferência

Este subsistema é responsável em transferir os “produtos” ou placas vazias de um posto para outro. Esta estruturado da maneira indicada na figura 5.30.

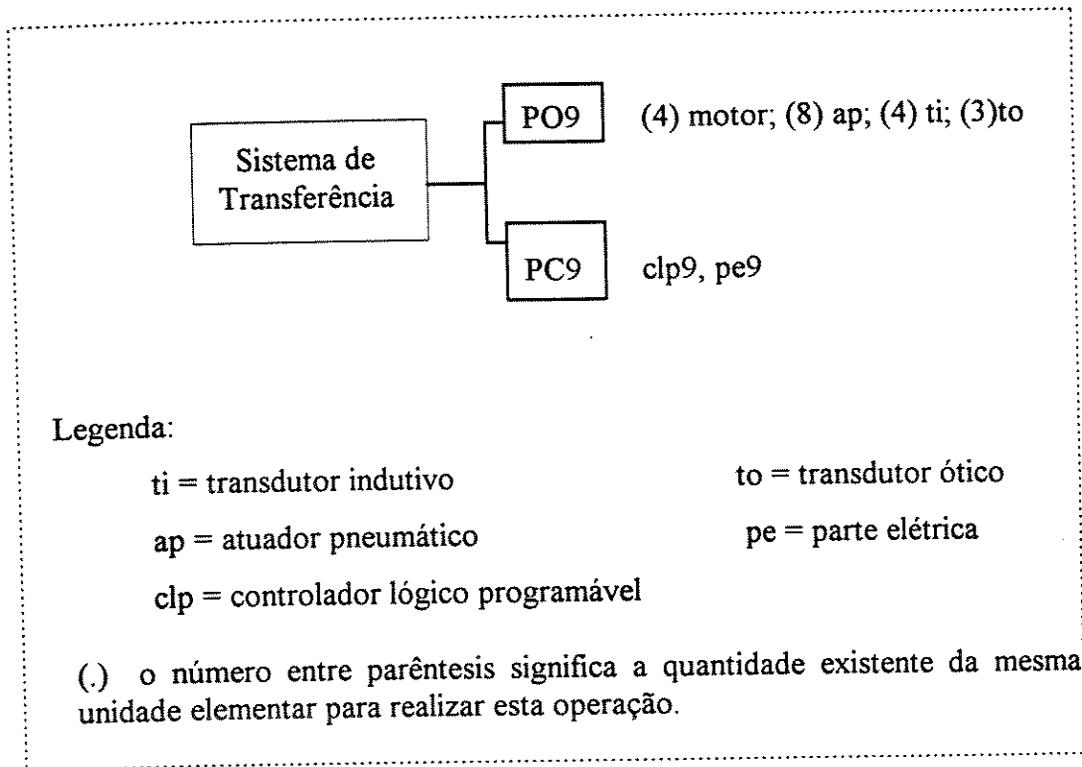


Fig. 5.30 - Organograma técnico do sistema de transferência

#### 3.2.5a) Operação de transferência

##### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

A operação de transferência é realizada com a participação de dois subsistemas: a parte operativa 9 e a parte de comando 9. É necessário que as duas trabalhem com sucesso para o sucesso da operação de transferência; isto implica em uma estrutura em série contendo estas duas partes, como indicado na figura 5.31.

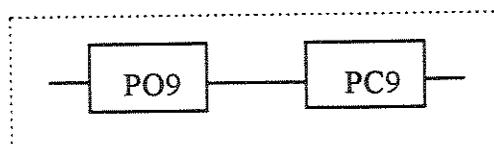


Fig. 5.31 - DBC do sistema de transferência, nível subsistema

Como consequência da estrutura série, a equação de confiabilidade da operação de transferência é:

$$R_{tf} = R_{po9} \times R_{pc9} \quad 5.33$$

onde:

$R_{tf}$  = índice de confiabilidade da operação transferência

$R_{po9}$  = índice de confiabilidade da parte operativa 9

$R_{pc9}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 9

Na realidade temos quatro equações de confiabilidade ligadas a esta operação, que estão discriminadas no sub-item Bloco Reduzido.

#### ii) Cálculo da confiabilidade de PO9 (parte operativa do sistema de transferência)

Conforme dito acima, este sistema realiza quatro rotinas distintas. A diferença entre rotinas é perfeitamente caracterizada no Diagrama de Blocos Instantâneo da parte operativa. No Anexo 2 serão apresentados os Diagramas de Blocos Instantâneo para duas rotinas, a maior (32 etapas) corresponde ao carregamento, montagem, inspeção e descarregamento e a menor (16 etapas) corresponde ao carregamento e descarregamento.

#### iii) Diagrama de Bloco Instantâneo - Rotina 2

O DBC está apresentado no Anexo 2.

#### iv) Diagrama de Bloco Instantâneo - Rotina 3

O DBC está apresentado no Anexo 2.

As equações e os índices de confiabilidade da parte operativa da operação de transferência para as rotinas 2 e 3 resultam:

$$R_{stR2} = \prod_{i=1}^n P_i$$

$$R_{stR2} = (Pt)^4 \times (Pap)^4 \times (Pmot)^4 \quad 5.34$$

$$R_{stR2} = (0,999)^4 \times (0,999)^4 \times (0,999)^4$$

$$R_{stR2} = 0,988$$

$$R_{stR3} = \prod_{i=1}^n P_i$$

$$R_{stR3} = (Pt)^8 \times (Pap)^{17} \times (Pmot)^4 \quad 5.35$$

$$R_{stR3} = (0,999)^8 \times (0,999)^{17} \times (0,999)^4$$

$$R_{stR3} = 0,971$$

onde:

$R_{stR2}$ - confiabilidade da operação de transferência para a rotina 2

$R_{stR3}$ - confiabilidade da operação de transferência para a rotina 3

#### v) Cálculo da confiabilidade de PC9 (parte de controle da operação de transferência )

A parte de controle da operação de transferência é composta de dois componentes, clp9 e pel9. Aqui também é necessário que os dois componentes operem com sucesso para que a parte de controle opere com sucesso, sendo assim, seu diagrama de bloco tem a forma mostrada na figura 5.32.

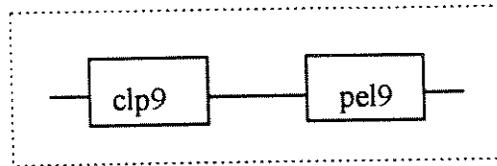


Fig. 5.32 - DBC da parte de comando do sistema de transferência

A equação e o índice de confiabilidade da parte de controle da operação de transferência resultam:

$$R_{pc9} = P_{clp9} \times P_{pel9} \quad 5.36$$

onde:

$R_{pc9}$  = índice de confiabilidade da parte de controle 9

$R_{clp9}$  = probabilidade da clp usada no sistema de transferência operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$R_{pel9}$  = probabilidade da parte elétrica usada no sistema de transferência operar sem falhas até o instante de tempo (t) especificado,

$$R_{pc9} = (0,999) \times (0,999)$$

$$R_{pc9} = 0,998$$

#### vi) Bloco reduzido

Devido às quatro rotinas que o sistema de transferência pode realizar serão atrelados a ele quatro blocos reduzidos, um para cada rotina, como ilustrado na figura 5.33.

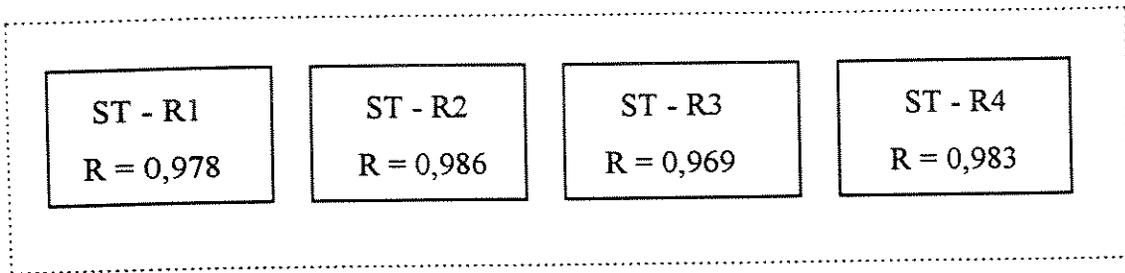


Fig. 5.33 - Blocos reduzidos das rotinas do sistema de transferência

### 5.2.6- Subsistema sistema de supervisão

Este subsistema é responsável pelo gerenciamento do processo. Está estruturado da maneira ilustrada na figura 5.34.

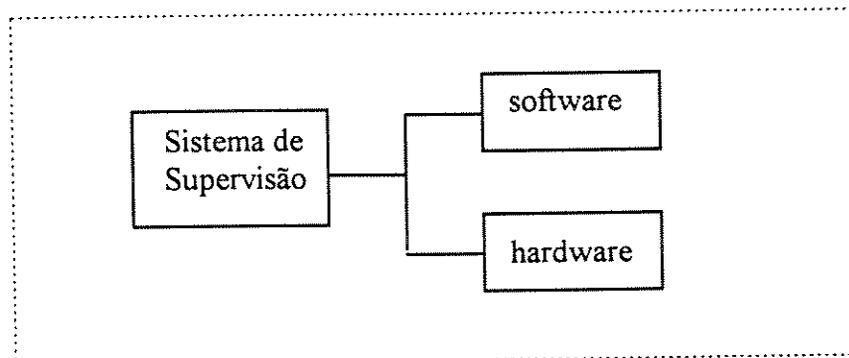


Fig. 5.34 - Organograma técnico do sistema de supervisão

#### i) Diagrama de bloco de confiabilidade

O sucesso da operação do sistema de supervisão ocorre quando a parte de hardware coleta e envia os dados para serem processados pelo software que toma as decisões de comando. É necessário que ambos trabalhem com sucesso; isto implica em uma estrutura série contendo as duas partes, como ilustrado na figura 5.35.

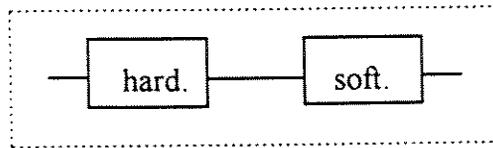


Fig. 5.35 - DBC da operação do sistema de supervisão

A equação de confiabilidade do sistema de supervisão é:

$$R_{ss} = R_{hd} \times R_{sof} \quad 5.37$$

onde:

$R_{ss}$  = índice de confiabilidade do sistema de supervisão

$R_{hd}$  = índice de confiabilidade do hardware

$R_{sof}$  = índice de confiabilidade do software

## ii) Correção dos índices de confiabilidade

Até o momento, os cálculos relativos aos subsistemas os dados de confiabilidade de hardware de cada bloco do DBC Instantâneo. No sistema de supervisão um dos blocos básicos é o software do sistema de supervisão. Para cálculo da confiabilidade do software são utilizadas técnicas próprias, conforme discutido no Capítulo 3.

Como em nenhuma situação é possível qualquer atividade na PIPEFA sem que o Sistema de Supervisão atue, fica caracterizada uma estrutura série, no DBC e, como consequência tem-se a situação ilustrada na figura 5.36 de que resulta a equação 5.38, mostrando que todos os cálculos anteriormente realizados devem ser corrigidos pelo índice de confiabilidade do sistema de supervisão.

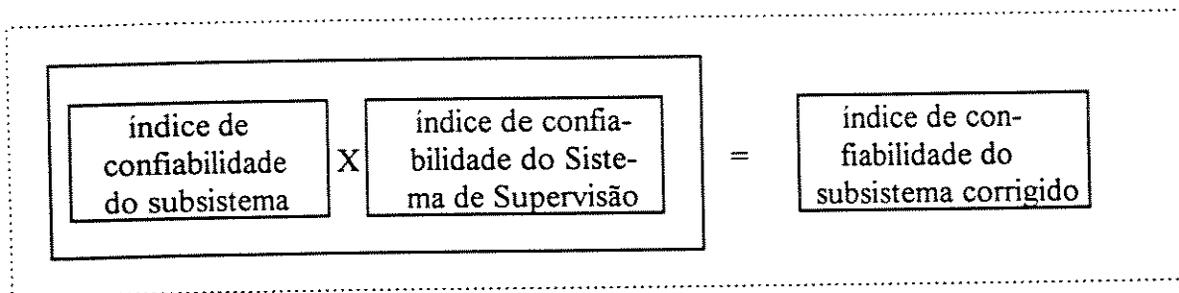


Fig. 5.36 - Correção do índice de confiabilidade dos subsistemas

$$R_{\text{subsist.}} \cdot R_{\text{ss}} = R_{\text{cor}} \quad 5.38$$

onde:

$R_{\text{subsist.}}$  = índice de confiabilidade do subsistema, obtido neste capítulo,

$R_{\text{ss}}$  = índice de confiabilidade do subsistema de supervisão para o tempo de operação do subsistema envolvido

$R_{\text{cor}}$  = índice de confiabilidade do subsistema corrigido e que será usado de agora em diante

A representação usada na Fig. 5.36 é didática. Caso o sistema de supervisão falhe todo o sistema estará inoperante e ele não deve ser introduzido de modo a haver consideração múltipla.

A tabela 5.1 compara as situações do índice de confiabilidade sem e com a correção discutida.

Operação	Confiabilidade	
	$R_{\text{subsist.}}$	$R_{\text{corr.}}$
carregamento	0,991	0,990
descarregamento	0,992	0,991
aceitação	0,979	0,978
refugo	0,981	0,980
montagem central 1 bloco	0,977	0,976
montagem central 2 blocos	0,968	0,967
montagem lateral 1 bloco	0,977	0,976
montagem lateral 2 blocos	0,967	0,966
sistema transferência R2	0,986	0,985
sistema transferência R3	0,969	0,968

Tab. 5.1 - Valor corrigido confiabilidade subsistemas

Legenda:

$R_{\text{subsist.}}$  = valor do índice de confiabilidade do subsistema, quando não foi considerado a atuação do subsistema sistema de supervisão.

$R_{\text{cor}}$  = valor do índice de confiabilidade do subsistema considerando a atuação do subsistema sistema de supervisão. Nos capítulos posteriores sempre será utilizado este índice.

### 5.3 Conclusão

Neste capítulo foi detalhada a aplicação de parte do método proposto à PIPEFA e calculada a confiabilidade corrigida de todos os subsistemas da PIPEFA. Com isto atende-se parte da proposição feita inicialmente pois, através do DBC Instantâneo, o projetista dispõe da quantificação da solução obtida.

Com estes resultados é possível calcular a confiabilidade do sistema, através do DBC de Eventos, conforme será mostrado a seguir.

## Capítulo 6

### Confiabilidade do Sistema PIPEFA

São definidos os blocos básicos, que resumem as 26 configurações possíveis da PIPEFA em seis configurações básicas. Através destes blocos e dos resultados obtidos no DBC Instantâneo, é estruturado o DBC de Eventos e calculado o índice de confiabilidade do sistema PIPEFA. Na seqüência, é proposto um enfoque funcional para o sistema, cuja principal característica é considerá-lo como um meio capaz de simular seis ciclos diferentes, caracterizados por uma placa mais 1, 2, 3, 4, 5 ou 6 blocos, e não a montagem de 26 produtos. A vantagem deste enfoque funcional é avaliada através do impacto no valor da confiabilidade também utilizando o DBC de Eventos. Feitos os cálculos, são propostas duas análises no índice de confiabilidade, uma através da utilização de componentes similares com taxas de falha diferentes daquelas usadas inicialmente, e outra através do elo mais fraco.

#### 6.1- Configurações Básicas - Enfoque Físico

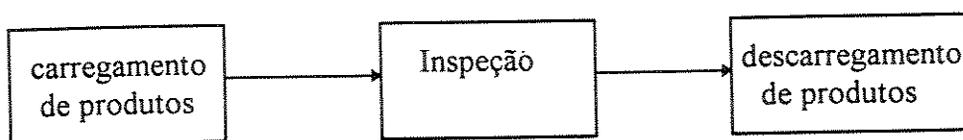
Os postos do Sistema PIPEFA podem trabalhar de maneira independente, ou totalmente integrada com os outros postos. No Capítulo anterior, foi calculado o índice de confiabilidade de cada subsistema, que é o índice de confiabilidade quando o posto opera de maneira

independente. Para descrever como os postos operam de maneira integrada com os demais, são necessárias algumas considerações:

- i) toda vez que o posto de carregamento atuar, também deverá atuar, no mínimo, o posto de descarregamento;
- ii) toda vez que o posto de montagem central ou lateral ou ambos atuarem, o posto de carregamento já terá atuado e o posto de descarregamento irá atuar;
- iii) o posto de inspeção é opcional em qualquer sistema, tendo em vista que sua função é verificar a conformidade da montagem ou desmontagem realizada pelos postos de montagem 1 e 2, e
- iv) o sistema de supervisão e o sistema de transferência fazem parte de qualquer configuração simulada na PIPEFA.

Feitas as considerações, conclui-se existirem seis configurações básicas com os postos operando de maneira integrada, mostradas a seguir.

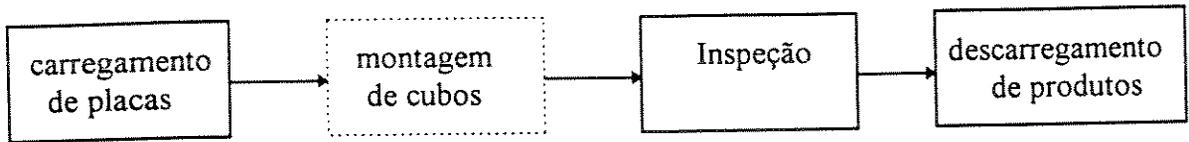
#### **Configuração básica 1 (CB1) - DBC de Eventos:**



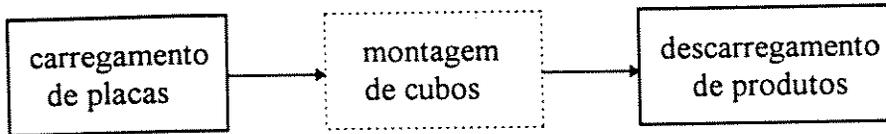
#### **Configuração básica 2 (CB2) - DBC de Eventos:**



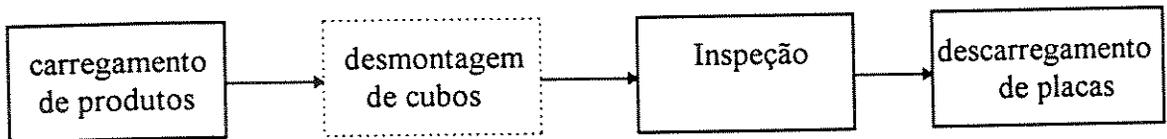
#### **Configuração básica 3 (CB3) - DBC de Eventos:**



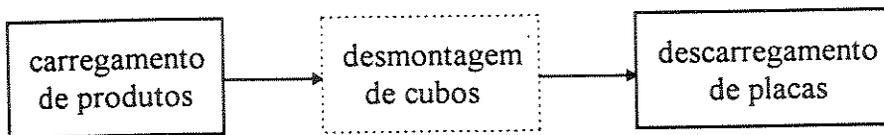
**Configuração básica 4 (CB4) - DBC de Eventos:**



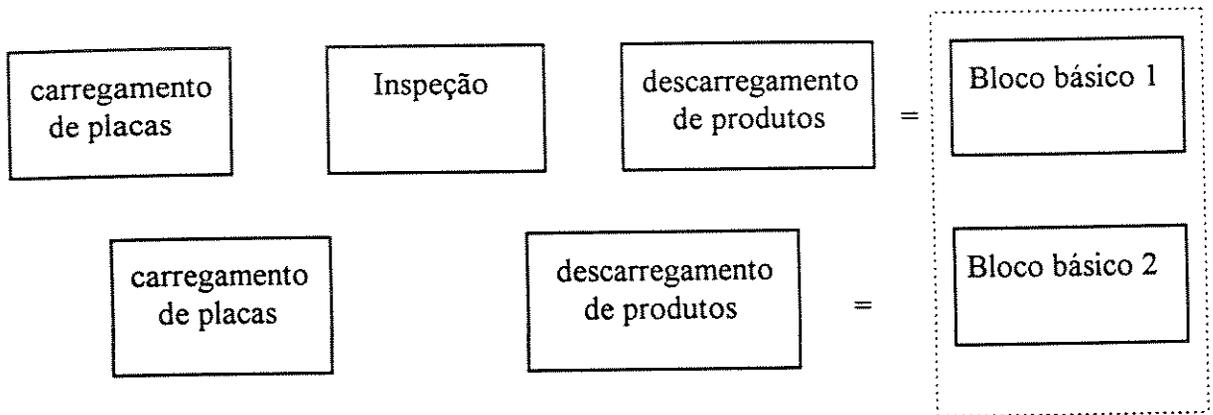
**Configuração básica 5 (CB5) - DBC de Eventos:**



**Configuração básica 6 (CB6) - DBC de Eventos:**



Com exceção dos blocos de montagem e desmontagem central e lateral e as rotinas do sistema de transferência, os demais blocos não sofrem variação e podem ser reagrupados originando os seguintes blocos básicos:



Em ambos os casos necessitamos da operação bem sucedida de todos os blocos para sucesso da operação; desta maneira caracteriza-se a estrutura série no DBC e a equação de confiabilidade fica:

Bloco básico 1:

$$BB1 = Rca \times Rins \times Rdc \quad 6.1$$

Bloco básico 2:

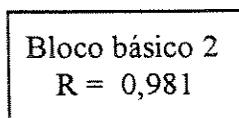
$$BB2 = Rca \times Rdc \quad 6.2$$

Os valores de confiabilidade usados para obter a confiabilidade dos blocos básicos 1 e 2, foram calculados no capítulo anterior. Substituindo estes blocos na representação das configurações do sistema PIPEFA temos:

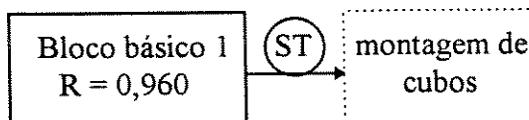
Configuração básica 1 (CB1):

Bloco básico 1 $R = 0,960$
-------------------------------

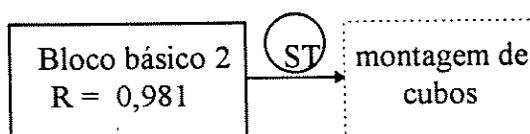
Configuração básica 2 (CB2):



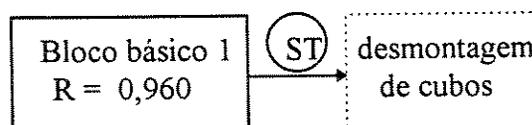
Configuração básica 3 (CB3):



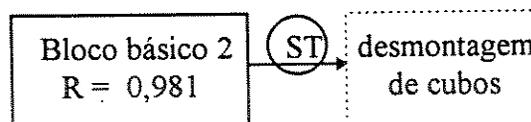
Configuração básica 4 (CB4):



Configuração básica 5 (CB5):



Configuração básica 6 (CB6):



Nas configurações básicas 3, 4, 5 e 6 os blocos representativos das operações de montagem e desmontagem de cubos foram diferenciados, pois representam as operações que montam e desmontam os 26 produtos disponíveis na PIPEFA; conforme visto no Capítulo 5 e Anexo 2, a montagem (e desmontagem) de produtos diferentes implica em diagramas de blocos diferentes e, conseqüentemente, valores também diferentes para o índice de confiabilidade daquela montagem.

O posto de montagem lateral é responsável pela operação de montagem de 1 e 2 cubos nas duas posições extremas da placa. Significa que neste posto são montados oito “produtos”

diferentes, como mostrado na figura 6.1. Tem-se em consequência, oito índices de confiabilidade ligados à operação de montagem de cubos no Posto de Montagem Lateral.

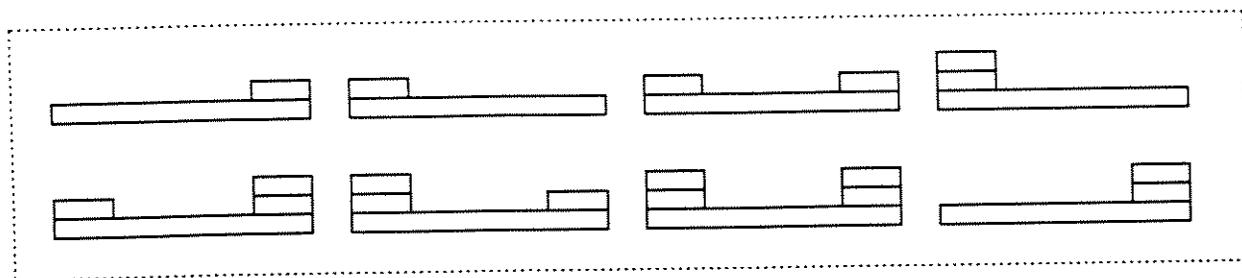


Fig. 6.1 - Montagens realizadas pelo posto de montagem lateral

Fato semelhante ocorre com o posto de montagem central, que é responsável pela montagem de cubos na posição central da placa. Na operação de montagem de cubos no posto de montagem central tem-se dois índices de confiabilidade, um para cada alternativa de montagem (produto) conforme ilustrado na figura 6.2.

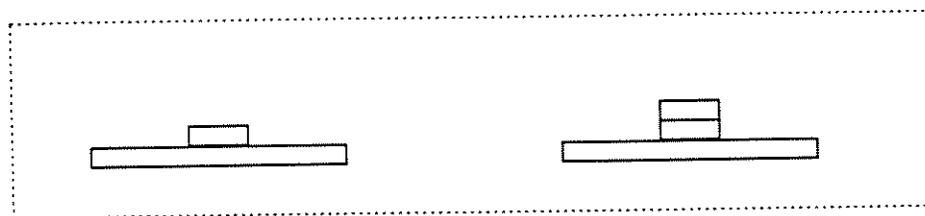


Fig. 6.2 - Montagens realizadas pelo posto de montagem central

Somando os oito produtos obtidos através das operações disponíveis nos postos de montagem lateral e os dois produtos obtidos no posto de montagem central, faltam 16 produtos para completar a gama disponível na PIPEFA. Estes 16 produtos faltantes são obtidos através da utilização da alternativa de dois postos de montagem, conforme ilustrado na figura 6.3.

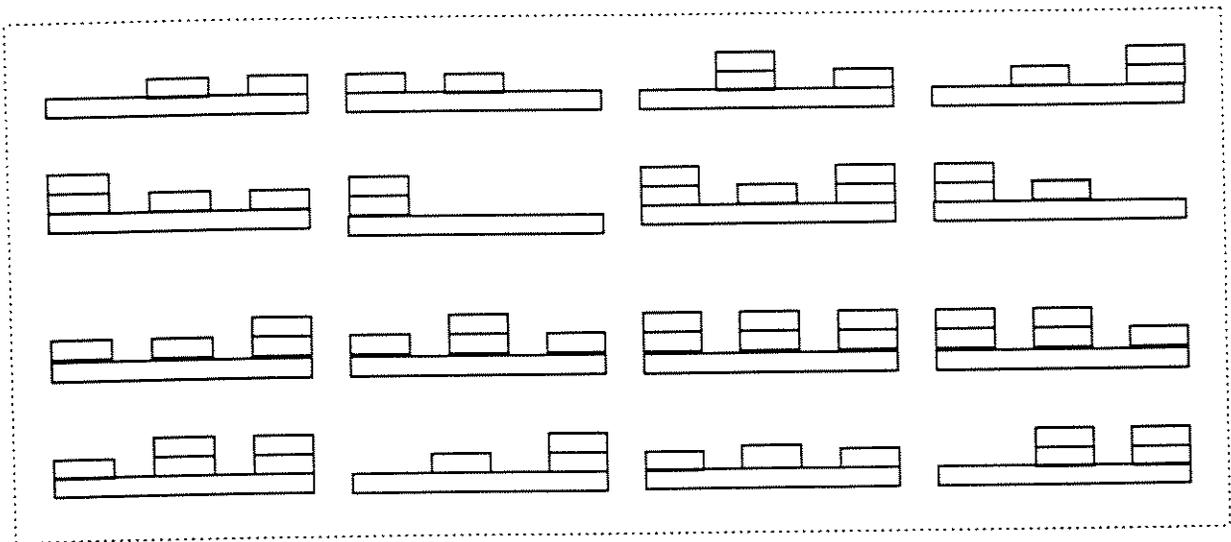


Fig. 6.3 - Montagens realizadas pelos postos de montagem central e lateral

Isto implica que quando for selecionada uma configuração da PIPEFA, que utilize os dois postos de montagem para montar o produto desejado, haverá os 16 índices de confiabilidade correspondentes.

No Anexo 3 encontra-se a tabela, Tab. A3.1, com todas as configurações básicas obtidas com o enfoque físico. Para o cálculo de cada configuração básica foram usadas as equações 6.1 e 6.2, 5.1 a 5.32 .

## 6.2- Configurações Básicas - Enfoque Funcional (CBF)

No sub-item anterior foi calculada a confiabilidade de cada configuração básica que a PIPEFA utiliza para montar os 26 produtos disponíveis. Uma vez que os índices de confiabilidade de cada posto já haviam sido calculados no Capítulo 5, pode-se calcular o índice de confiabilidade para todos os modos possíveis de trabalho dos postos da PIPEFA, seja de maneira independente seja de maneira integrada.

Neste sub-item iremos reagrupar os índices gerados tendo como base a concepção funcional, isto implica que a PIPEFA passa a ser considerada como um sistema capaz de montar e desmontar 6 produtos (placa com 1,2,3,4,5 ou 6 cubos), com alternativas, e não 26.

Num primeiro instante isto pode parecer um empobrecimento do sistema. Pode ser, ao contrário, considerado um salto qualitativo.

Tomando como exemplo o produto uma placa e um cubo, tem-se a alternativa de três configurações: CB501, CB503 e CB509, como ilustrado na figura 6.4.

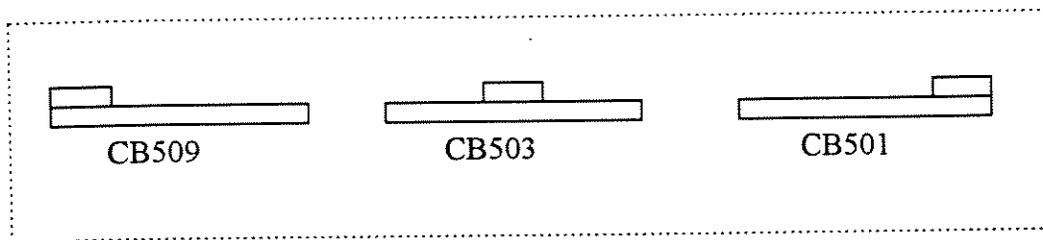
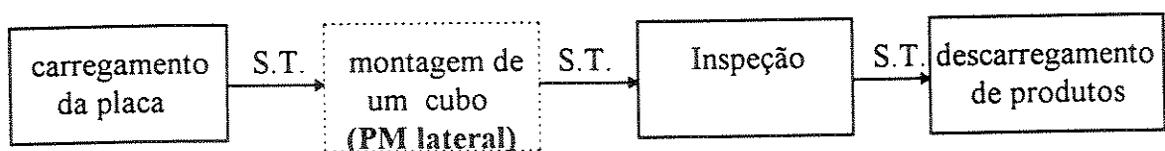


Fig. 6.4 - Produto placa mais um cubo

No sub-item anterior foi associado um índice de confiabilidade a cada uma destas configurações (CB501, CB503 e CB509); aqui será associado um índice de confiabilidade ao produto placa mais um cubo (1C), que é atendido por qualquer uma das três opções apresentadas na Fig. 6.4.. É importante observar que com este enfoque pode-se utilizar o posto de montagem central ou lateral para obtenção do produto, o que não era possível na condição anterior.

Os DBCs de eventos das configurações CB 501 e CB 509 na situação anterior consistiam de:



Ficava caracterizada uma estrutura série e, como consequência, o índice de confiabilidade foi obtido através das equações:

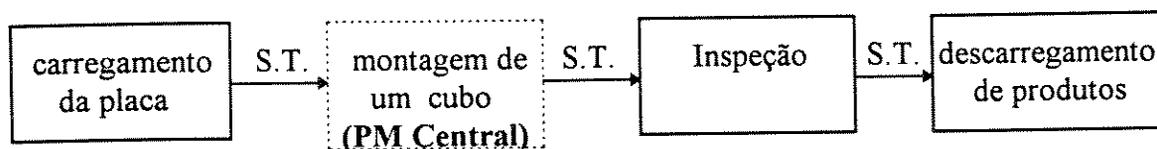
$$R_{(CB501)} = BB1 \times Rpm21D \times ST-R4 \quad 6.3$$

$$R_{(CB501)} = 0,924$$

$$R_{(CB509)} = BB1 \times Rpm11E \times ST-R4 \quad 6.4$$

$$R_{(CB509)} = 0,924$$

Para a CB 503 valia:

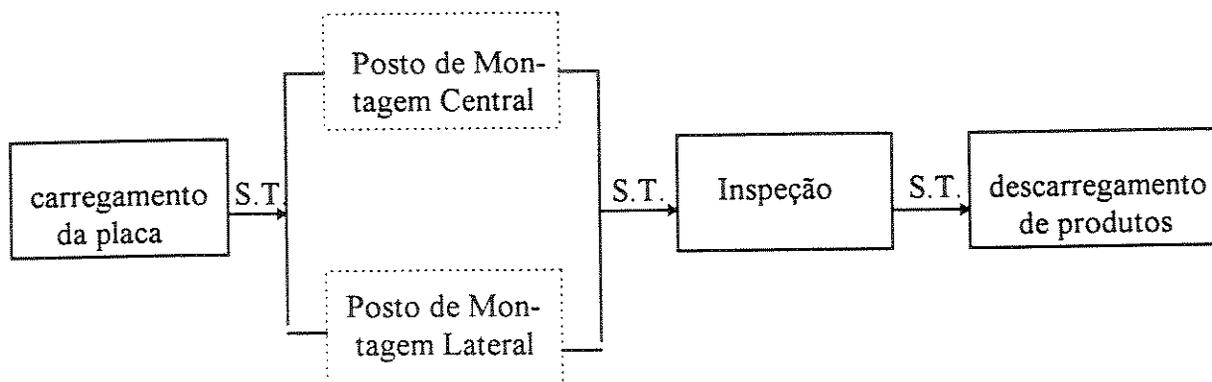


resultando:

$$R_{(CB503)} = BB1 \times Rpm11 \times ST-R4 \quad 6.5$$

$$R_{(CB503)} = 0,926$$

No enfoque atual a estrutura é em paralelo:



O índice de confiabilidade passa a ser calculado através de uma estrutura com redundância, paralelo, cujas equações e o valor final são:

$$R_{(cb1cubo)} = BB1 \times ST-R4 \times [1 - (1 - R_{pm21})(1 - R_{pm11D})] \quad 6.6$$

$$R_{(cb1cubo)} = 0,943$$

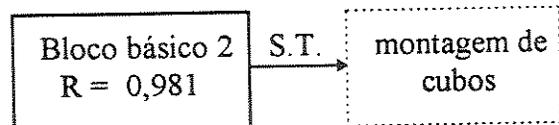
Este aumento no índice de confiabilidade (0,924 para 0,943) através da mudança de enfoque resultou num ganho de mais de dois pontos percentuais.

Os blocos básicos (BB1 e BB2), utilizados no sub-item anterior, também podem ser aplicados neste sub-item, e assim obteremos as seguintes configurações básicas funcionais (CBF):

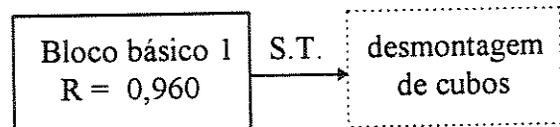
Configuração básica funcional 1 (CBF1):



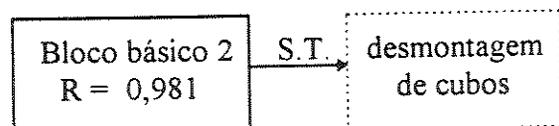
Configuração básica funcional 2 (CBF2):



Configuração básica funcional 3 (CBF3):



Configuração básica funcional 4 (CBF4):



Para montar ou desmontar 3 blocos em um produto, não estão disponíveis as mesmas alternativas para as situações envolvendo 1 ou 2 blocos, ou seja, usar o posto de montagem central ou o posto de montagem lateral. No caso de 3 blocos, ou mais, é necessário considerar as alternativas descritas a seguir.

i) 1 e 2 blocos

Existe a opção de montar no Posto de Montagem Central ou no Posto de Montagem Lateral, em qualquer uma das duas extremidades. Temos redundância, dispomos de três maneiras de realizar a tarefa.

ii) 3 e 4 blocos

Tenho que usar as duas posições do Posto de Montagem Lateral ou o Posto de Montagem Central e o Posto de Montagem Lateral. Também temos redundância e dispomos de 2 maneiras de realizar esta tarefa.

iii) 5 e 6 blocos

Tenho que usar o Posto de Montagem Central e o Posto de Montagem Lateral. Não existe redundância e os índices são os mesmos que aqueles obtidos para enfoque físico - Tab. A3.1.

No Anexo 3, a tabela Tab. A3.2 fornece os valores de confiabilidade para cada configuração básica funcional, os quais foram obtidos nas seguintes condições:

### **6.3- Unidades elementares com taxa de falha diferente**

Até este ponto foi examinada a utilização de componentes (no caso unidades elementares) similares, sejam do mesmo fabricante ou de fabricante diferente, que possuam confiabilidade aproximadamente igual. O método proposto permite realizar estudos do impacto de valores diferentes na confiabilidade do sistema (sensibilidade).

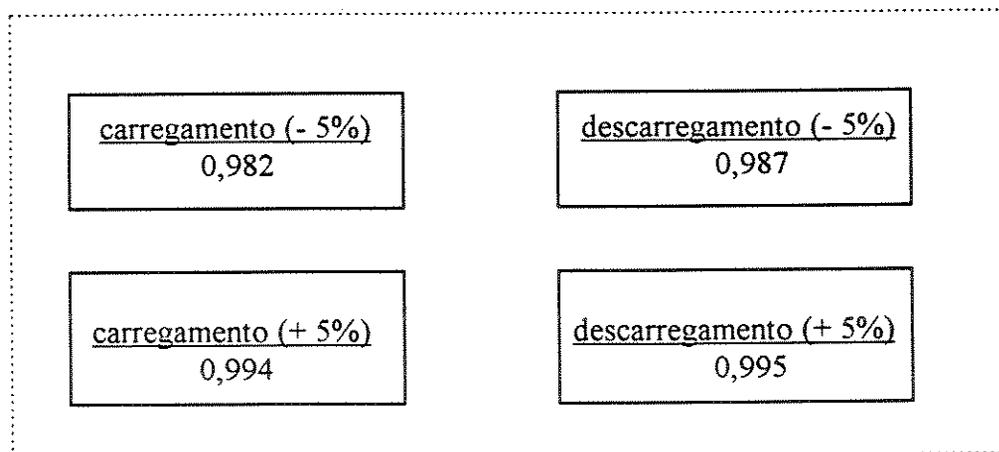
Admitindo a existência de unidades elementares com confiabilidade 5% inferior e 5% superior aquela utilizada inicialmente, obtém-se os resultados da tabela 6.1.

Operação	Confiabilidade			
	R <sub>subsist.</sub>	+5%	ganho %	- 5% perda %
carregamento	0,990	0,994	0,4	0,982 - 0,8
descarregamento	0,991	0,995	0,4	0,987 - 0,4
aceitação	0,978	0,988	1,0	0,968 - 1,0
refugo	0,980	0,989	0,9	0,970 - 1,0
montagem central 1 bloco	0,976	0,997	2,2	0,968 - 0,8
montagem central 2 blocos	0,967	0,984	1,8	0,953 - 1,4
montagem lateral 1 bloco	0,976	0,987	1,1	0,965 - 1,1
montagem lateral 2 blocos	0,966	0,982	1,6	0,951 - 1,6
sistema transferência R1	0,977	-	-	- -
sistema transferência R2	0,985	0,992	0,7	0,978 - 0,7
sistema transferência R3	0,968	0,984	1,6	0,953 - 1,5
sistema transferência R4	0,982	-	-	- -

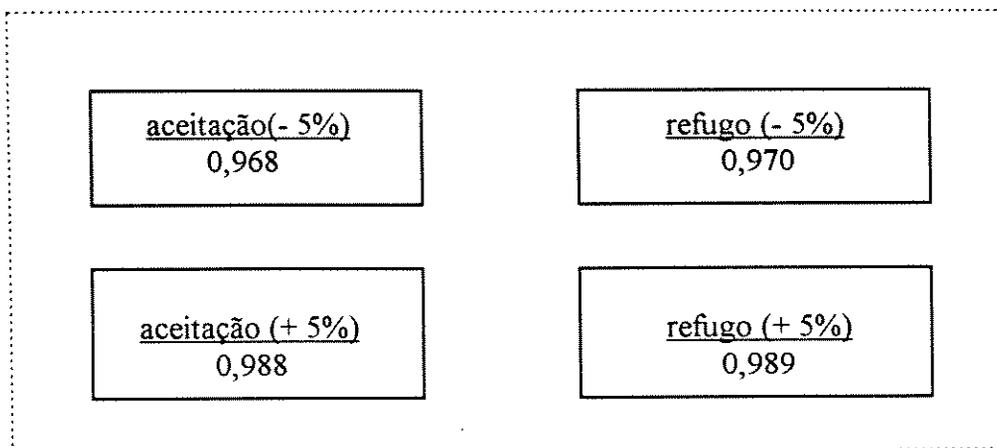
Tab. 6.1 - Comparação dos índices de confiabilidade

Substituindo estes novos valores nas equações do Capítulo 5, são obtidos os seguintes blocos reduzidos:

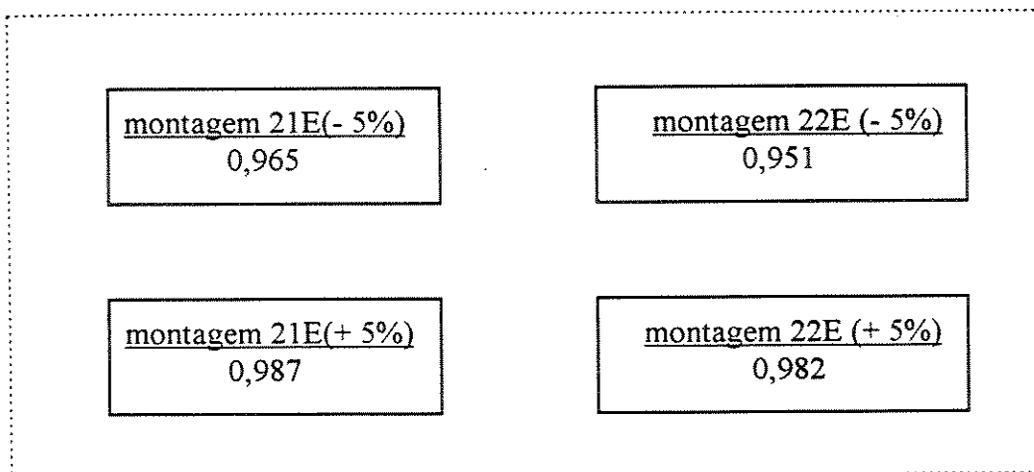
Posto de carregamento/descarregamento



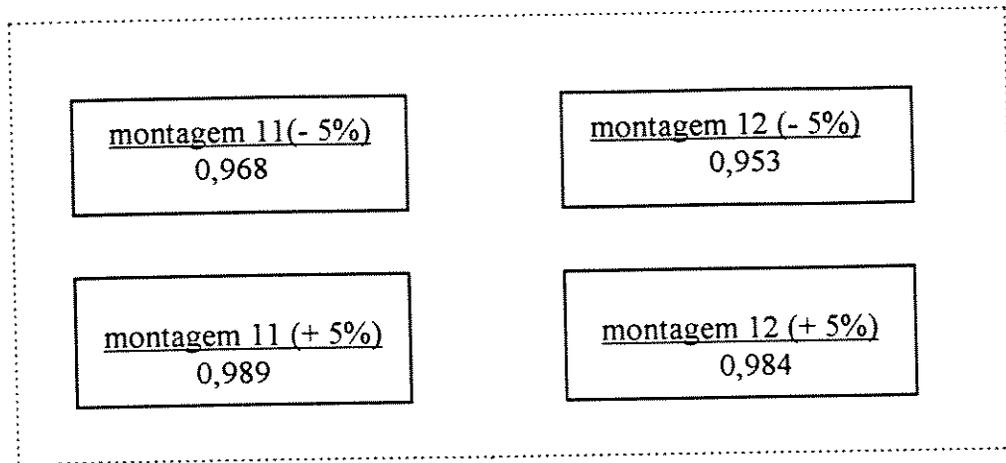
Posto de inspeção



Posto de montagem lateral



Posto de montagem / desmontagem central



A comparação dos valores obtidos com o enfoque físico e com aqueles obtidos com o enfoque funcional, está mostrada na tabela 6.2.

operação	enfoque físico (1)	componente com taxa de falha 5% menor (2)	enfoque funcional (3)	ganho (%)		
				1/2	1/3	2/3
montagem de 1 bloco	0,976	0,997	0,999	2,15	2,36	0,20
montagem de 2 blocos	0,967	0,984	0,999	1,75	3,30	1,52

Tab. 6.2 - Comparação de resultados obtidos

Este caso é o mais favorável. Se fosse utilizado o mesmo raciocínio para pra montagem de 5 ou 6 blocos , não haveria nenhum ganho com o enfoque funcional.

#### 6.4 - Identificação do elo mais fraco

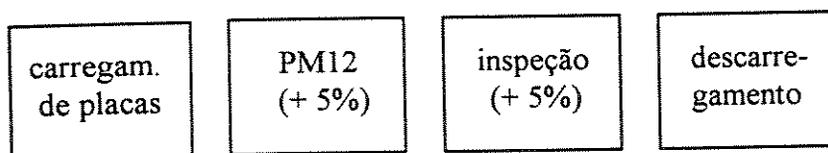
A análise de confiabilidade considerando o elo mais fraco consiste em propor um aumento da confiabilidade do sistema através do aumento do índice de confiabilidade do componente a que o sistema apresente maior sensibilidade. É uma forma otimizada de melhoria

da confiabilidade, que pode ser comparada com a anterior que propõem um aumento generalizado (5%) para todos os componentes do sistema.

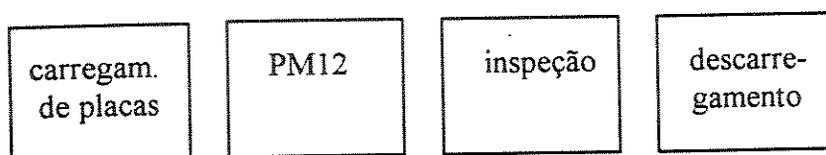
No método proposto, por sua maneira de análise e estrutura em árvore, a análise de sensibilidade para cada sub-sistema ou componente é facilmente realizada.

No sistema PIPEFA, os subsistemas que apresentam índice de confiabilidade mais baixo são o posto de montagem lateral, quando utilizado para montagem de 2 cubos, e o posto de inspeção.

O DBC de Eventos que inclui a substituição do elo mais fraco é o da montagem de 2 blocos no posto de montagem lateral, com inspeção:



que possui um índice de confiabilidade = 0,960. Comparando com o DBC original:



que possui um índice de confiabilidade de = 0,927, ou seja, obtivemos um ganho de 3,57%.

Explorando a flexibilidade do método proposto em conjunto com a análise do elo mais fraco, pode-se utilizar a redundância de componentes, no nosso caso, de postos, para obter aumento da confiabilidade do sistema.

## 6.5 Conclusão

Foi apresentado o cálculo da confiabilidade do sistema PIPEFA com a utilização do DBC de Eventos. Neste exemplo de aplicação piloto pode-se comprovar a flexibilidade, a simplicidade e a utilidade do método proposto.

Uma característica fundamental do método proposto está na possibilidade de complementar a informação do engenheiro, permitindo o estudo de soluções alternativas com índices diferentes daqueles obtidos inicialmente. É um instrumento poderoso na fase de crescimento da confiabilidade de um sistema em desenvolvimento.

## Capítulo 7

### Resultados e discussões

São discutidos aspectos relevantes não abordadas no desenvolvimento da tese, como algumas opções disponíveis e não utilizadas nas soluções da PIPEFA, a linguagem utilizada para descrição do comportamento do sistema, o Grafcet, e as propostas para continuidade dos trabalhos.

#### 7.1 Aplicação do método proposto na Fase de Desenvolvimento da PIPEFA

##### Postos de montagem central e lateral

No Sistema PIPEFA existem dois postos de montagem, o Central e o Lateral, idênticos a menos de uma operação na rotina: no Posto de Montagem Lateral existe uma operação adicional de rotação da placa, executada pelo Sistema de Transferência, a qual permite que sejam colocados os blocos na posição lateral da placa.

Obviamente, esta não era a única maneira de concretizar a PIPEFA. Seria possível, por exemplo, optar por um único posto de montagem ou, no caso de dois postos, ambos capazes de efetuar a montagem nas três posições da placa.

A montagem nas três posições da placa em um único posto poderia ser conseguida através de três atuadores, um para montar em cada posição da placa, ou um atuador para

montar e um atuador para desmontar a placa. Embora existam outras opções, o cenário já pode ser estabelecido:

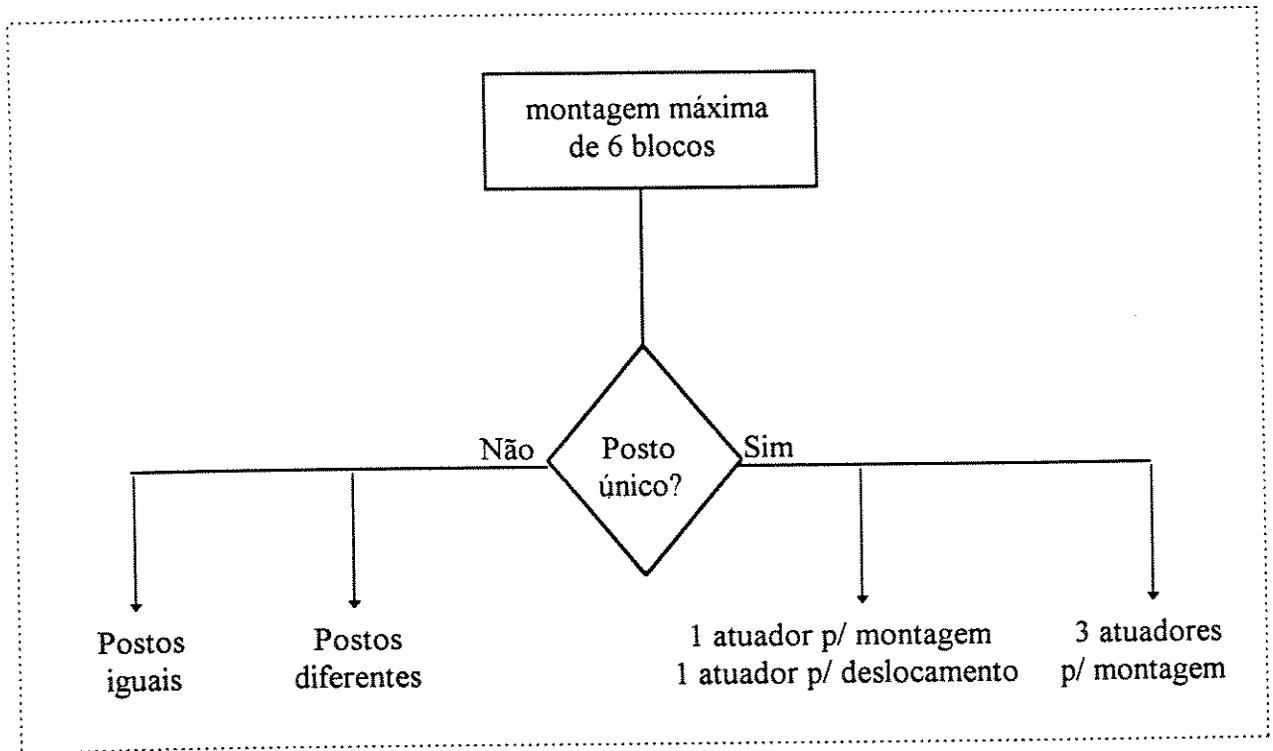


Fig. 7.1 - Opções para operação de montagem na PIPEFA

Mesmo com este cenário bastante simplificado, o número de opções é maior, não restando dúvida da complexidade da escolha a ser feita. Cada opção disponível na Fig. 7.1 tem profundas implicações no desempenho do sistema que será desenvolvido. Adotar dois postos de montagem, ao invés de um, significa gastar mais dinheiro para realizar a mesma operação de montagem. Porém, gastar mais pode significar produzir mais e, principalmente, ter flexibilidade, margem de erro, manutenção, etc.

É conhecido o dito “nosso conhecimento sobre um assunto só tem significado quando podemos quantificá-lo” e neste momento de opções, apresentado na Fig. 7.1, a quantificação assume papel vital. Através do método proposto pode-se utilizar o índice de confiabilidade, para quantificar cada opção, complementando, desta maneira, o conjunto de dados disponíveis neste momento. Retornando ao cenário da Fig. 5.1 tem-se:

### 1ª opção: 1 ou 2 postos

Quando se dispõe de apenas um posto para montagem, este posto sempre estará em série com o restante da estrutura. Ao optar por dois postos, dispomos de redundância para esta operação e, conforme já calculado, Tab. 6.1, temos um ganho no índice de confiabilidade para realização da mesma operação.

### 2ª opção: postos iguais ou diferentes

Num primeiro momento, a opção por postos iguais pode parecer mais vantajosa; porém, olhando com mais detalhes, percebe-se que um posto, o de Montagem Central, é a opção mais simples que poderia existir como um posto de montagem na PIPEFA e, da mesma maneira o seu complementar, o Posto de Montagem Lateral. Como consequência, a opção que utiliza estes dois postos para montagem dos 27 produtos é a maneira mais simples de executar a tarefa. É importante frisar que esta característica, a simplicidade, pode ser facilmente quantificável através do número de etapas do DBC e, portanto, refletida diretamente pelo índice de confiabilidade.

## **7.2 Abrangência do Sistema de Supervisão e do Sistema de Transferência**

Qualquer atividade da PIPEFA implica na utilização do Sistema de Supervisão, sendo assim seu índice de confiabilidade estará presente em todo cálculo. É bastante razoável assumir que quanto mais simples mais confiável será, pois deverá conter menos componentes e um software menos complexo.

Se em uma opção se puder considerar, por exemplo, os atuadores de bloqueio das placas de cada posto como pertencentes ao Sistema de Supervisão ou ao posto local, implica que a taxa de falha de quatro atuadores estarão presentes ou não no índice de confiabilidade do Sistema de Supervisão. Quando foram corrigidos os valores da confiabilidade de cada subsistema no Capítulo 5, Tab. 5.1, o índice usado para cada subsistema isolado iria abaixar ainda mais o valor do índice de confiabilidade daquele subsistema, devido à taxa de falha de um atuador que não opera quando este posto trabalha de maneira isolada. Na opção de manter o atuador como parte do Sistema de Transferência, implica que a taxa de falha deste atuador irá influenciar o índice de confiabilidade do posto pertencente apenas quando ele operar.

Raciocínio idêntico é aplicado ao Sistema de Transferência; se ele fosse alocado ao Sistema de Supervisão, se estaria imputando a todos os postos da PIPEFA o ônus da taxa de falha dos componentes do Sistema de Transferência mesmo quando ele não estivesse em operação. Efeito dramático pode ser obtido quando, de maneira até despercebida, se faz uma somatória de opções infelizes, do ponto de vista da confiabilidade, no índice de confiabilidade do sistema.

Tomando como exemplo a operação de carregamento das placas, o valor do seu índice de confiabilidade, trabalhando de maneira isolada, é:

$$R(\text{operação}) = 0,991;$$

$$R(\text{corrigido}) = 0,990$$

Se os atuadores e sensores que estão no Sistema de Transferência fossem alocados para o Sistema de Supervisão, ter-se-ia a seguinte consequência:

$$R(\text{operação}) = 0,991;$$

$$R(\text{corrigido}) = 0,978$$

Finalmente, se os mesmos atuadores e sensores fossem alocados no próprio posto:

$$R(\text{operação}) = 0,988;$$

$$R(\text{corrigido}) = 0,987$$

Este raciocínio deixa claro a pertinência da preocupação quanto à abrangência do Sistema de Supervisão e do Sistema de Transferência. Mostra também que através da metodologia proposta para cálculo da confiabilidade, todas estas alternativas podem ser quantificadas.

A generalidade da metodologia proposta permite que ela seja aplicável à quase totalidade dos sistemas encontráveis nas PME.

### 7.3 Resultados dos exemplos

O anexo 4 contém três exemplos de cálculo de confiabilidade, usando o programa computacional desenvolvido. O primeiro exemplo é o cálculo da confiabilidade de um foguete de sondagem mono estágio. É apresentada a seqüência de cálculo detalhada através das telas que o usuário irá se defrontar. Este exemplo foi desenvolvido para demonstrar a generalização do programa.

O segundo exemplo e o terceiro são realizados na PIPEFA, sendo um com enfoque funcional e outro com físico. Através do cálculo da confiabilidade, de ambos enfoques, para o mesmo “produto”, placa mais dois cubos, ficou discernida a diferença na utilização da PIPEFA para uma ou outra situação.

### 7.4 Grafcet

O DBC, seja ele Instantâneo, que caracteriza um sistema ou subsistema, ou de Eventos, que caracteriza um encadeamento de eventos, só faz sentido se é exato. No momento da opção, descrito pelo cenário da Fig. 5.1, se estamos na Fase de Conceitos e Definições do sistema, conseqüentemente, ainda não existe nenhuma materialização do sistema o que facilita a opção por mudanças de configuração (devido também aos custos envolvidos, vide Fig. 1.1.).

O Sistema PIPEFA foi todo descrito pela linguagem Grafcet. O Grafcet é um diagrama funcional cujo principal objetivo é a representação gráfica dos diferentes comportamentos de um automatismo de comando, face às informações que ele recebe, impondo um funcionamento rigoroso, evitando assim incoerências, bloqueios ou conflitos durante o funcionamento<sup>1</sup>. Esta representação permite a descrição do caderno de encargos e é possível caracterizar com exatidão toda dinâmica e materialização do sistema. A partir desta descrição feita pelo Grafcet, foi possível estabelecer os DBCs de cada opção para iniciar o cálculo do índice de confiabilidade.

---

<sup>1</sup> A utilização do Grafcet na concepção de sistemas automatizados.

Significa dizer que a pertinência e utilidade do índice de confiabilidade só foi possível explorar, nestas Fases iniciais tão importantes no comprometimento de recursos, vide Fig. 1.1, através da utilização prévia dos Grafsets; caracterizando mais uma vez, o ambiente de integração proporcionado pela PIPEFA.

## **7.5 - Continuidade**

### Delta de confiabilidade

Na Introdução foram citadas duas fontes que documentam a existência do delta de confiabilidade. Estas fontes são oriundas da área aeroespacial e área de armamento, onde não se discute a necessidade de sistemas de alta confiabilidade e os esforços feitos na obtenção de valores precisos para o índice de confiabilidade.

Nesta tese, foi desenvolvido um método que, através da incorporação da condição temporal para uma tradicional técnica do cálculo de confiabilidade, pretende ser o início de um estudo com o intuito de compreender melhor as origens deste delta de confiabilidade.

Distinguir um índice que foi obtido através de dados próprios, obtidos diretamente através de testes (que é o caminho mais imparcial) de cada bloco, de outro índice obtido pela mesma técnica, porém com dados de entrada obtidos através de composições e/ou manipulações analíticas, pretende ser um primeiro passo no sentido de poder atribuir parte do delta de confiabilidade ao modelo usado, como consequência dos dados de entrada usadas no cálculo.

### Versões do DBC

Ainda sobre as versões do DBC e sobre a continuidade dos trabalhos, é proposto o desenvolvimento de mais uma versão de DBC que complementaria este método; nesta versão, que permitiria mudança nas características de confiabilidade dos blocos durante a operação do sistema, forneceria uma projeção do índice de confiabilidade estimado, conforme citado no Capítulo 2.

## Sensores

Também não foi explorado nesta tese, e quando for será um complemento valioso, o impacto no índice de confiabilidade da utilização de sensores. A utilização do sinal de sensores é um forte auxílio no desenvolvimento sequencial de qualquer sistema automatizado, porém, com a sua introdução, introduzimos também sua taxa de falha no cálculo do índice de confiabilidade e aumentamos a complexidade do software de supervisão. Estes contra pontos reforçam a utilidade do índice de confiabilidade nas primeiras Fases de um projeto.

## Capítulo 8

### Conclusões

Foi desenvolvida uma metodologia para cálculo da confiabilidade de sistemas complexos, a qual propõe a utilização do valor da confiabilidade do sistema como um valor de validade momentânea e relativa. Esta proposição faz com que esta metodologia seja única, pois confiabilidade é um valor variável ao longo do tempo, e de caráter absoluto.

O fator temporal, momentâneo, foi introduzido para tornar o valor da confiabilidade um índice expressivo num momento de bastante incerteza, pois, é pouco provável que no início da Fase de Desenvolvimento seja possível conhecer com exatidão os componentes, estrutura e forma final do sistema, fato que, quando não impossibilita, é, no mínimo, pouco recomendado, pois qual o sentido de buscar precisão num cálculo de confiabilidade quando ainda não se conhece os componentes.

A característica de fator relativo elimina qualquer dúvida que pudesse ocorrer quanto à validade do valor obtido para a confiabilidade. Quando a confiabilidade é tratada de maneira absoluta, ela permite que seja questionado o modelo utilizado e a maneira como os dados foram obtidos, além disto, conforme discutido neste trabalho, os modelos de predição de confiabilidade utilizados até hoje não foram capazes de fornecer um valor preciso, quando confrontado com os valores encontrados na Fase Uso. Porém, quando se usa o mesmo modelo com os mesmos dados e são obtidos valores finais diferentes, pode-se afirmar que uma opção se revela superior em relação à outra opção.

Com os resultados obtidos na aplicação piloto desta metodologia, foi possível comprovar a sensibilidade do método para discernir de maneira inequívoca a melhor opção do ponto de vista da confiabilidade, entre duas ou mais soluções. Esta sensibilidade tornou-se bastante

evidente quando, utilizando componentes com o valor da taxa de falha diferente em apenas 5%, seu impacto foi percebido no valor final obtido para a confiabilidade do sistema.

Esta comprovação reforça um argumento bastante utilizado como justificativa para estimação da confiabilidade feita nos projetos ainda em Fase de Desenvolvimento: o índice de confiabilidade presta valiosa informação no desenvolvimento de um projeto, à medida que indica o sentido de maior ou menor confiabilidade quando introduzida uma modificação. Sendo assim, tal sensibilidade é imprescindível pois permite avaliar o impacto de qualquer modificação proposta.

Devido à generalidade e à simplicidade do método torna-se bastante imediata sua compreensão. Este fato, aliado à existência do programa computacional desenvolvido que contém esta metodologia, são fatores que contribuem para sua ampla utilização, de maneira a colaborar na atuação da formação do engenheiro na direção exigida pelo mercado como perfil deste profissional.

A generalidade do método pôde ser demonstrada nos exemplos de aplicação, pois os sistemas continham componentes mecânicos, eletrônicos, de software e químicos. As técnicas tradicionalmente usadas estão limitadas em geral à a confiabilidade de um tipo de componente, e ainda, considerando a maneira de atuação: prolongada ou instantânea.

Além disto, nos métodos usualmente empregados, para se realizar um cálculo preliminar de confiabilidade seria necessário o conhecimento de uma quantidade razoável de técnicas, cada uma com suas restrições.

Esta generalização se estende também à origem dos dados utilizados, pois como se trata de um índice relativo, os dados podem ser oriundos tanto do fabricante, de normas técnicas, de ensaios em laboratório ou campo, pois não se está buscando a precisão para este índice, neste momento do ciclo de vida do sistema. Porém, mesmo sem haver precisão, a aplicação deste método implica na consideração do efeito do índice de confiabilidade com as áreas de interface, não permitindo que, por não dispor de um índice, seja assumido, mesmo que implicitamente, 100% de confiabilidade para o sistema

A principal restrição a este método vem do fato de não se poder dispor de um índice que pudesse ser útil no cálculo da disponibilidade de um sistema reparável. Este parâmetro, disponibilidade, que possui importância maior do que a confiabilidade quando se está lidando com sistemas reparáveis na Fase Uso. Como o objetivo desta tese era o dispor de uma metodologia para cálculo da confiabilidade de sistemas na Fase de Desenvolvimento, tal condição não foi abordada, porém constitui-se em uma linha de trabalho bastante oportuna para ser desenvolvida.

Ainda como proposição de trabalhos futuros, deve-se considerar o estudo do benefício e implicações da aplicação de sensores na ocorrência de falhas, visto que no ambiente de trabalho que esta tese foi desenvolvida está disponível a PIPEFA, cuja concepção viabiliza e permite que tal estudo, normalmente teórico, seja materializado.

## Referências Bibliográficas

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. NBR-9321; Cálculo de Estimativas por Ponto e Limites de Confiança Resultante de Ensaios de Determinação da Confiabilidade de Equipamentos. Rio de Janeiro, 1986. 34p.
- Calabro S. R. Reliability Principles and Practices. McGraw-Hill Book Company, United States of América, 1962.
- Chapouille & Pazzis. Fiabilité des Systèmes. Maison & Cie edituers, Paris 1968.
- David, K. L., Lipow, M.. *Reliability: Management, Methods, and Mathematics*. Prentice-Hall, Inc. , Englewood Cliffs, New Jersey, 1962. 528p.
- Dhillon, B. S.. *Mechanical reliability: theory, models and applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washinton, DC, 1988. 330p.
- Edwin A. Irland. Assuring Quality and Reliability of Complex Eletronic Systems: Hardware and Software. Proceedings of the IEEE, vol. 76, ano 1. 1988. 14p.
- Elkstrom L. J. and Allred A. G.. Verifing Reliability of Solid Rocket Motor at Minimum Cost. Proceedings Anual Reliability and Maintanability Symposium - 1991. 7p.
- George E. Knudsen. Overview of Desingning for Reliability. Proceedings - Institute of Enviromental Sciences. 1985. 5p.

- Gerard Collas. Dynamic Reliability Prediction: How to Adjust Modeling and Reliability Growth? Proceedings Anual Reliability and Maintainability Symposium - 1991. 6p.
- Igor Bazovs. Reliability Theory and Practice. Prentice Hall Inc, New Jersey, 1961.
- Irany, de Andrade Azevedo. *Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos*. São José dos Campos, Instituto Tecnológico de Aeronautica, 1994. 116p. Apostila.
- Ireson W. Grant. Reliability Handbook. McGraw-Hill Book Company, United States of América, 1966.
- Irwing W. Burr. McGraw-Hill Book Company, United States of América, 1953. 524p .
- James A. Mclinn. Reliability Review, volume 17, december 1997. 3p.
- Joe M. Reid. Predicting Failure Modes to Improve Reliability. Proceedings Anual Reliability and Maintainability Symposium - 1990. 4p.
- John B. Bowles. A Survey of Reliability-Prediction Procedures For Microeletronic Devices. IEEE Transactions on Reliability, volume 41, No. 1. 1992 - 11p.
- Meyer, P. L.. *Aplicações à estatística*. Livros técnicos e editora, Rio de Janeiro, 1977. 391p.
- Michael J. Cushing, Jane G. Krolewski, Thomas J. Stadterman, Barry T. Hum. RAC Journal, volume 4, No. 3 - 1996. 7p.
- Mosteller, F., Rourke, R. E. K., Thomas, J. G. B.. Probability and Statistics. Addison-Wesley
- Oliver and Boyd. The Design of Experiments . Sir Ronald A Fischer, Londres 1953
- Pallerosi, Carlos Amadeu. Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade de Componentes e Sistemas. Campinas, UNICAMP, 1994. 244p. Apostila.

Phillip E. Miller and Richard I. Moore. Field Reliability Versus Predicted Reliability: Na Analysis of Root Causes for the Difference. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium - 1991. 6p.

Publishing Company, United States of America, 1961. 395p.

R. Ralako. Evolution de la Technique et du Modo d'Avaliation de la Fiabilité en Vol d'une Systeme Vehicule Lanceur en Developpment. Application sur Ariane 5.

Raymond W. Sears. A Model for Mananging the Cost of Reliability. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium - 1991. 6p.

Roger G.. Reliability Data - A Pratical View. Microelectron Reliability, Vol. 29, num. 3, pp 405 a 413. 1989.

Shooman, M. L.. *Probabilistic reliability: na engineering approach*. McGraw-Hill Book Company, United States of América, 1968. 524p .

William H. Von Halven. Reliability Engineering - ARINC. Prentice Hall Inc, New Jersey, 1964.

William B. Clark. Analysis of Reliability Data for Mechanical Systems. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium - 1991. 4p.

## **ANEXO 1**

### **Obtenção dos dados básicos de confiabilidade**

## Anexo 1

### Obtenção dos dados básicos de confiabilidade

Os cálculos necessários para obtenção do índice de confiabilidade de um sistema complexo começam no nível mais baixo do Organograma Técnico, nível das unidades elementares, com o DBC Instantâneo e com os dados básicos de confiabilidade de cada bloco deste DBC. O desmembramento sucessivo do sistema, o Organograma Técnico e obtenção dos diagramas de bloco de confiabilidade foram discutidos no corpo da tese. Neste anexo será abordado a obtenção dos dados básicos de confiabilidade de unidades elementares que completam o conjunto de informações necessárias para o cálculo da confiabilidade de um sistema complexo.

#### 1- Introdução

Os dados básicos de confiabilidade das unidades elementares podem ser obtidos de três maneiras distintas:

a primeira maneira é a utilização direta dos dados fornecidos pelos fabricantes das unidades elementares ou de banco de dados. Estes dados são de fácil obtenção e de baixo custo porém, seu grande inconveniente é que não sabemos com exatidão de que maneira eles foram obtidos,

a segunda maneira é obtê-los através de testes próprios. Neste caso sabemos com exatidão em que circunstâncias os dados foram obtidos. Os dados obtidos através de testes são caros, demorados, necessitam de planejamento e meios para realização dos testes,

a terceira e última maneira de se obter os dados seria através de cálculos. Embora baratos, sabemos que diferem dos valores reais.

O cálculo do índice de confiabilidade através da utilização dos dados fornecidos pelo fabricante pode ser implementada diretamente no modelo desenvolvido nesta tese a qualquer momento. Os custos, o tempo envolvido e principalmente os objetivos, inviabilizam a obtenção destes dados através da realização de testes de confiabilidade, sempre a opção ideal; sendo assim, optou-se por utilizar os dados dos testes de desenvolvimento realizados no Sistema PIPEFA.

Como os objetivos dos testes de desenvolvimento são diferentes dos objetivos dos testes de confiabilidade, torna-se necessário uma análise rigorosa da configuração utilizada nos testes. Esta análise rigorosa garante a **representatividade dos testes** e aproveitamento dos dados disponíveis em cada teste. Se um componente foi utilizado em mais de um subsistema e com a mesma função, podemos acumular estes dados para o referido componente, por exemplo, um atuador pneumático operando da mesma maneira (curso todo estendido/curso todo recuado) podemos, devemos, considerar a somatória total de atuações em todos os subsistemas para obtenção do seu valor básico de confiabilidade.

## **2 - Estimação da confiabilidade usando dados de testes**

A estimação da confiabilidade através de dados de teste consiste em observar o momento de falha ( $t_i$ ) de cada componente, de uma amostra de  $n$  componentes, em condições ambientais especificadas. Se o componente que falha é substituído, este teste é chamado com recolocação, caso contrário sem recolocação. Quando o tempo de vida do componente é muito grande tornando o teste impraticável, ou economicamente inviável testar cada componente até sua falha, o teste de vida pode ser censurado e esta censura pode ocorrer de duas maneiras: Tipo I, teste com duração fixada a priori, significa que após atingido o tempo de teste previamente

estabelecido (pode ser ciclos, kilometros...) o teste é encerrado ou, Tipo II, com número de falhas fixo, neste caso o teste é encerrado após a ocorrência de  $r$  falhas estabelecido também a priori.

Em qualquer um dos três casos citado, teste completo, teste com censura Tipo I e teste com censura Tipo II, obtemos a taxa de falha do componente  $e$ , através de um procedimento gráfico ou analítico associado à função acumulada de falha,  $F(t)$ , obtemos a confiabilidade .

## 2.1- Determinação dos parâmetros através de dados de testes

### a) modo analítico

A obtenção da taxa de falha,  $\lambda(t)$ , e confiabilidade,  $R(t)$ , das unidades elementares colocadas sob teste, ou em uso, pode ser feita através do seguinte procedimento:

Com o momento de falha de cada componente, compor a seguinte tabela (ordenação dos dados):

Intervalo (horas, ciclos...)	Número de falhas ( $\Delta N_f$ )	Número de falhas acumuladas ( $N_f$ )	Número de so- breviventes ( $N_s$ )

Tab. A1.1- Ordenação dos dados

Para cada linha da tabela, calcular o valor das funções densidade de falha,  $f(t)$ , confiabilidade,  $R(t)$ , e taxa de falha,  $\lambda(t)$ , de modo a construir a seguinte tabela:

← dados obtidos →				← dados calculados →			
Intervalo	$\Delta Nf$	Nf	Ns	$f(t)$	Q(t)	R(t)	$\lambda(t)$

Tab. A1.2 – Parâmetros obtidos através dos dados

A obtenção dos valores das funções é feita através das seguintes relações:

$$f(t) = 1/N_o \times \Delta(Nf) / \Delta t \quad A1.1$$

$$Q(t) = Nf(t) / N_o \quad A1.2$$

$$R(t) = 1 - Q(t) \quad A1.3$$

$$\lambda(t) = f(t) / R(t) \quad A1.4$$

Plotando os valores de  $f(t) \times t$  obtém-se o modelo da distribuição estatística que a unidade elementar obedece para descrever o seu comportamento de vida.

b) Modo gráfico

Segundo ABNT, a determinação da variação da probabilidade acumulada de falha,  $F(t)$ , deve ser feita em relação à categoria mediana.

$$r_j = j - 0,3 / n + 0,4 \quad A1.5$$

onde:  $j$  = quantidade de falhas, obtida experimentalmente e

$n$  = tamanho da amostra.

Esta relação corrige os valores das probabilidades.

### Para a distribuição exponencial

Da expressão da função acumulada temos:

$$\text{Ln} \{ 1 / [ 1 - F(t) ] \} = \lambda(t) \quad \text{A1.6}$$

Conseqüentemente, utilizando papel semi-log obtemos uma reta, quando os dados são referentes à uma distribuição exponencial.

### Para a distribuição de Weibull

Procedimento idêntico, porém usa-se papel específico para distribuição de Weibull.

## **3- Coleta de dados**

A coleta de dados das unidades elementares foi feita num período dos testes de desenvolvimento realizados na PIPEFA. Todo componente observado neste período teve seu início de operação no início do período. Os dados coletados consistem no momento até a falha de cada unidade elementar em teste, tempo total de teste e quantidade de unidades colocadas em teste.

### 3.1- Tempo de funcionamento

Os testes de desenvolvimento da PIPEFA foram realizados segundo a seguinte seqüência:

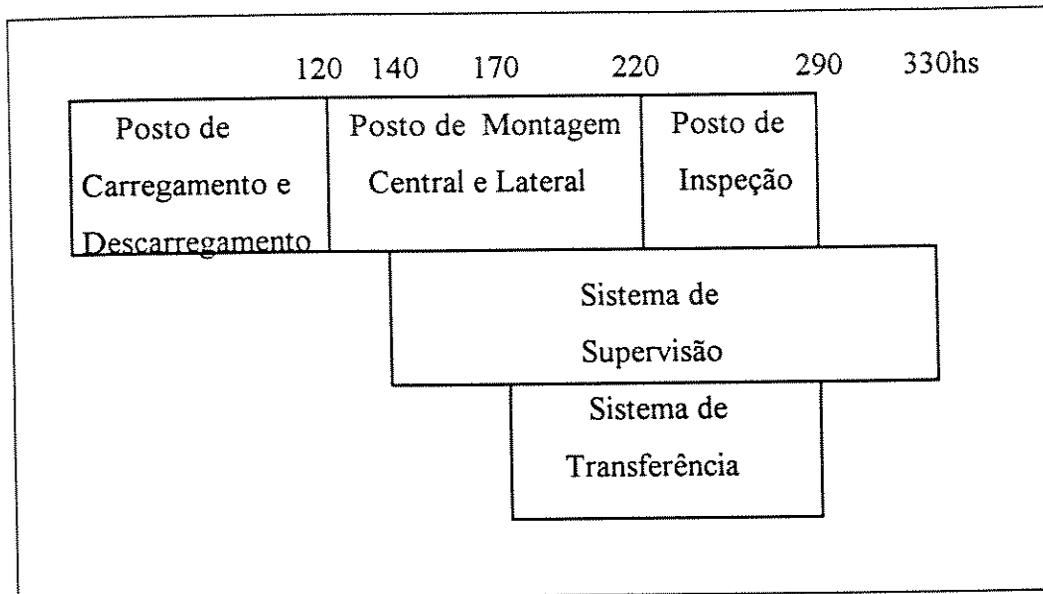


Fig. A1.1- Período do cronograma de testes de desenvolvimento da PIPEFA

A tabela abaixo fornece o tempo a que cada subsistema foi submetido durante o desenvolvimento. Para determinação do tempo consumido por uma operação do subsistema foram feitas 3 cronometragens e calculada a média aritmética; o número de ciclos pode ser obtido pela divisão entre as duas colunas tempo de funcionamento e tempo de operação. O número de ciclos será usado em conjunto com o número de atuações/1ciclo, Tab. A1.3, para determinar o momento da falha, Tab. A1.4.

operação	tempo funcionamento	tempo l operação	número de ciclos
carregamento	60 hs	21 s	10286
descarregamento	60 hs	33 s	6545
montagem central	30 hs	111 s	973
montagem lateral	30 hs	81 s	1333
desmontagem central	30 hs	111 s	973
desmontagem lateral	30 hs	81 s	1333
inspeção	70 hs	75 s	3360
sistema de transferência	160 hs	-----	-----
sistema de supervisão	190 hs	-----	-----

Tab. - A1.3- Tempo de testes de desenvolvimento de cada subsistema

operação	subsistema	unidade elementar	modo de operação	tempo ou num. atuações/1 ciclo
carregamento	Posto de Carregamento	CLP1 parte elétrica 1 transdutores (2) atuador pneumático (3)	contínuo contínuo instantâneo instantâneo	21 21 1;1 1;2;2
		CLP7 parte elétrica 7 atuador pneumático (3) transdutores (1)	contínuo contínuo instantâneo instantâneo	33 33 2;2;1 1
montagem	Posto de Montagem	CLP2 parte elétrica 2 transdutores (1) atuador pneumático (6)	contínuo contínuo instantâneo instantâneo	111 111 1 4;4;8;4;4;4
		CLP3 parte elétrica 3 transdutores (1) atuador pneumático (6)	contínuo contínuo instantâneo instantâneo	81 81 1 4;4;8;4;4;4
desmontagem	Central	CLP5 parte elétrica 5 transdutores (1) atuador pneumático (7)	contínuo contínuo instantâneo instantâneo	111 111 1 6;3;6;8;8;16;8
		CLP6 parte elétrica 6 transdutores (1) atuador pneumático (7)	contínuo contínuo instantâneo instantâneo	81 81 1 6;3;6;8;8;16;8
montagem	Posto de Montagem	CLP4 parte elétrica 4 transdutores (3) atuador pneumático (4)	contínuo contínuo instantâneo instantâneo	75 75 1;3;3 4;3;2;3
		CLP8 parte elétrica 8 transdutores (3) atuador pneumático (5)	contínuo contínuo instantâneo instantâneo	75 75 1;3;3 2;1;2;3;2
aceitação	Posto de Inspeção			
refugo				

Tab. A1.4 - Descrição das unidades elementares

### 3.2 Falhas observadas durante os testes

O segundo dado coletado diretamente dos testes de desenvolvimento da PIPEFA foram as falhas ocorridas. Numa seqüência cronológica, as falhas ocorreram:

falha	instante (hs)	unidade elementar
1	140	transdutor (J)
2	190	atuador pneumático (F)
3	212	transdutor (E)
4	250	atuador pneumático (B)
5	278	transdutor (C)
6	287	atuador pneumático (A)

Tab. A1.5 - Cronologia das falhas

### 3.3 Unidades elementares

A tabela abaixo apresenta as unidades elementares constituintes das operações de cada subsistema, descreve seu modo de operação e o tempo (modo de operação contínuo) ou número de atuações por ciclo (modo de operação instantâneo). Estes dados serão usados em conjunto com o número de ciclos (Tab. A1.1).

### **4- Cálculo da confiabilidade das unidades elementares**

#### Atuador pneumático:

tamanho da amostra: 18

quantidade de falhas: 3

duração do período de teste: 290 hs

atuador	número de ordem	momento da falha	$r_j$ (%)
F	1	190 hs (42.000 atuações)	3,8
B	2	250 hs (48.000 atuações)	9,2
A	3	287 hs (51.740 atuações)	14,6

Tab. A1.6 - Valores correspondentes à categoria mediana para os tempos de falha dos atuadores pneumáticos

OBS:  $r_j$  (%) - categoria mediana - P50 em porcentagem

Transdutor:

tamanho da amostra: 12

quantidade de falhas: 3

duração do período de teste: 280 hs

transdutor	número de ordem	momento da falha	$r_j$ (%)
J	1	140 hs (18.100 atuações)	5,6
E	2	212 hs (23.750 atuações)	13,6
C	3	278 hs (31.095 atuações)	21,7

Tab. A1.7 - Valores correspondentes à categoria mediana para os tempos de falha dos transdutores

OBS:  $r_j$  (%) - categoria mediana - P50 em porcentagem

A projeção da curva plotada indica um valor de 50 hs ( $F(50) = 0,1\%$ ). Com 50 hs, o tuador atuou aproximadamente 17.140 vezes.

Uma das condições de utilização do DBC-Instantâneo é a não variação dos dados básicos de confiabilidade da unidade elementar. De todos os DBCs Instantâneos utilizados, a pior situação ocorre na operação de desmontagem lateral quando o atuador atua 16 vezes em um ciclo. Numa situação bastante conservativa, estamos adotando  $R = 0,99\%$  ou seja  $F(t) = 0,1\%$ .

## **ANEXO 2**

### **Diagrama de Bloco de Confiabilidade - Instantâneo**

## Posto de carregamento e descarregamento

ti 01 ausência de placa	apl 02 carrega placa	to 03 leitura do código
gav. inf. 04 avanço da gaveta	ev1 05 elevador sobe	gav. inf. 06 recoo da gaveta
ev1 07 elevador desce		

DBC Instantâneo - Operação de carregamento de placas

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	gav. inf. 03 avanço da gaveta
ev1 04 elevador desce	gav. inf. 05 recoo da gaveta	apl 06 cilindro ejeta a placa

DBC Instantâneo - Operação de descarregamento de placas

### Posto de montagem central

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	gav. inf. 03 avanço da gaveta
ev1 04 elevador desce	gav. inf. 05 recoo da gaveta	gav. sup. 06 avanço da gaveta
ap1 07 desbloqueia 1 cubo	ap1 08 bloqueia cubos	ev2 09 desce posição interm.
ap2 10 prende cubo	ev2 11 sobe	gav. sup. 12 recoo da gaveta
ev2 13 desce até a placa	ap2 14 solta cubo	ev2 15 sobe
gav. inf. 16 avanço da gaveta	ev1 17 elevador sobe	gav. inf. 18 elevador desce
ev1 19 elevador desce		

DBC Instantâneo - Operação de montagem central - 1 cubo

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	gav. inf. 03 avanço da gaveta
ev1 04 elevador desce	gav. inf. 05 recoo da gaveta	gav. sup. 06 avanço da gaveta
ap1 07 desbloqueia 1 cubo	ap1 08 bloqueia cubos	ev2 09 desce posição interm.
ap2 10 prende cubo	ev2 11 sobe	gav. sup. 12 recoo da gaveta
ev2 13 desce até a placa	ap2 14 solta cubo	ev2 15 sobe
gav. sup. 16 avanço da gaveta	ap1 17 desbloqueia 1 cubo	ap1 18 bloqueia cubos
ev2 19 desce posição interm.	ap2 20 prende cubo	ev2 21 sobe
gav. sup. 22 recoo da gaveta	ev2 23 desce até a placa	ap2 24 solta cubo
ev2 25 sobe	gav. inf. 26 avanço da gaveta	ev1 27 elevador sobe
gav. inf. 28 elevador desce	ev1 29 elevador desce	

DBC Instantâneo - Operação de montagem central - 2 cubos

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	gav. inf. 03 avanço da gaveta	
ev1 04 elevador desce	gav. inf. 05 recuo da gaveta	ev2 06 desce até a placa	
ap2 07 prende cubo	ev2 08 sobe	gav. sup. 09 avanço da gaveta	
ev2 10 desce posição interm.	ap2 11 solta cubo	ev2 12 sobe	
gav. sup. 13 recuo da gaveta	ap3 14 ejeta cubo (avanço)	ap3 15 ejeta cubo (retorno)	
gav. inf. 16 avanço	ev1 17 elevador sobe	gav. inf. 18 recuo	
<table border="1"> <tr> <td>ev1 19 elevador desce</td> </tr> </table>			ev1 19 elevador desce
ev1 19 elevador desce			

DBC Instantâneo - Operação de desmontagem central - 1 cubo

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	gav. inf. 03 avanço da gaveta
----------------------------	-------------------------	----------------------------------

ev1 04 elevador desce	gav. inf. 05 recuo da gaveta	ev2 06 desce até a placa
--------------------------	---------------------------------	-----------------------------

ap2 07 prende cubo	ev2 08 sobe	gav. sup. 09 avanço da gaveta
-----------------------	----------------	----------------------------------

ev2 10 desce posição interm.	ap2 11 solta cubo	ev2 12 sobe
---------------------------------	----------------------	----------------

gav. sup. 13 recuo da gaveta	ap3 14 ejeta cubo (avanço)	ap3 15 ejeta cubo (retorno)
---------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

ev2 16 desce até a placa	ap2 17 prende cubo	ev2 18 sobe
-----------------------------	-----------------------	----------------

gav. sup. 19 avanço da gaveta	ev2 20 desce posição interm.	ap2 21 solta cubo
----------------------------------	---------------------------------	----------------------

ev2 22 sobe	gav. sup. 23 recuo da gaveta	ap3 24 ejeta cubo (avanço)
----------------	---------------------------------	-------------------------------

ap3 25 ejeta cubo (retorno)	gav. inf. 26 avanço	ev1 27 elevador sobe
--------------------------------	------------------------	-------------------------

gav. inf. 28 recuo	ev1 29 elevador desce	
-----------------------	--------------------------	--

DBC Instantâneo - Operação de desmontagem central - 2 cubos

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	apR 03 rotaciona a placa 1/4
gav. inf. 04 avanço da gaveta	ev1 05 elevador desce	gav. inf. 06 reco da gaveta
gav. sup. 07 avanço da gaveta	ap1 08 desbloqueia 1 cubo	ap1 09 bloqueia cubos
ev2 10 desce posição interm.	ap2 11 prende cubo	ev2 12 sobe
gav. sup. 13 reco da gaveta	ev2 14 desce até a placa	ap2 15 solta cubo
ev2 16 sobe	gav. inf. 17 avanço da gaveta	ev1 18 elevador sobe
gav. inf. 19 reco da gaveta	apR 20 rotaciona a placa 1/4	ev1 21 elevador desce

DBC Instantâneo - Operação de montagem lateral - 1 cubo

OBS: A operação de montagem lateral de um cubo para lateral direita e esquerda possuem o mesmo DBC.

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	apR 03 rotaciona a placa 1/4
----------------------------	-------------------------	---------------------------------

gav. inf. 04 avanço da gaveta	ev1 05 elevador desce	gav. inf. 06 recoo da gaveta
----------------------------------	--------------------------	---------------------------------

gav. sup. 07 avanço da gaveta	ap1 08 desbloqueia 1 cubo	ap1 09 bloqueia cubos
----------------------------------	------------------------------	--------------------------

ev2 10 desce posição interm.	ap2 11 prende cubo	ev2 12 sobe
---------------------------------	-----------------------	----------------

gav. sup. 13 recoo da gaveta	ev2 14 desce até a placa	ap2 15 solta cubo
---------------------------------	-----------------------------	----------------------

ev2 16 sobe	gav. sup. 17 avanço da gaveta	ap1 18 desbloqueia 1 cubo
----------------	----------------------------------	------------------------------

ap1 19 bloqueia cubos	ev2 20 desce posição interm.	ap2 21 prende cubo
--------------------------	---------------------------------	-----------------------

ev2 22 sobe	gav. sup. 23 recoo da gaveta	ev2 24 desce até a placa
----------------	---------------------------------	-----------------------------

ap2 25 solta cubo	ev2 26 sobe	gav. inf. 27 avanço da gaveta
----------------------	----------------	----------------------------------

ev1 28 elevador sobe	gav. inf. 29 recoo da gaveta	apR 30 rotaciona a placa 1/4
-------------------------	---------------------------------	---------------------------------

ev1 31 elevador desce
--------------------------

DBC Instantâneo - Operação de montagem lateral - 2 cubos

OBS: A operação de montagem lateral de dois cubos para lateral direita e esquerda possuem o mesmo DBC.

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	apR 03 rotaciona a placa 1/4
----------------------------	-------------------------	---------------------------------

gav. inf. 04 avanço da gaveta	ev1 05 elevador desce	gav. inf. 06 recoo da gaveta
----------------------------------	--------------------------	---------------------------------

gav. sup. 07 avanço da gaveta	ap1 08 desbloqueia 1 cubo	ap1 09 bloqueia cubos
----------------------------------	------------------------------	--------------------------

ev2 10 desce posição interm.	ap2 11 prende cubo	ev2 12 sobe
---------------------------------	-----------------------	----------------

gav. sup. 13 recoo da gaveta	ev2 14 desce até a placa	ap2 15 solta cubo
---------------------------------	-----------------------------	----------------------

ev2 16 sobe	gav. sup. 17 avanço da gaveta	ap1 18 desbloqueia 1 cubo
----------------	----------------------------------	------------------------------

ap1 19 bloqueia cubos	ev2 20 desce posição interm.	ap2 21 prende cubo
--------------------------	---------------------------------	-----------------------

ev2 22 sobe	gav. sup. 23 recoo da gaveta	ev2 24 desce até a placa
----------------	---------------------------------	-----------------------------

ap2 25 solta cubo	ev2 26 sobe	gav. inf. 27 avanço da gaveta
----------------------	----------------	----------------------------------

ev1 28 elevador sobe	apR 29 rotaciona a placa 1/2	ev1 30 elevador desce
-------------------------	---------------------------------	--------------------------

gav. inf. 31 recoo da gaveta	gav. sup. 32 avanço da gaveta	ap1 33 desbloqueia 1 cubo
---------------------------------	----------------------------------	------------------------------

ap1 34 bloqueia cubos	ev2 35 desce posição interm.	ap2 36 prende cubo
--------------------------	---------------------------------	-----------------------

ev2 37 sobe	gav. sup. 38 recoo da gaveta	ev2 39 desce até a placa
----------------	---------------------------------	-----------------------------

ap2 41 solta cubo	ev2 42 sobe	gav. sup. 43 avanço da gaveta
----------------------	----------------	----------------------------------

ap1 44 desbloqueia 1 cubo	ap1 45 bloqueia cubos	ev2 46 desce posição interm
------------------------------	--------------------------	--------------------------------

ap2 47 prende cubo	ev2 48 sobe	gav. sup. 49 recoo da gaveta
-----------------------	----------------	---------------------------------

ev2 50 desce até a placa	ap2 51 solta cubo	ev2 52 sobe
-----------------------------	----------------------	----------------

gav. inf. 53 avanço da gaveta	ev1 54 elevador sobe	gav. inf. 55 recoo da gaveta
----------------------------------	-------------------------	---------------------------------

apR 56 rotaciona a placa 1/4	ev1 57 elevador desce
---------------------------------	--------------------------

DBC Instantâneo - Operação de montagem lateral - 4 cubos

Posto de Inspeção

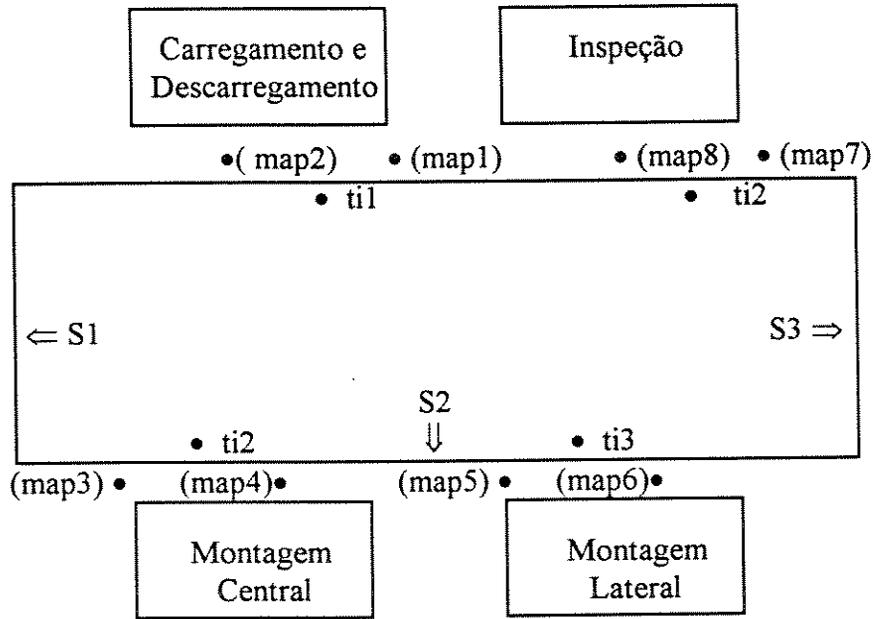
to 01 leitura do código	evl 02 elevador sobe	gav. inf. 03 avanço da gaveta
evl 04 elevador desce	ti1 05 verifica cubo nível 0	ti2 06 verifica cubo nível 1
ap2 07 avanço	ap1 08 posição intermediária	ti1 09 verifica cubo nível 0
ti2 10 verifica cubo nível 1	ap2 11 recuo	ap1 12 posição avanço
ti1 13 verifica cubo nível 0	ti2 14 verifica cubo nível 1	ap1 15 posição recuo
gav. inf. 16 avanço da gaveta	evl 17 elevador sobe	gav. inf. 18 recuo da gaveta
evl 20 elevador desce		

DBC Instantâneo - Operação de aceitação

to 01 leitura do código	ev1 02 elevador sobe	gav. inf. 03 avanço da gaveta
ev1 04 elevador desce	ti1 05 verifica cubo nível 0	ti2 06 verifica cubo nível 1
ap2 07 avanço	ap1 08 posição intermediária	ti1 09 verifica cubo nível 0
ti2 10 verifica cubo nível 1	ap2 11 recuo	ap1 12 posição avanço
ti1 13 verifica cubo nível 0	ti2 14 verifica cubo nível 1	ap1 15 posição recuo
ap3 16 ejeção do cubo		ap3 17 retorno

DBC Instantâneo - Operação de rejeição

## Sistema de Transferência



$map1$  = impede/permite que outras placas cheguem no Posto de Carregamento  
 $map3$  = impede/permite que outras placas cheguem no Posto de Montagem Central  
 $map5$  = impede/permite que outras placas cheguem no Posto de Montagem Lateral  
 $map7$  = impede/permite que outras placas cheguem no Posto de Inspeção

$map2$  = bloqueia a placa no Posto de Carregamento  
 $map4$  = bloqueia a placa no Posto de Montagem Central  
 $map6$  = bloqueia a placa no Posto de Montagem Lateral  
 $map8$  = bloqueia a placa no Posto de Inspeção

$ti1$  = indica presença da placa no Posto de Carregamento  
 $ti2$  = indica presença da placa no Posto de Montagem Central  
 $ti3$  = indica presença da placa no Posto de Montagem Lateral  
 $ti4$  = indica presença da placa no Posto de Inspeção

map1 01 avanço – bloqueio	motor1 02 acionamento	map1 03 recoo – desbloqueio	
S1 04 desvio montagem central	motor2 05 acionamento	motor1 06 desligar	
S2 07 desvio montagem lateral	motor3 08 acionamento	motor2 09 desligar	
S3 10 desvio Posto de Inspeção	motor4 11 acionamento	motor3 12 desligar	
map2 13 bloqueio placa P. carreg.	Ti1 14 placa no P. carregamento	map1 15 avanço – bloqueio	
<table border="1"> <tr> <td>motor4 16 Desligar</td> </tr> </table>			motor4 16 Desligar
motor4 16 Desligar			

Sistema de Transferência - Configuração Básica CB2

map1 01 avanço – bloqueio	motor1 02 acionamento	map1 03 reco – desbloqueio
------------------------------	--------------------------	-------------------------------

S1 04 envia montagem central	motor2 05 acionamento	map4 06 avanço – bloqueio
---------------------------------	--------------------------	------------------------------

motor1 07 desligar	Ti2 08 placa no P. M. Central	map3 09 avanço – bloqueio
-----------------------	----------------------------------	------------------------------

map4 10 reco – desbloqueio	map3 11 reco – desbloqueio	S2 12 envia montagem lateral
-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------

motor3 13 acionamento	map6 14 avanço – bloqueio	motor2 15 desligar
--------------------------	------------------------------	-----------------------

Ti3 16 placa no P. M. Lateral	map5 17 avanço – bloqueio	map6 18 reco – desbloqueio
----------------------------------	------------------------------	-------------------------------

S3 19 envia inspeção	motor4 20 acionamento	map8 21 avanço – bloqueio
-------------------------	--------------------------	------------------------------

Ti4 22 placa no P. Inspeção	map7 23 avanço – bloqueio	map8 24 reco – desbloqueio
--------------------------------	------------------------------	-------------------------------

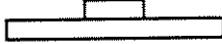
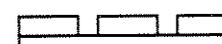
map7 25 reco – desbloqueio	motor1 26 acionamento	map1 27 avanço – bloqueio
-------------------------------	--------------------------	------------------------------

Ti1 28 placa no P. Carreg./Desc.	map2 29 avanço – bloqueio	
-------------------------------------	------------------------------	--

Sistema de Transferência - Configuração Básica CB3

## **Anexo 3**

### **Configurações disponíveis na PIPEFA**

produto código	descrição	configuração		confiabi- lidade(R)	
		com insp.	sem insp.		
0Z000001 1Z000001		CB501 CB301	CB601 CB401	0,907 0,907	0,940 0,940
0Z000011 1Z000011		CB502 CB302	CB602 CB402	0,897 0,897	0,930 0,930
0Z000100 1Z000100		CB503 CB303	CB603 CB403	0,907 0,907	0,940 0,940
0Z000101 1Z000101		CB504 CB304	CB604 CB404	0,885 0,885	0,917 0,917
0Z000111 1Z000111		CB505 CB305	CB605 CB405	0,876 0,876	0,908 0,908
0Z001100 1Z001100		CB506 CB306	CB606 CB406	0,898 0,897	0,931 0,930
0Z001101 1Z001101		CB507 CB307	CB607 CB407	0,869 0,869	0,900 0,900
0Z001111 1Z001111		CB508 CB308	CB608 CB408	0,869 0,869	0,900 0,900
0Z010000 1Z010000		CB509 CB309	CB609 CB409	0,907 0,907	0,940 0,940
0Z010001 1Z010001		CB510 CB310	CB610 CB410	0,885 0,885	0,917 0,917
0Z010011 1Z010011		CB511 CB311	CB611 CB411	0,876 0,876	0,908 0,908
0Z010101 1Z010101		CB512 CB312	CB612 CB412	0,864 0,864	0,895 0,895
0Z010111 1Z010111		CB513 CB313	CB613 CB413	0,920 0,920	0,855 0,855
0Z011100 1Z011100		CB514 CB314	CB614 CB414	0,869 0,869	0,900 0,900
0Z011101 1Z011101		CB515 CB315	CB615 CB415	0,848 0,848	0,879 0,879

0Z011111		CB516	CB616	0,847	0,878
1Z011111		CB316	CB416	0,847	0,878
0Z110000		CB517	CB617	0,897	0,930
1Z110000		CB317	CB417	0,897	0,930
0Z110001		CB518	CB618	0,876	0,908
1Z110001		CB318	CB418	0,876	0,908
0Z110011		CB519	CB619	0,867	0,899
1Z110011		CB319	CB419	0,867	0,899
0Z110100		CB520	CB620	0,876	0,908
1Z110100		CB320	CB420	0,876	0,908
0Z110101		CB521	CB621	0,855	0,886
1Z110101		CB321	CB421	0,855	0,886
0Z110111		CB522	CB622	0,846	0,877
1Z110111		CB322	CB422	0,846	0,877
0Z111100		CB523	CB623	0,868	0,900
1Z111100		CB323	CB423	0,868	0,900
0Z111101		CB524	CB624	0,846	0,877
1Z111101		CB324	CB424	0,846	0,877
0Z111111		CB525	CB625	0,838	0,869
1Z111111		CB325	CB425	0,838	0,869

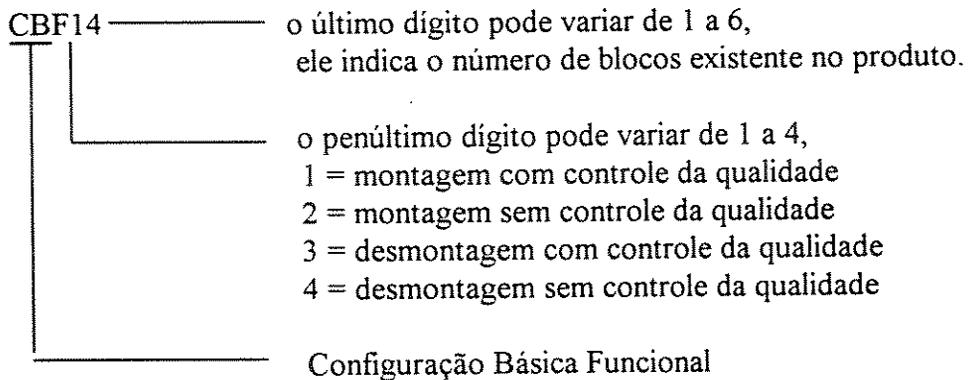
Tab. A3.1 - Configurações básicas da PIPEFA

produto código	descrição	configuração		confiabi- lidade (R)	
		com insp.	sem insp.		
0Z000001 1Z000001					
0Z000100 1Z000100		CBF11 CBF31	CBF21 CBF41	0,928 0,928	0,962 0,962
0Z000101 1Z000101					
0Z000111 1Z000111					
0Z000100 1Z000100					
0Z001101 1Z001101					
0Z001111 1Z001111		CBF12 CBF32	CBF22 CBF42	0,928 0,928	0,962 0,962
0Z010000 1Z010000					
0Z010001 1Z010001					
0Z010101 1Z010101					
0Z000111 1Z000111					
0Z110001 1Z110001					
0Z011100 1Z011100		CBF13 CBF33	CBF23 CBF43	0,925 0,925	0,959 0,959
0Z001101 0Z001101					
1Z010011					

0Z110100 1Z110100					
0Z111100 1Z111100					
0Z110011 1Z110011					
0Z001111 1Z001111					
0Z110101 1Z110101		CBF14 CBF34	CBF24 CBF44	0,925 0,925	0,959 0,959
0Z011101 1Z011101					
0Z010111 1Z010111					

Tab. 5.2 - Configurações básicas funcionais da PIPEFA

onde:



## **Anexo 4**

### **Programa Computacional para Cálculo da Confiabilidade**

Este anexo contém três exemplos de cálculo de confiabilidade, utilizando o programa computacional que contém a metodologia descrita neste trabalho. Este programa foi feito em Visual Basic versão 4, e utiliza um banco de dados em Access. O programa permite três modos de cálculo:

a) modo geral

Neste modo o usuário pode calcular a confiabilidade de um sistema complexo qualquer, contendo estruturas série e paralelo, e é necessário introduzir as unidades elementares e suas respectivas taxas de falha.

b) Modo dedicado a PIPEFA - enfoque físico

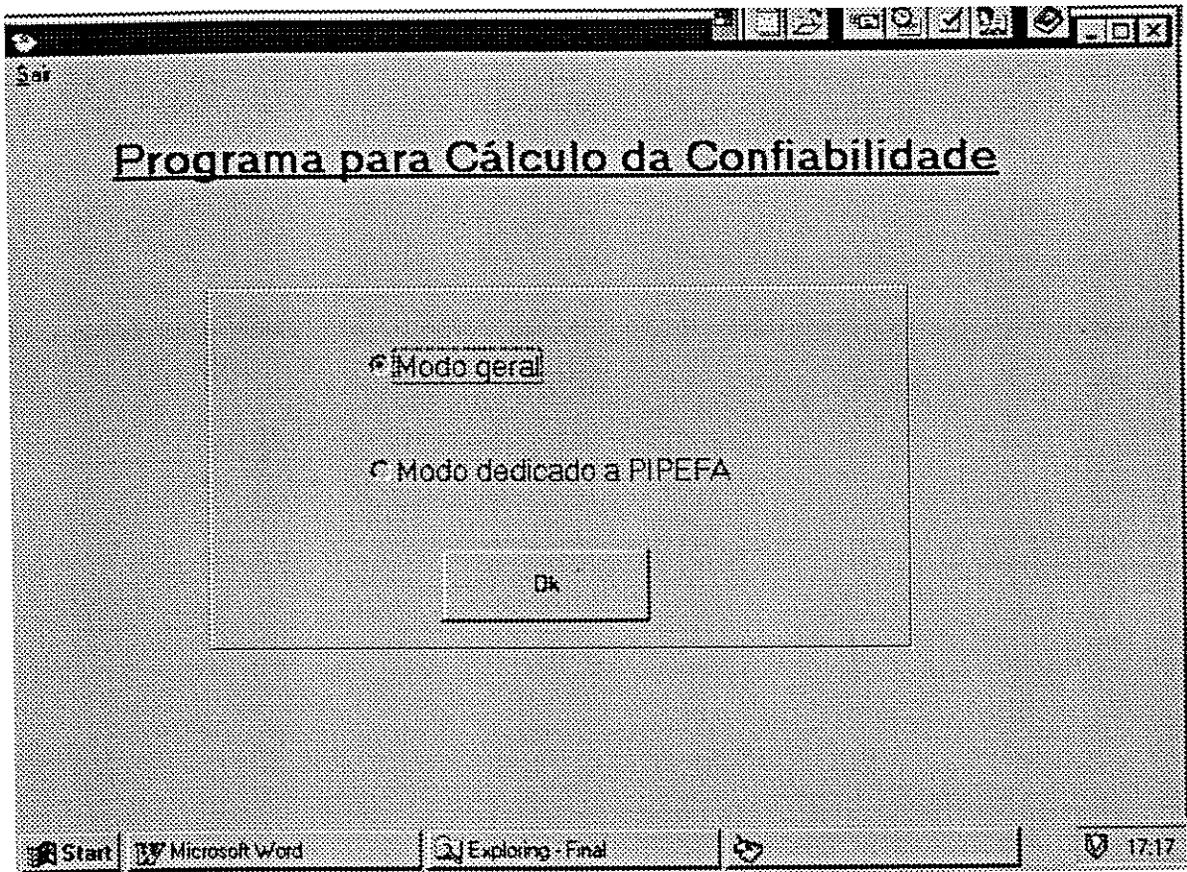
Neste modo o usuário calcula a confiabilidade de uma configuração qualquer disponível na PIPEFA, com base no produto que o usuário deseja obter.

c) Modo dedicado a PIPEFA - enfoque funcional

Neste modo o usuário também calcula a confiabilidade de uma configuração disponível na PIPEFA, porém com base na funcionalidade da plataforma e não no produto.

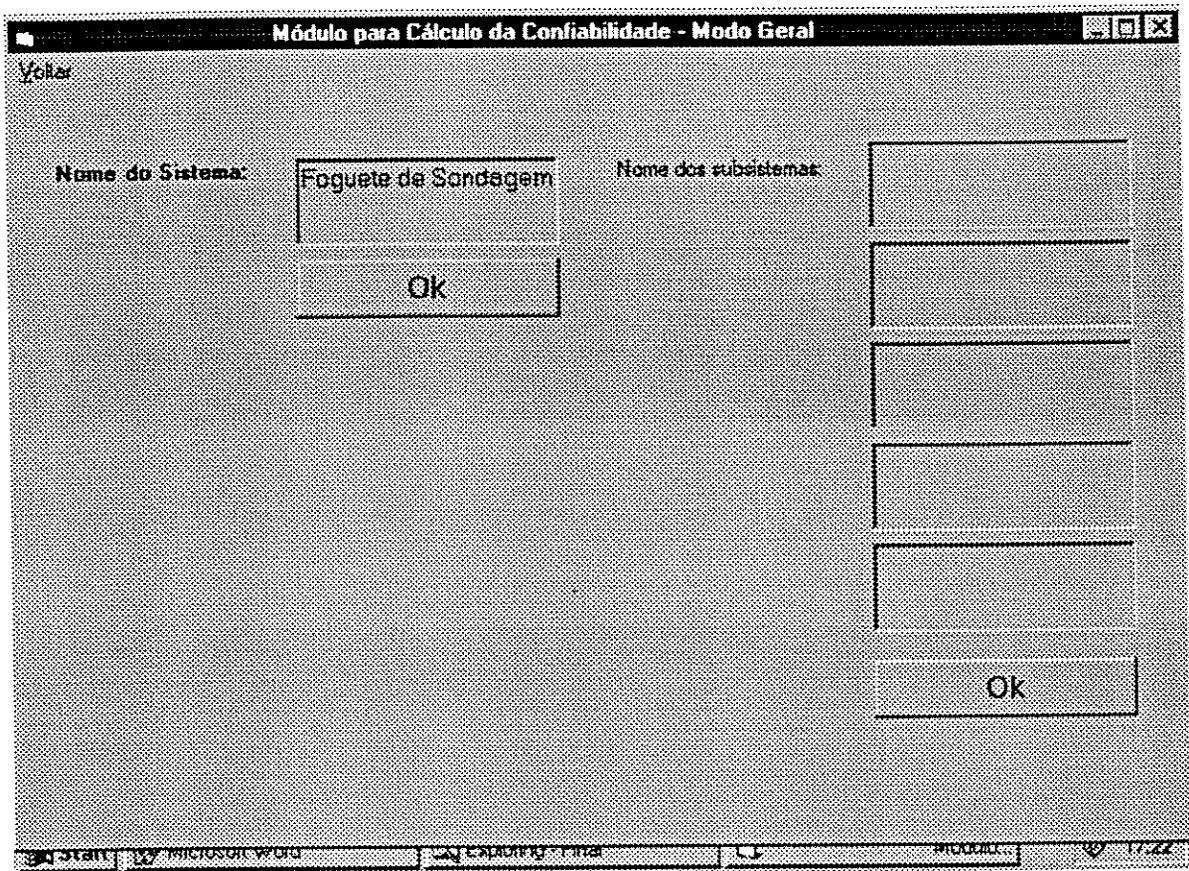
Nesta mesma seqüência serão apresentados os exemplos, através das telas que se sucedem.

Para finalizar este anexo, é apresentado a programação das principais telas.

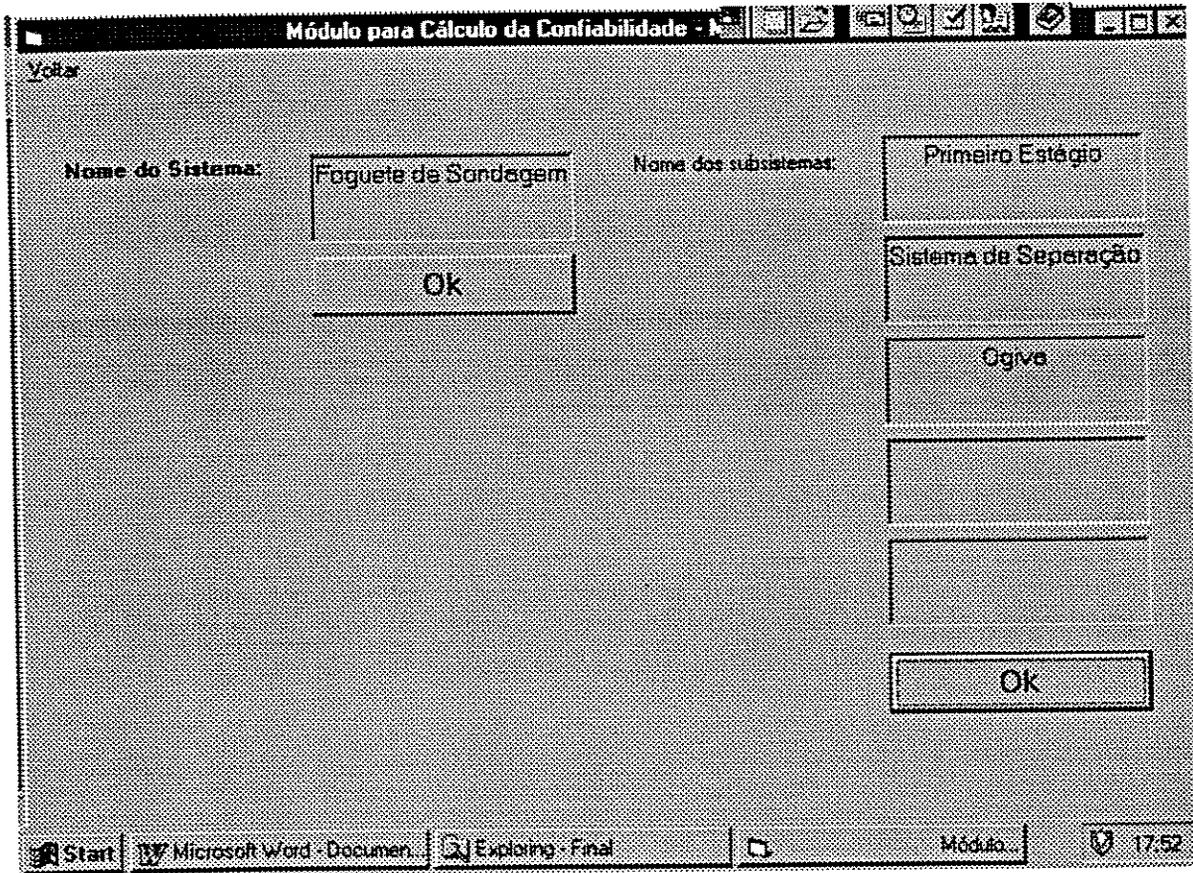


Tela inicial do programa que contém a opção pelo modo de trabalho:

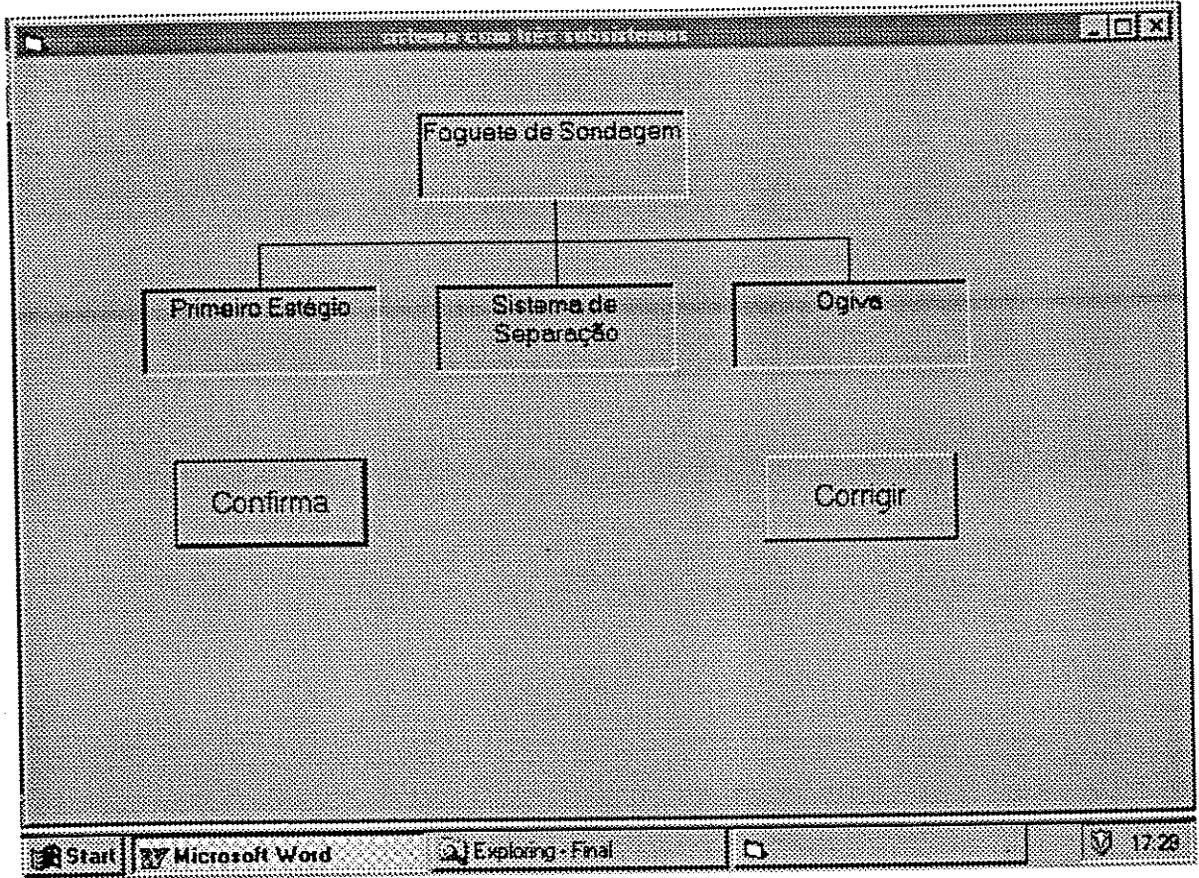
- geral, caso de um sistema qualquer ou
- dedicado à PIPEFA.



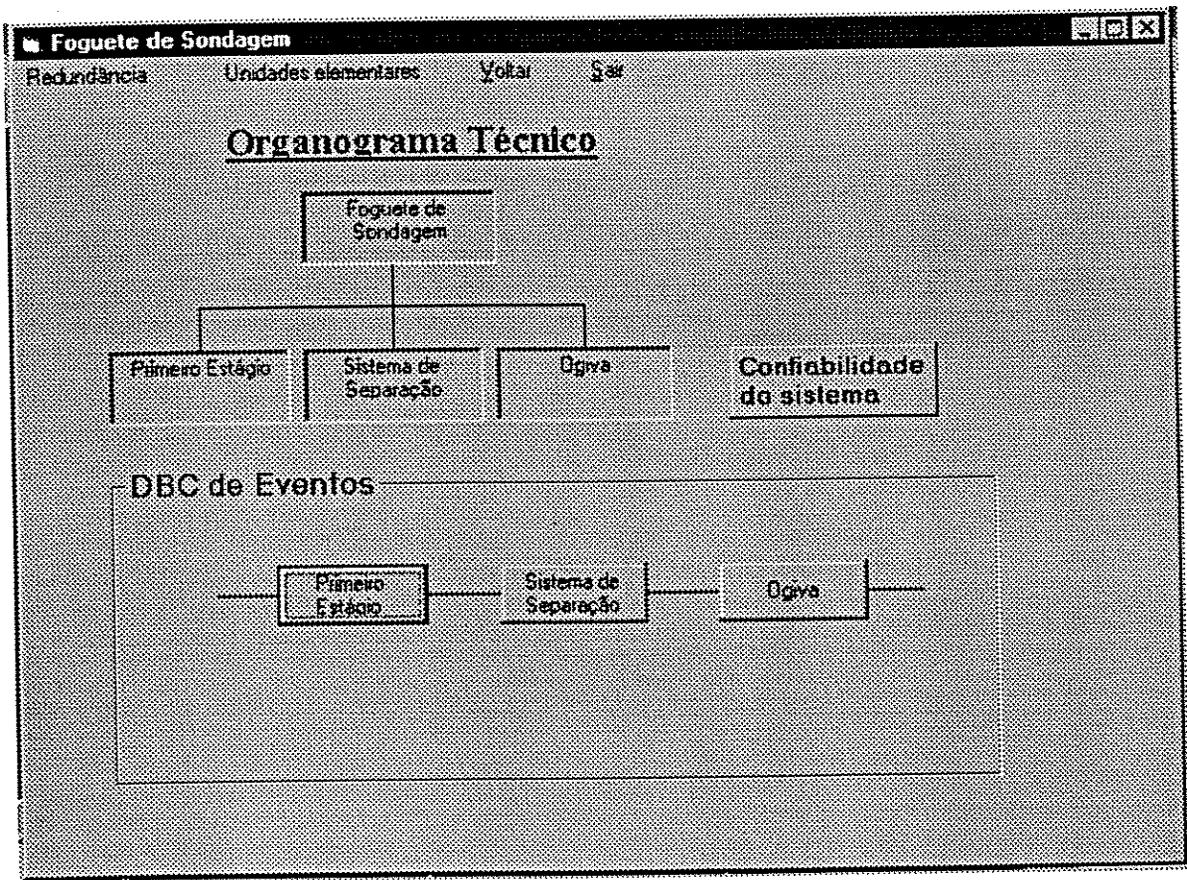
Depois de digitado o nome do sistema e apertado o botão Ok, aparecem cinco posições para serem preenchidas com o nome dos subsistemas. É obrigatório no mínimo dois subsistemas.



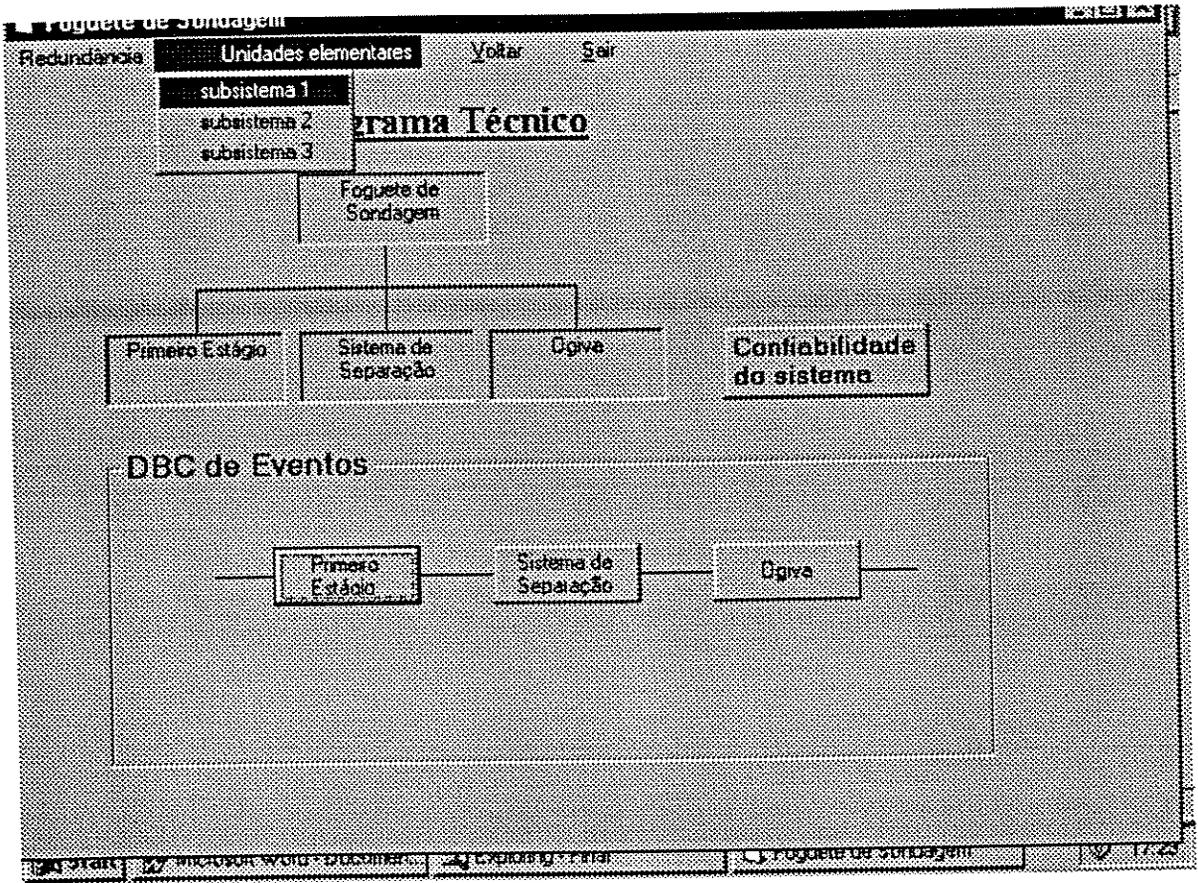
Tela com o nome dos subsistemas.



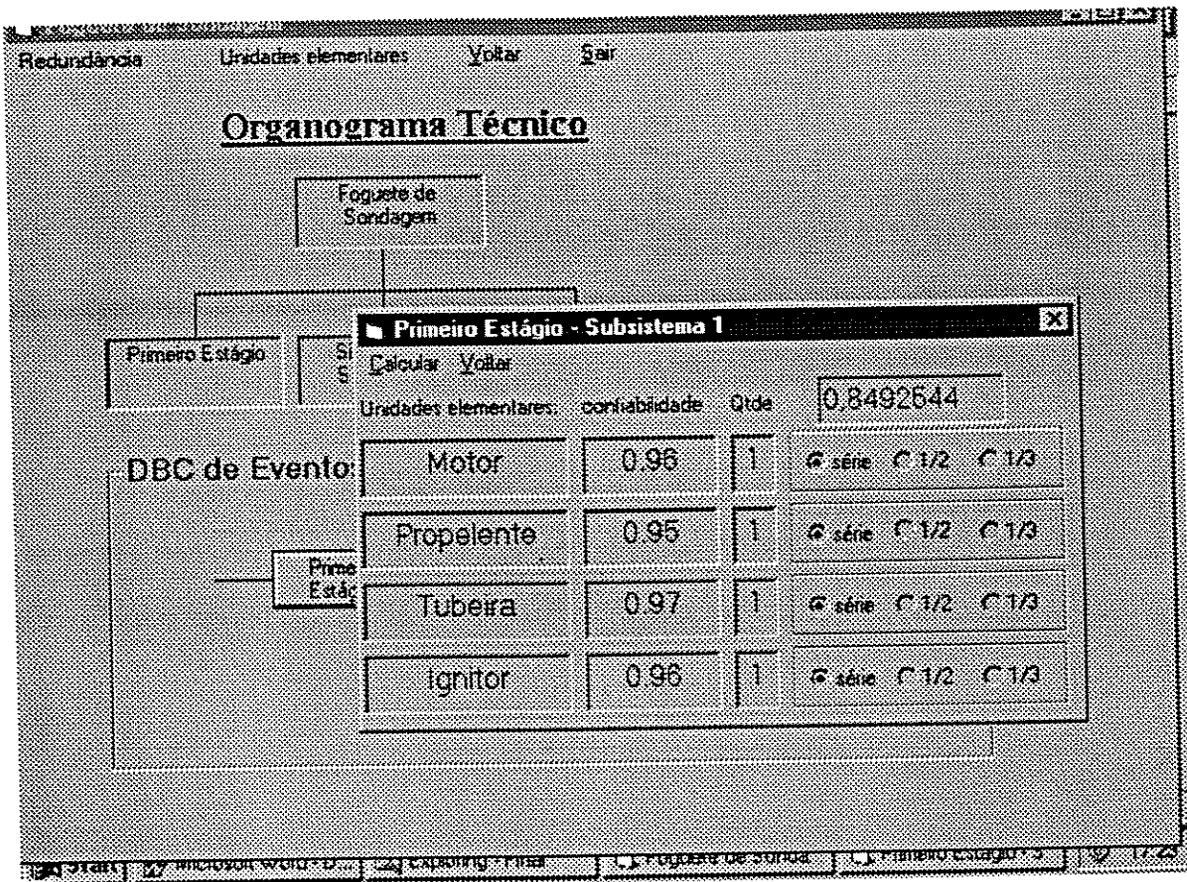
Apresentação do sistema e seus subsistemas, sob a forma de organograma, com a opção de correção.



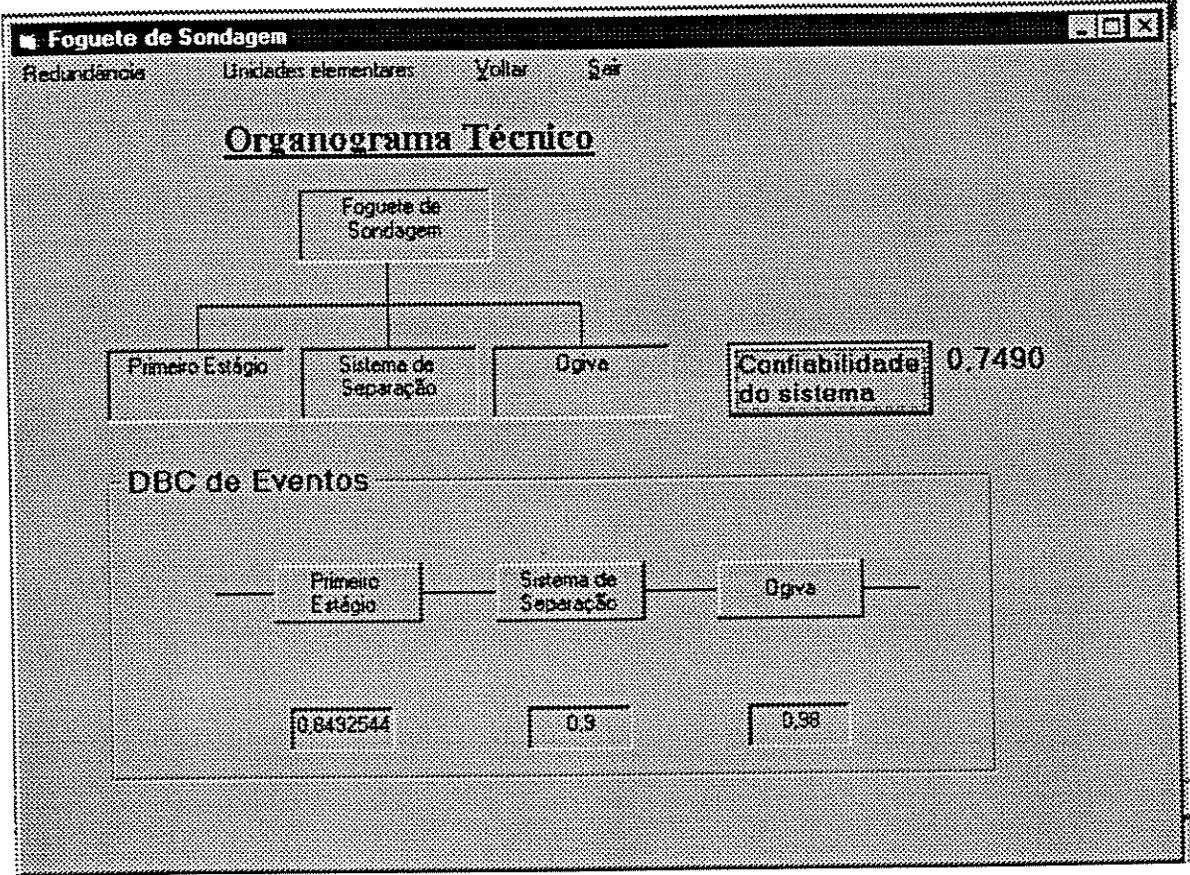
Organograma Técnico e DBC de Eventos do sistema.



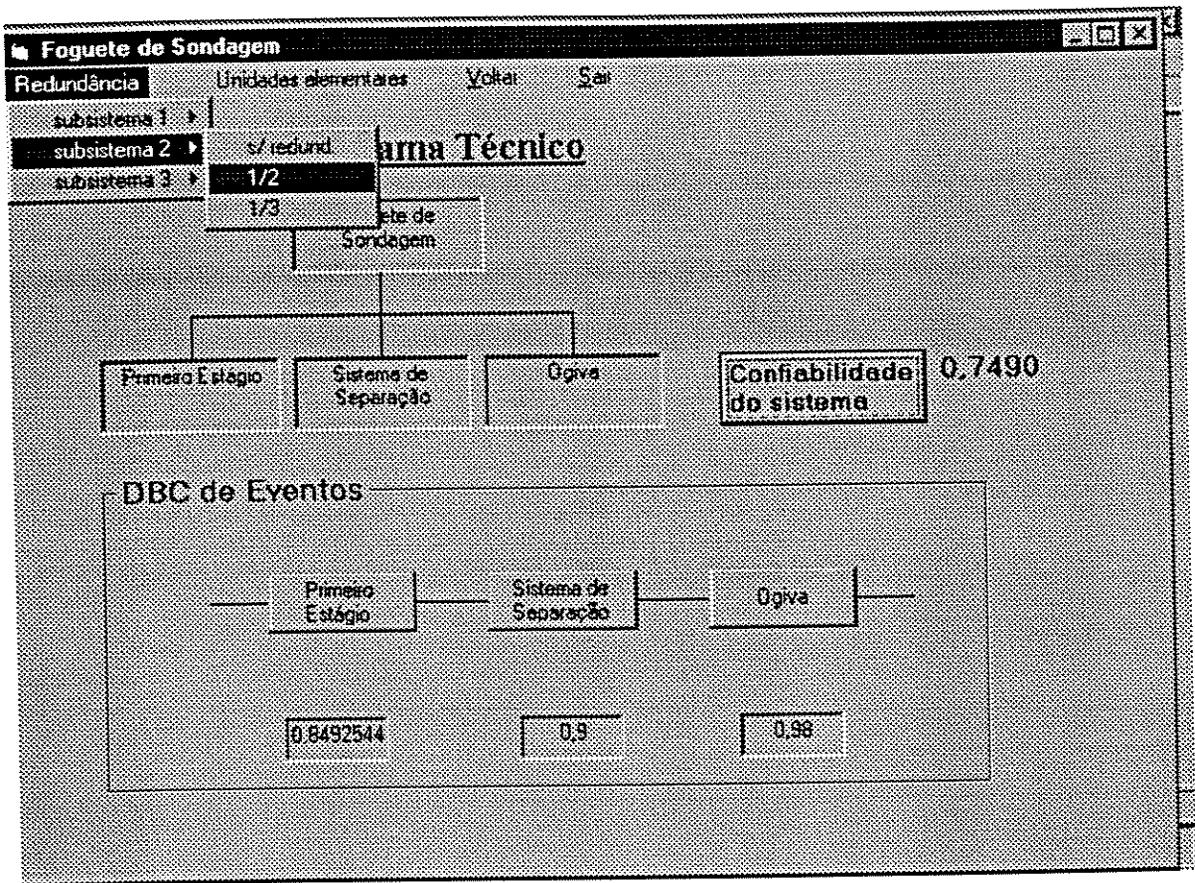
Acesso às unidades elementares de cada subsistema.



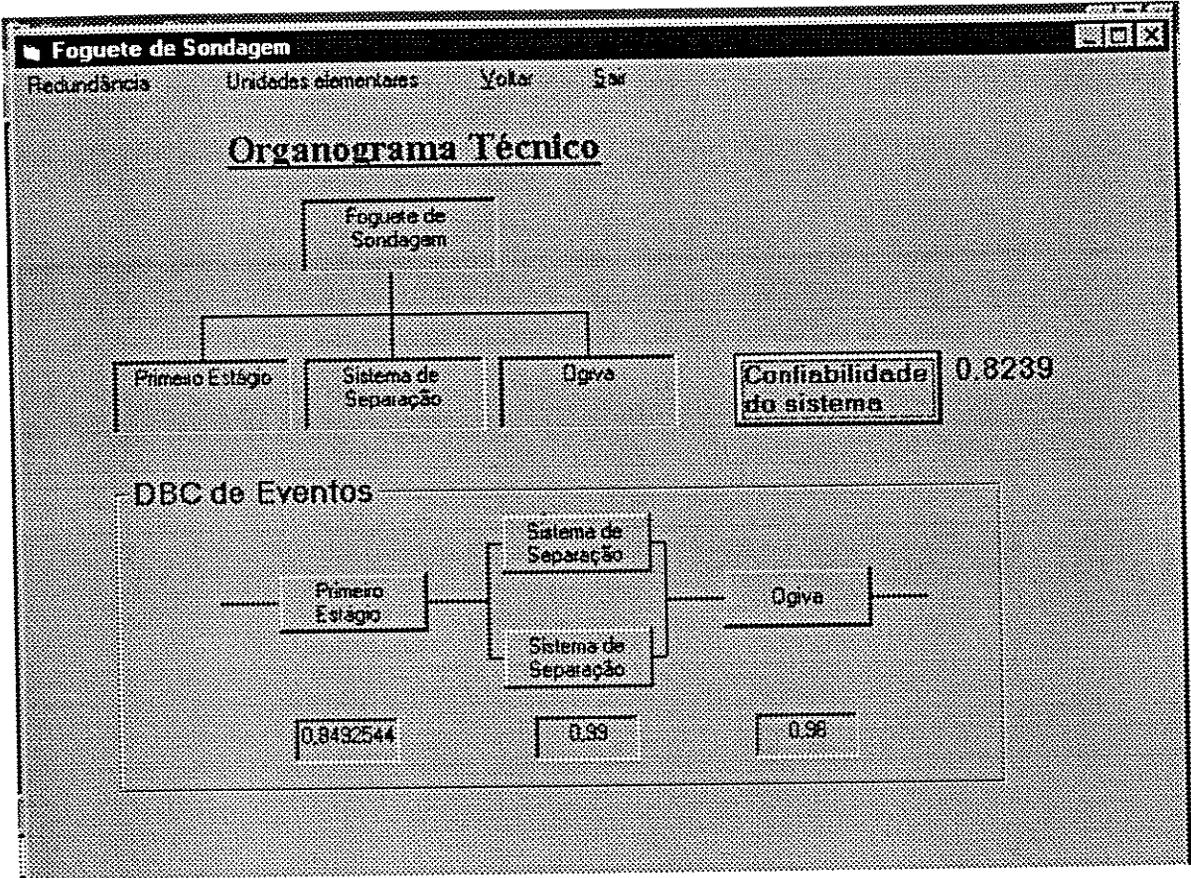
Cada subsistema pode ter até quatro unidades elementares. É necessário colocar o nome das unidades elementares, de uma até quatro para cada subsistema, e, para cada unidade elementar, preencher o valor da confiabilidade, a quantidade e a disposição, série ou paralelo.



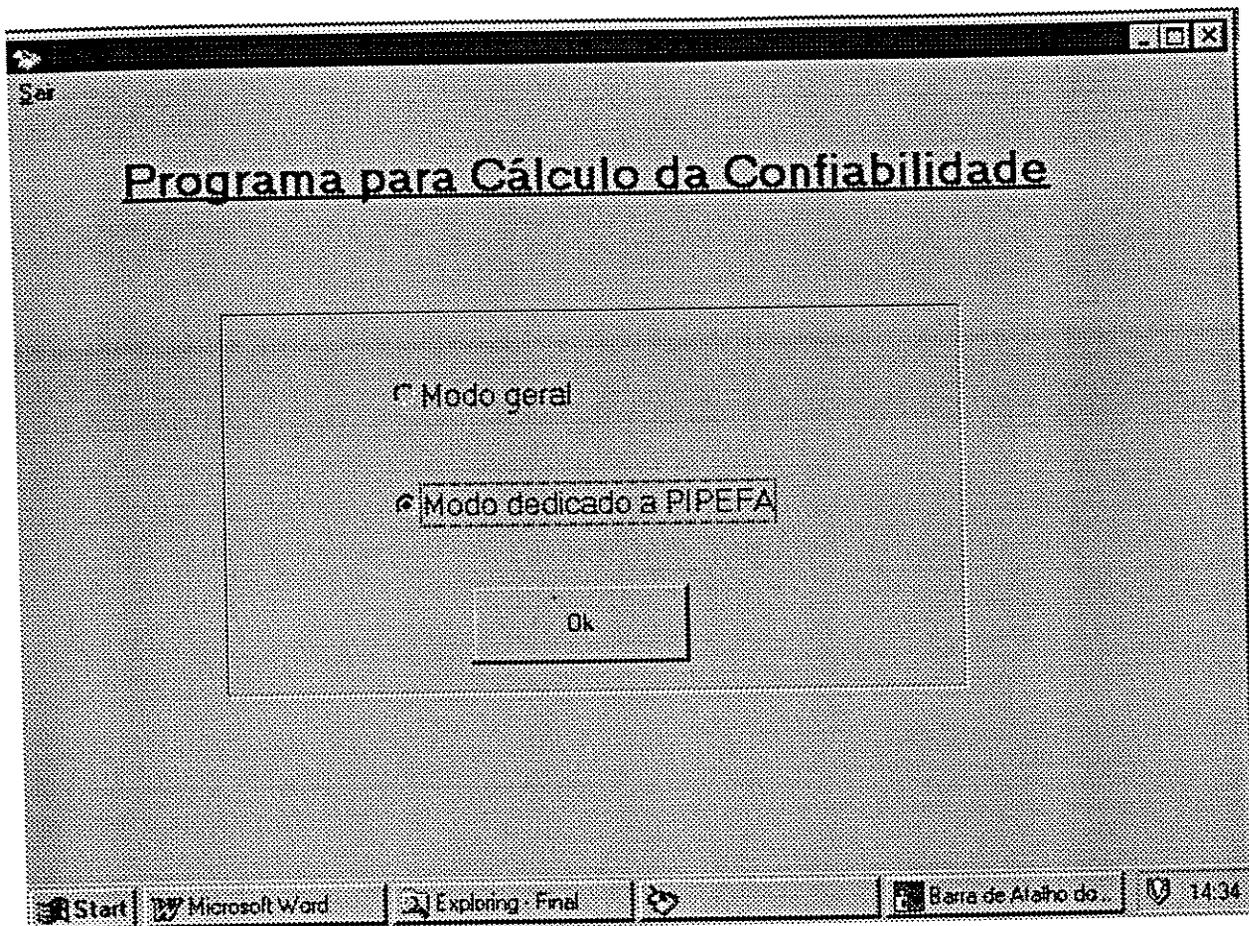
Somente após calculada a confiabilidade de cada subsistema, é possível obter a confiabilidade do sistema.



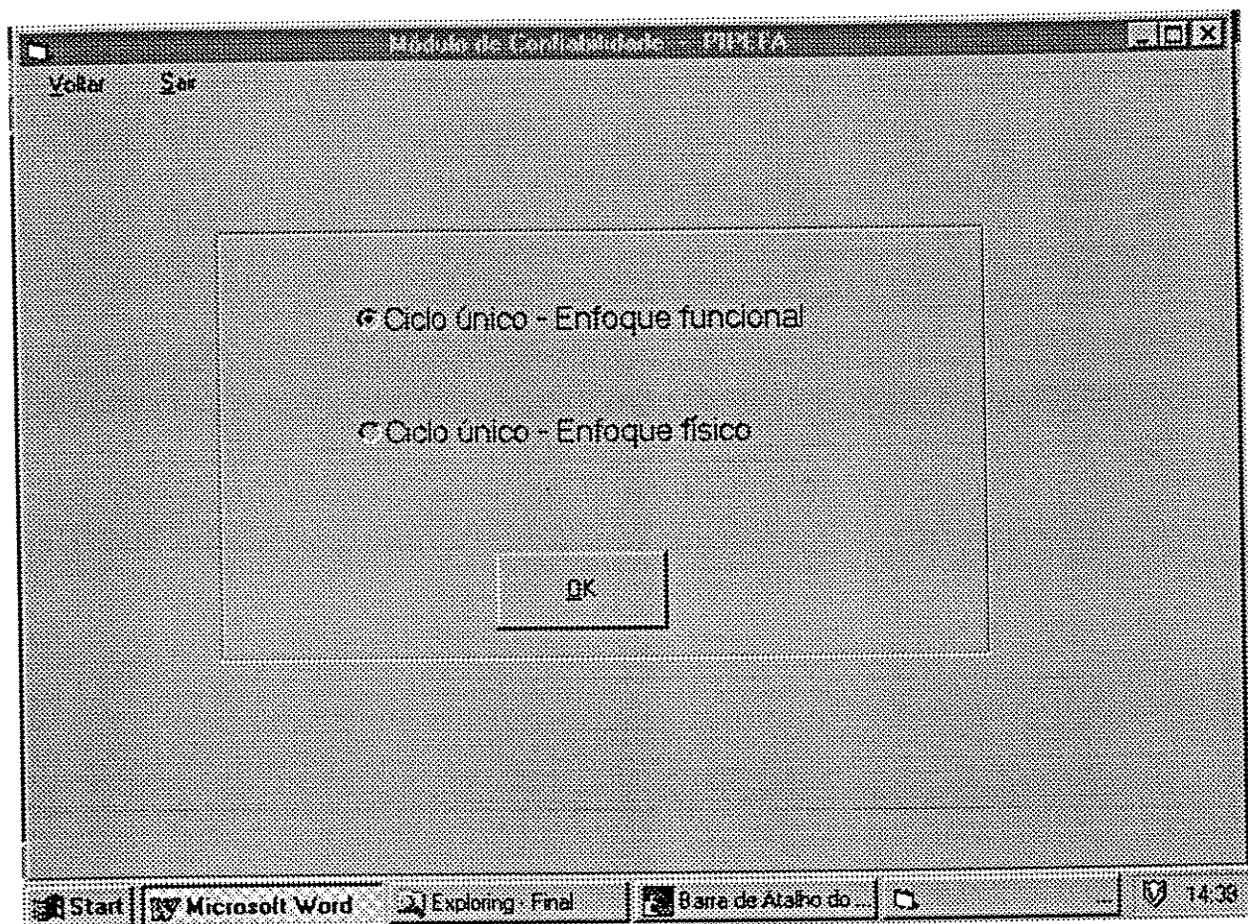
Acesso à opção de redundância de cada subsistema.



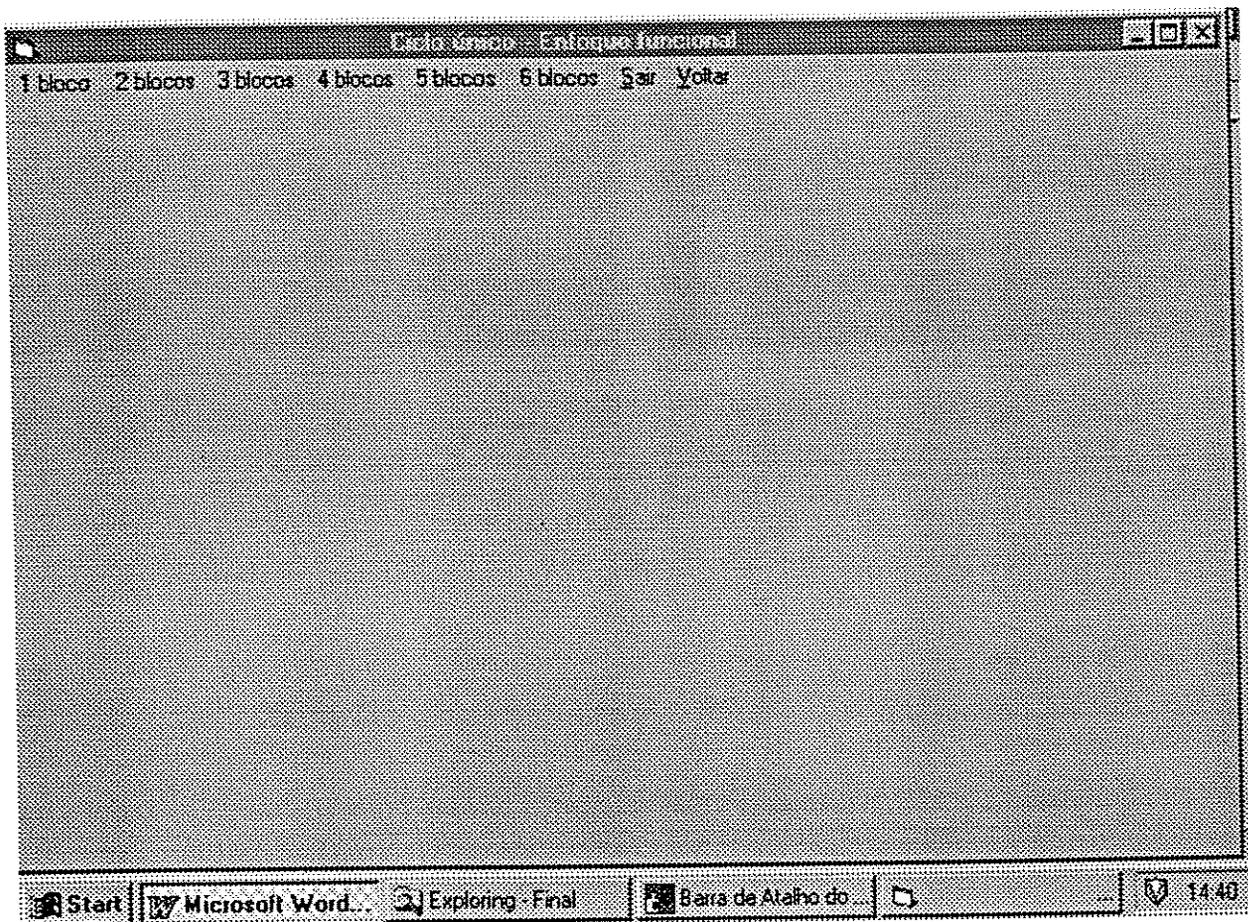
Cálculo da confiabilidade do sistema com subsistema redundante.



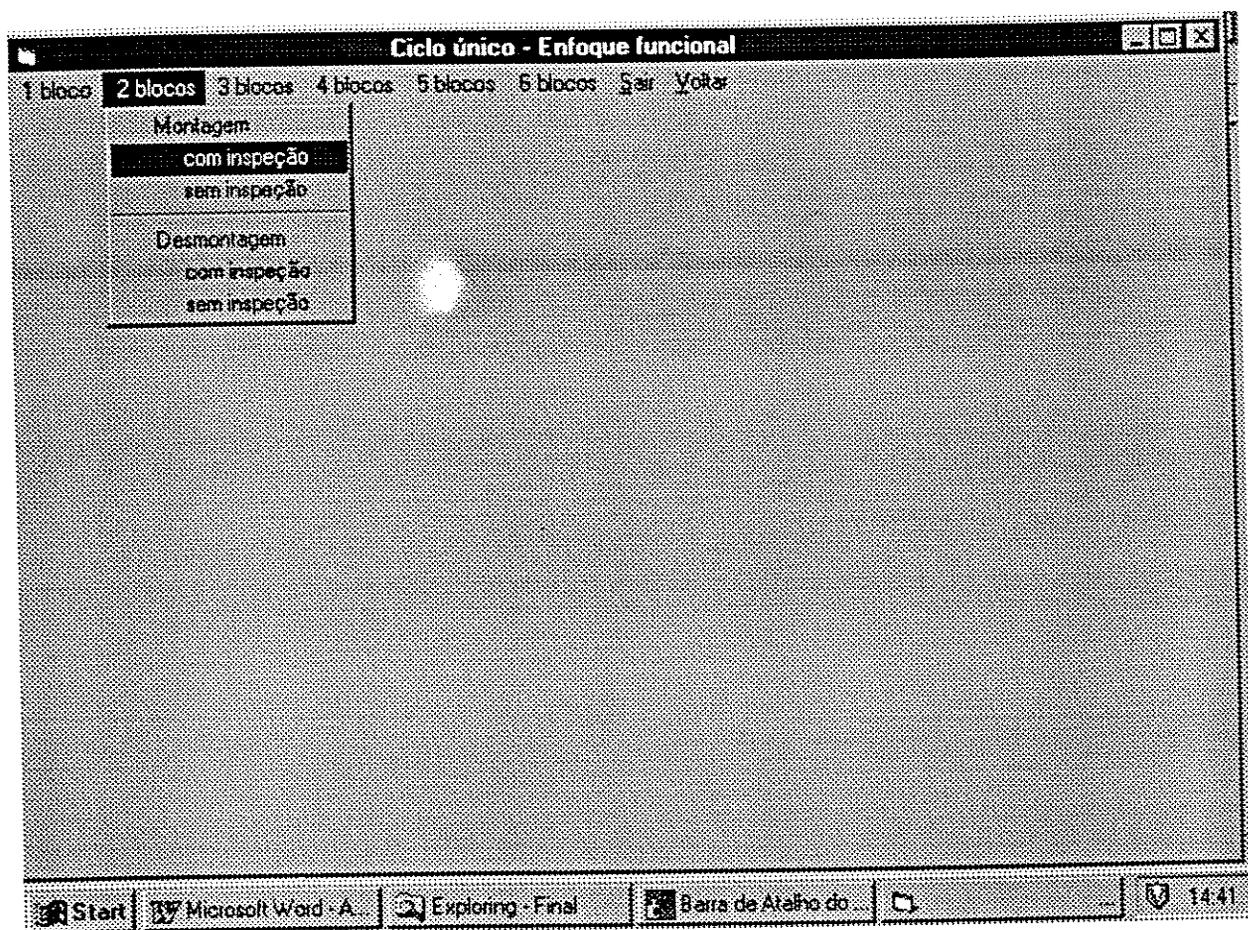
Novamente, iniciando o cálculo da confiabilidade, porém no modo dedicado à PIPEFA.



Opção pelo modo Enfoque funcional.



O usuário deverá optar pela opção de 1 à 6 blocos.



Para qualquer quantidade de blocos selecionada, o usuário poderá optar pela montagem ou desmontagem e inclusão ou não do Posto de Inspeção no ciclo.



**Unidades Elementares - Posto de Carregamento**

Votar

```

graph TD
    PC[Posto de Carregamento] --> PO[Parte Operativa]
    PC --> PCnt[Parte de Controle]
    PO --> SI[Sensor indutivo (1)]
    PO --> AP[Atuador pneumático (4)]
    PCnt --> PE[Parte elétrica]
    PCnt --> CLP[CLP]
  
```

Conf. (po) =

Conf. (pc) =

Conf. (P. Ca.) =

**Atuador pneumático**

Atua. pneum. padrão

**Transdutor indutivo**

Sensor ind. +

**Parte elétrica**

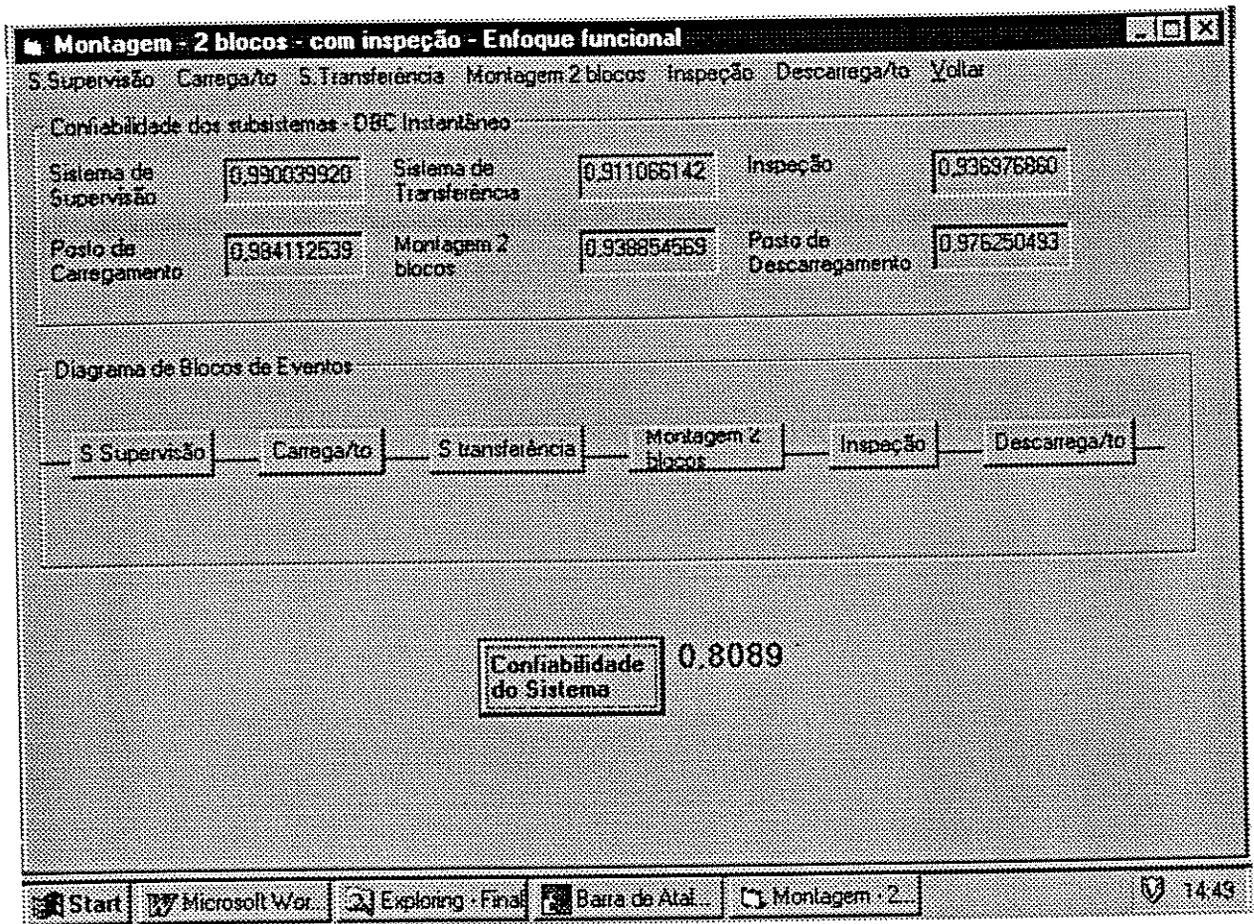
CLP padrão

**CLP**

Parte elét. padrão

Start | Microsoft Wor... | Exploring - Final... | Barra de Atal... | Montagem - 2... | Unidades Ele... | 14:45

Tela de acesso ao banco de dados que contém as unidades elementares que compõem cada posto existente na PIPEFA.



Depois de calculada a confiabilidade de todos os postos, a confiabilidade do sistema pode ser calculada.

**Montagem - 2 blocos - com inspeção - Enfoque funcional**

S. Supervisão Carrega/fo S. Transferência **Montagem 2 blocos** Inspeção Descarrega/fo Voltar

Confiabilidade dos subsistemas - DBC Instalar **Mostrar U.E**

Sistema de Supervisão	0.930339520	Sistema Transf	<b>colocar redundância</b> retirar redundância	Inspeção	0.936976860
Posto de Carregamento	0.984112539	Montagem 2 blocos	0.938854569	Posto de Descarregamento	0.976250493

Diagrama de Blocos de Eventos

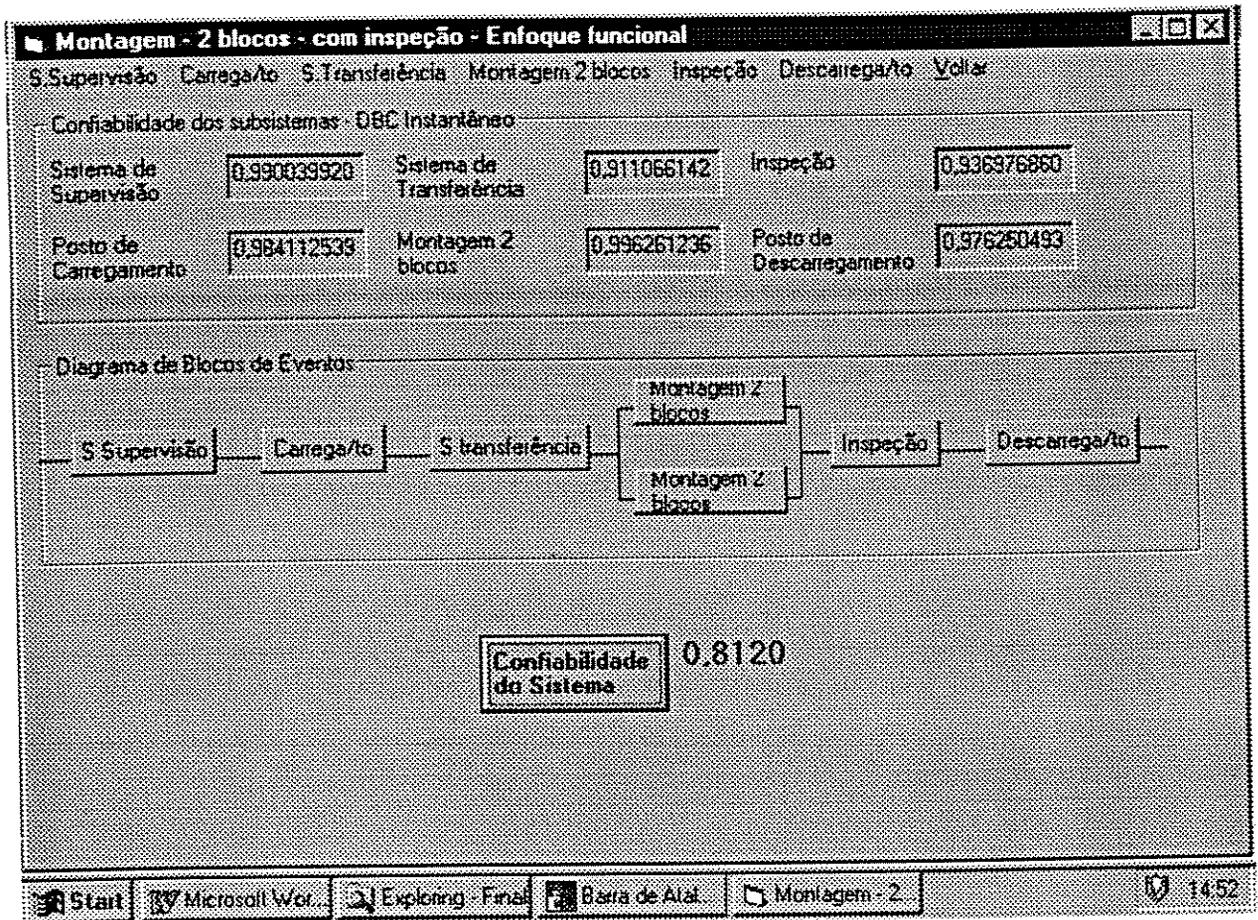
```

graph LR
    A[S. Supervisão] --- B[Carrega/fo]
    B --- C[S. Transferência]
    C --- D[Montagem 2 blocos]
    D --- E[Inspeção]
    E --- F[Descarrega/fo]
  
```

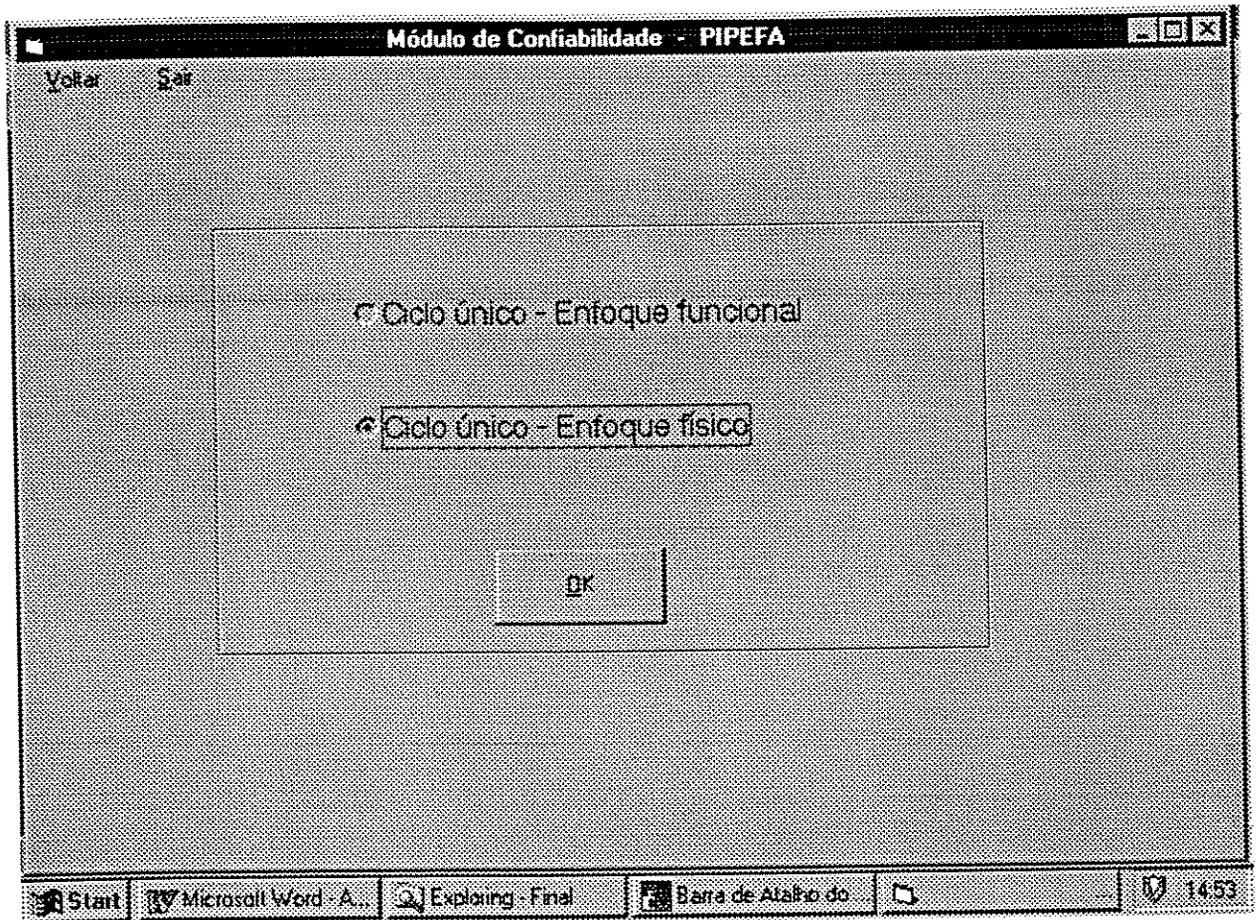
**Confiabilidade do Sistema** 0.8089

Start Microsoft Wor... Exploring - Final Barra de Atal... Montagem - 2... 14:51

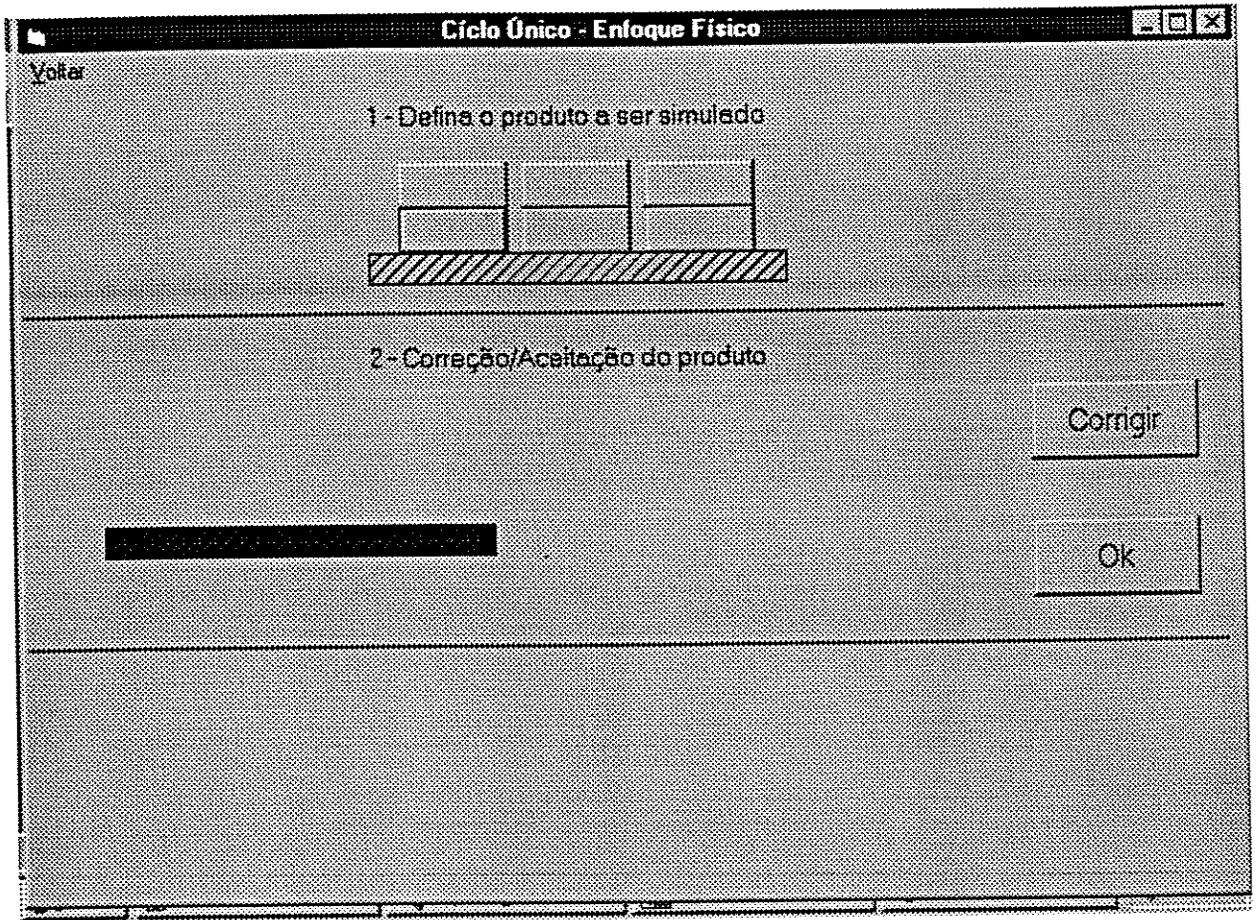
Acesso à opção de colocar redundância em cada posto.



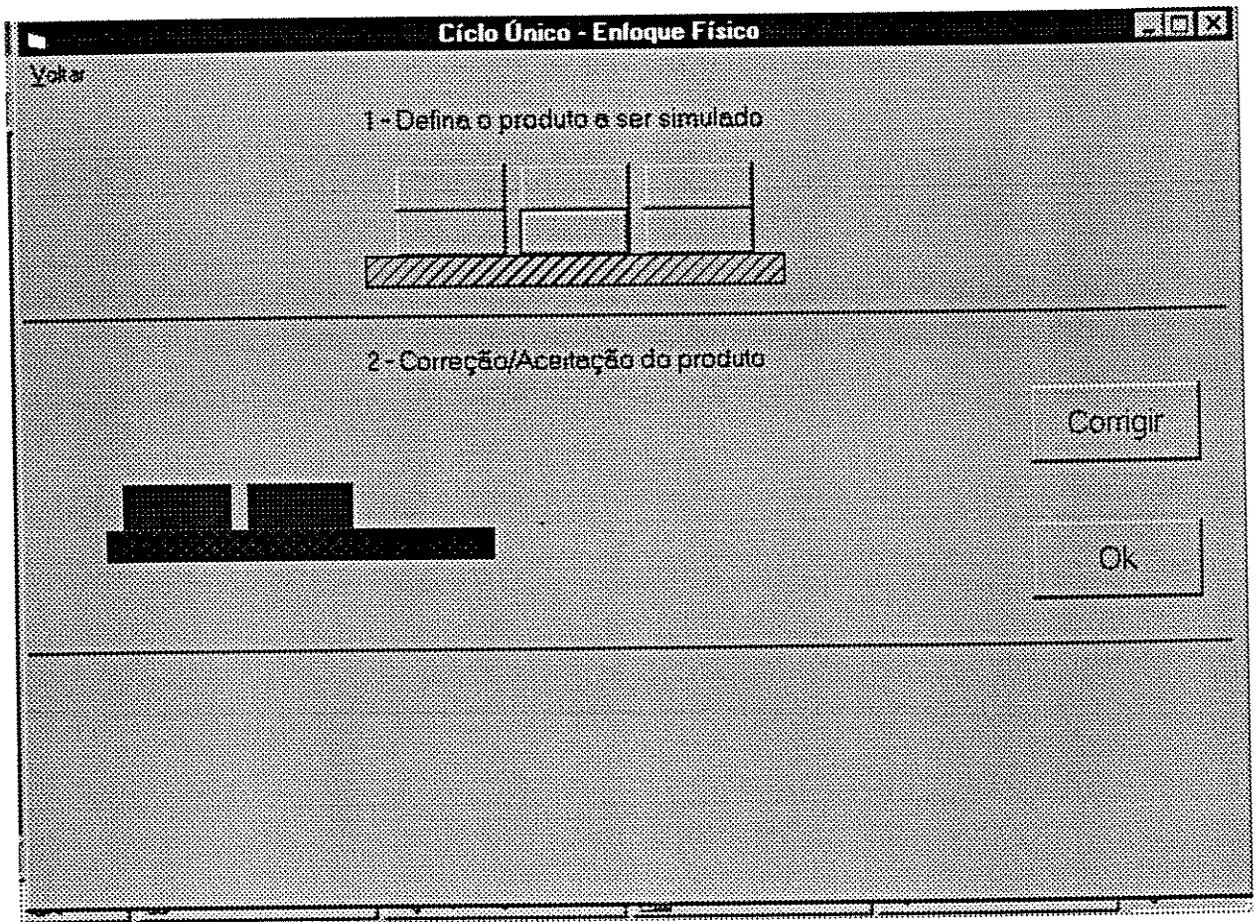
Cálculo da confiabilidade do sistema, incluindo a redundância do posto.



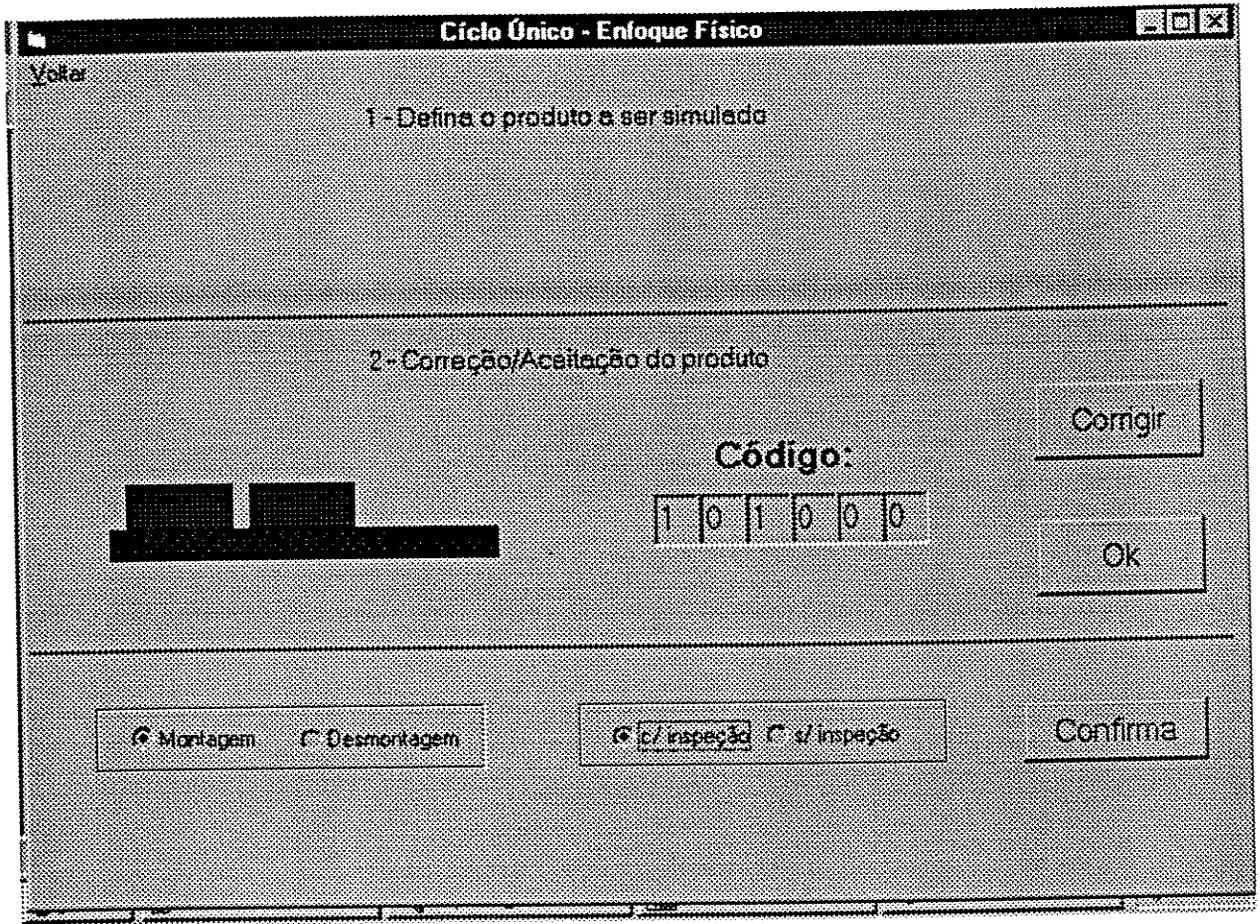
Modo dedicado à PIPEFA, opção enfoque físico.



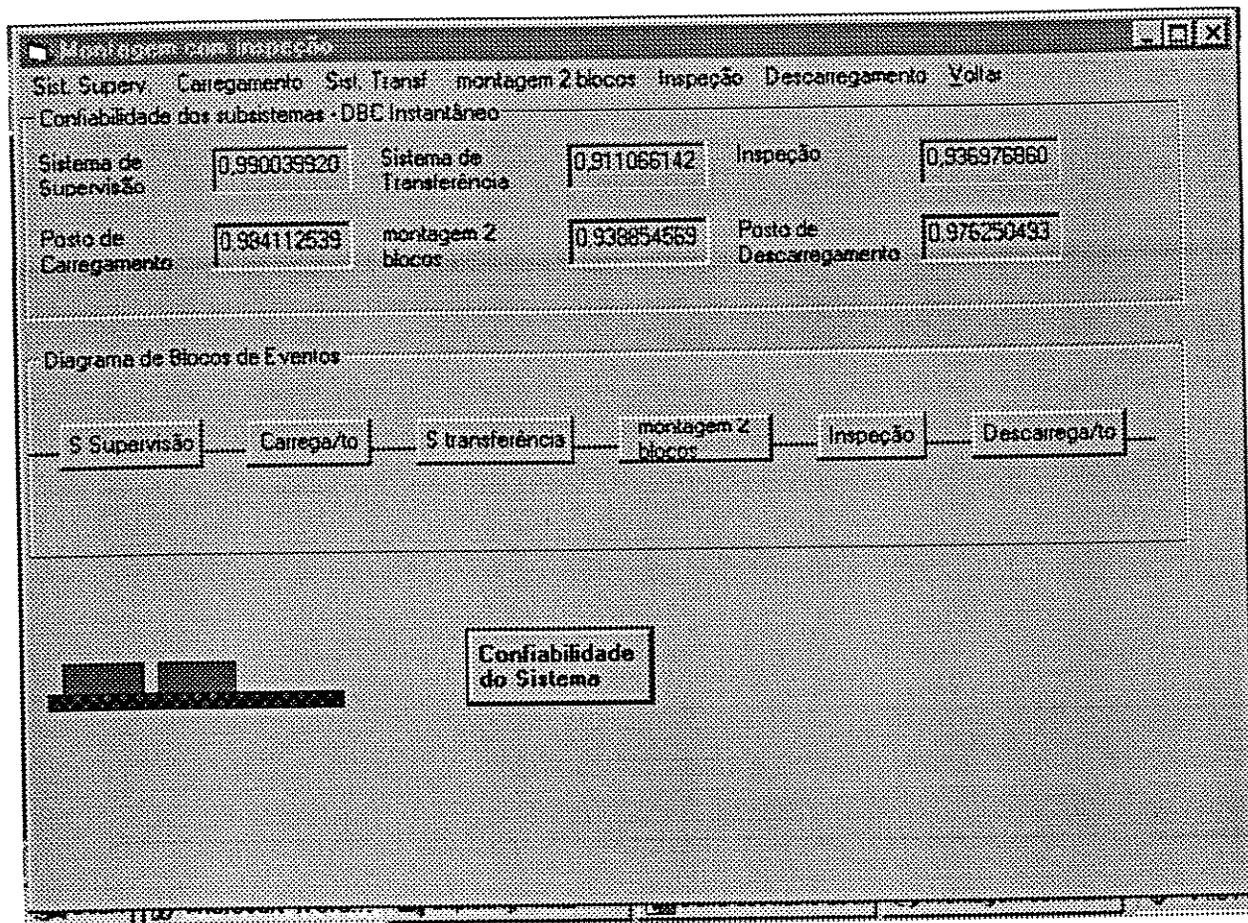
Tela para o usuário definir o produto que será simulado. A definição é feita através de click em cada bloco que fará parte do produto.



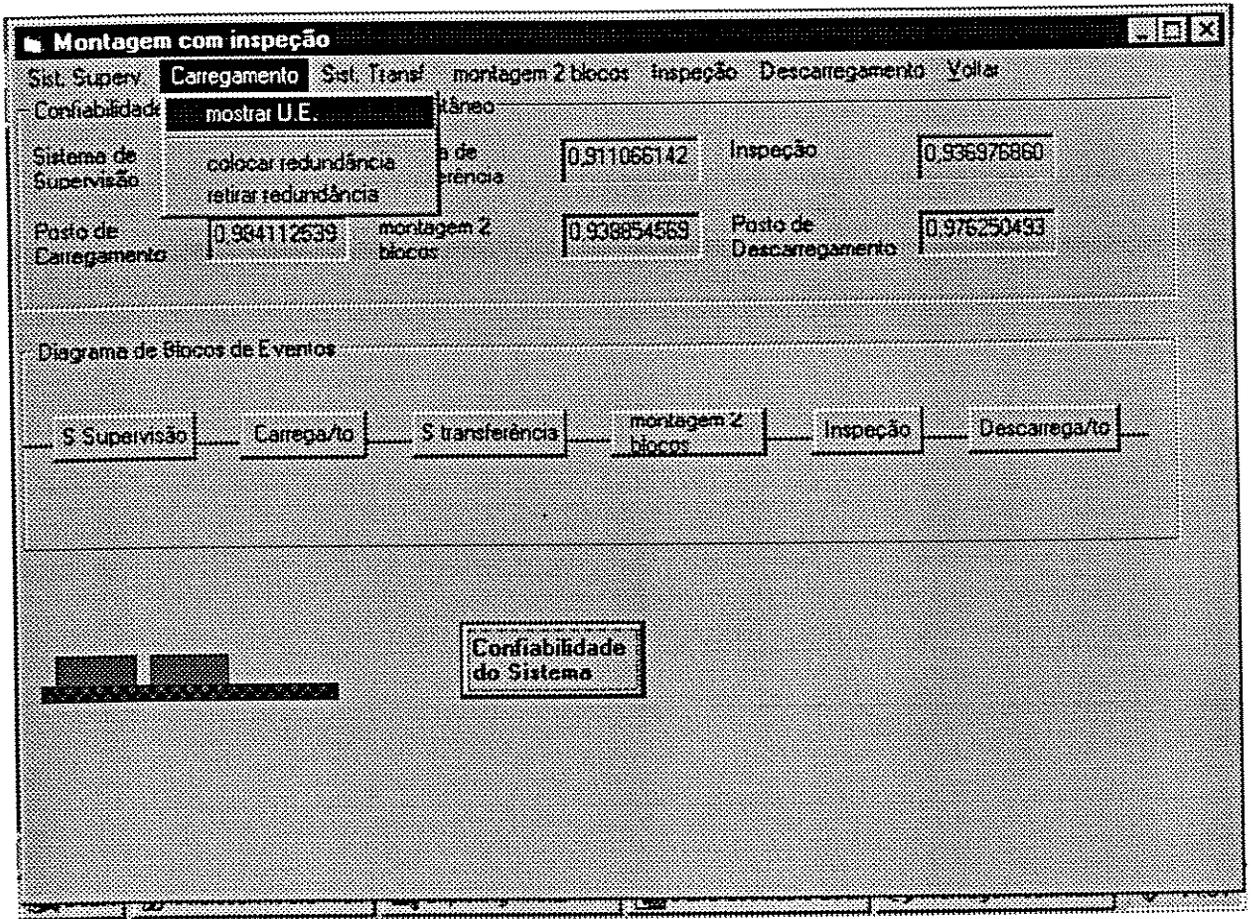
Produto composto por dois blocos. Um bloco na posição central e outro na posição lateral esquerda.



Uma vez aceito o produto, seu código irá aparecer e também as opções de montagem ou desmontagem e de inclusão ou não do Posto de Inspeção.



Para cálculo da confiabilidade do sistema é necessário definir as unidades elementares de cada posto.



Acesso às unidades elementares de cada subsistema.

**Unidades Elementares - Posto de Carregamento**

Yotar

```

graph TD
    Root[Posto de Carregamento] --> PO[Parte Operativa]
    Root --> PC[Parte de Controle]
    PO --> SI[Sensor indutivo (1)]
    PO --> AP[Atuador pneumático (4)]
    PC --> PE[Parte elétrica]
    PC --> CLP[CLP]
  
```

Conf. (po) =       Conf. (pc) =

Conf.(P.Ca.) =

**Atuador pneumático**

Atua pneum padrão

**Transdutor indutivo**

Sensor ind +

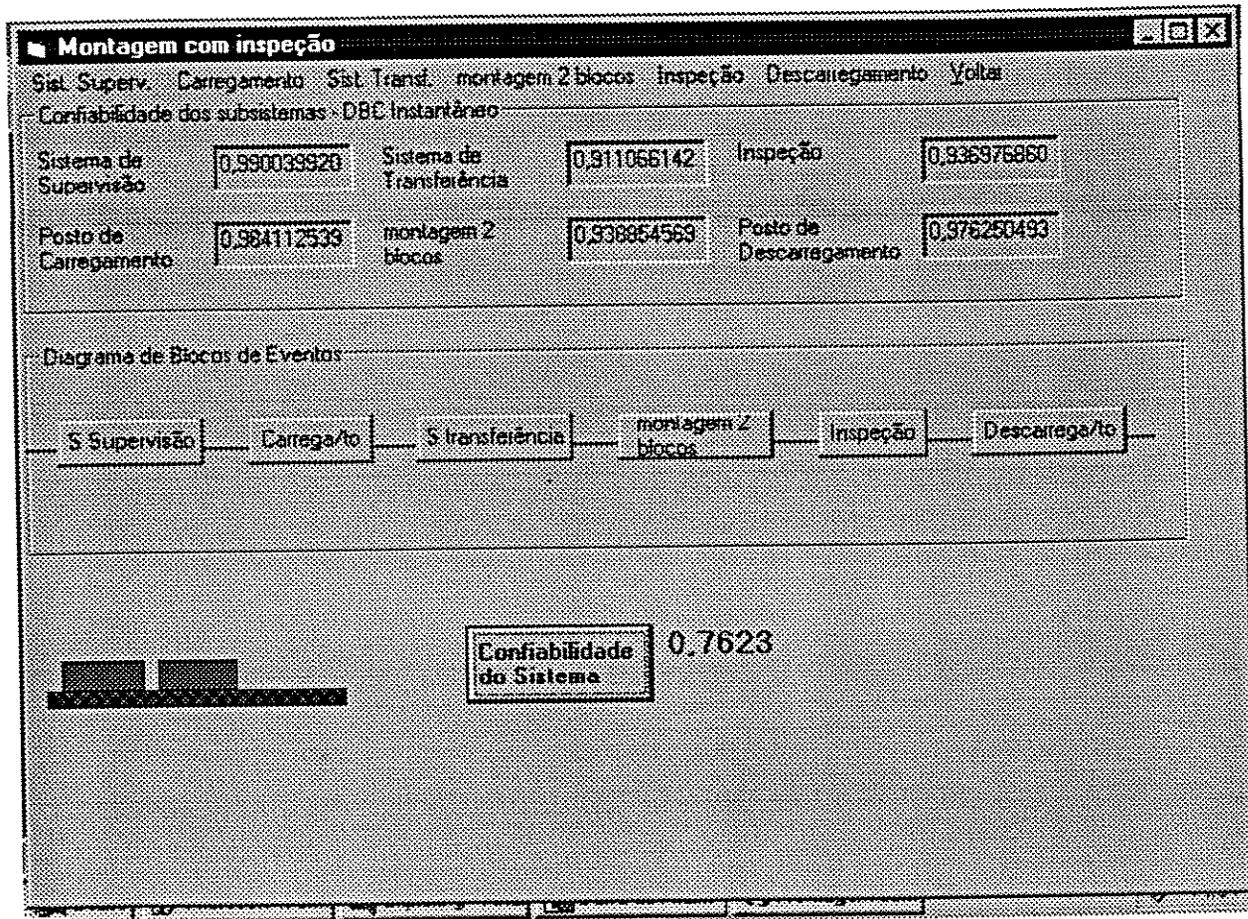
**Parte elétrica**

CLP padrão

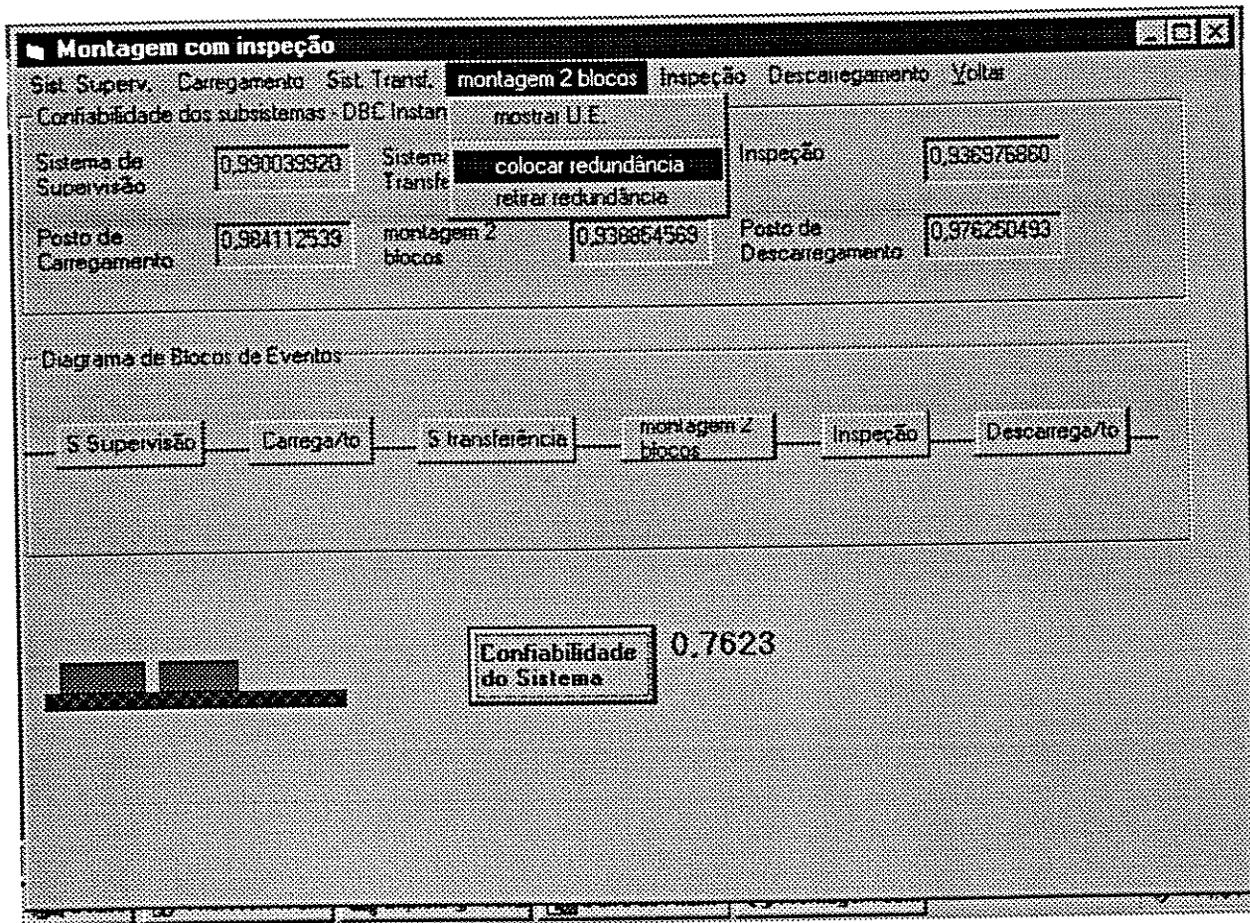
**CLP**

Parte elét padrão

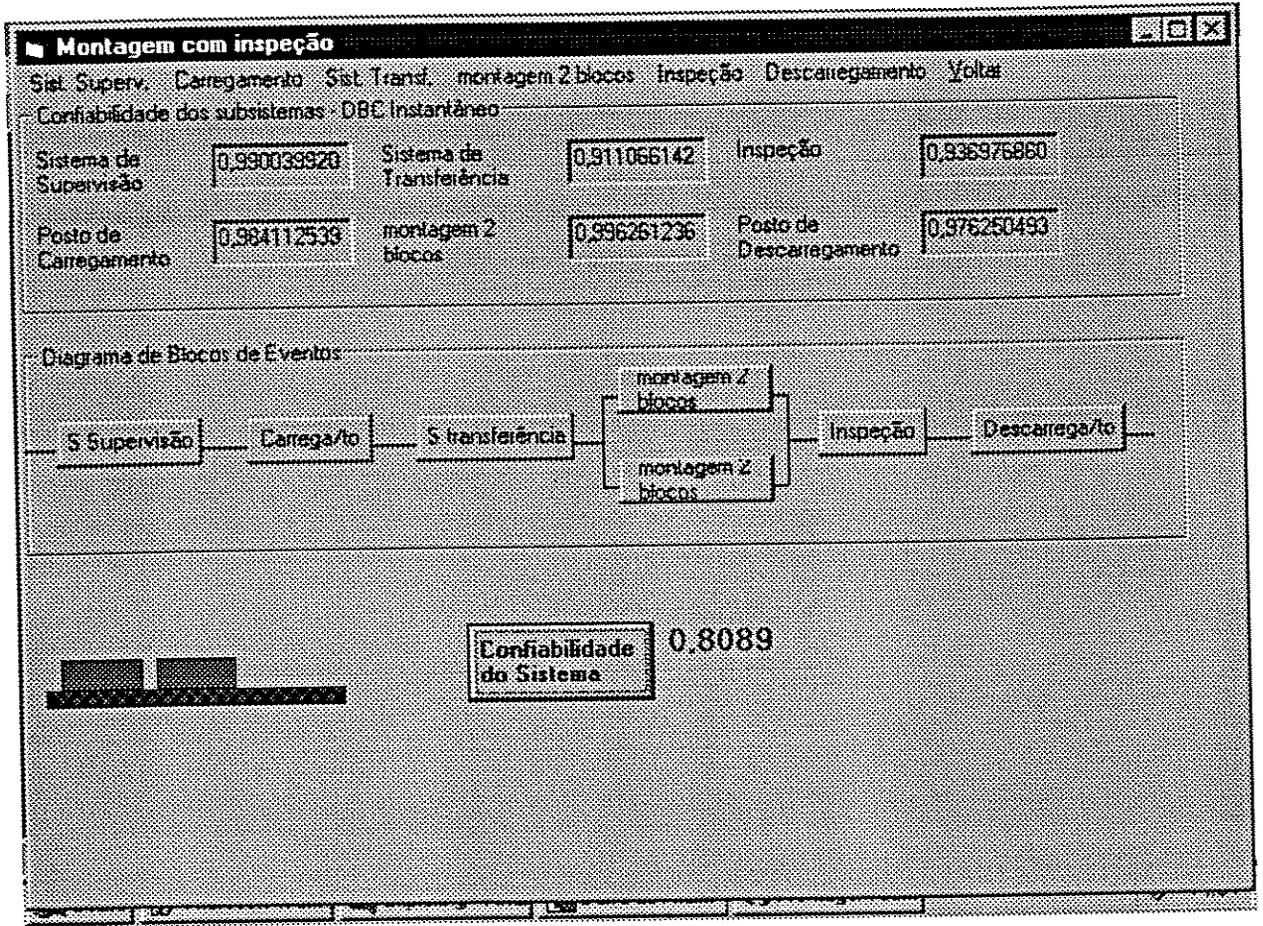
Definição das unidades elementares.



Confiabilidade do sistema.



Depois de calculada a confiabilidade do sistema, pode-se colocar redundância nos subsistemas.



Confiabilidade do sistema com redundância em um posto.

## Programação das principais telas.

## FoInG

```
Private Sub Command1_Click()
If Text1.Text = "" Then
MsgBox "É necessário colocar nome no Sistema", 0
Text1.SetFocus
Else
Label2.Visible = True
Text2.Visible = True
Text3.Visible = True
Text4.Visible = True
Text5.Visible = True
Text6.Visible = True
Command2.Visible = True
Text2.SetFocus
End If
End Sub
```

## FoInG2.1

```
Private Sub Command1_Click()
FoInG21.Hide
FoInG31.Show
FoInG31.Caption = FoInG21.Text1.Text
FoInG31.Text1.Text = FoInG21.Text1.Text
FoInG31.Text2.Text = FoInG21.Text2.Text
FoInG31.Text3.Text = FoInG21.Text3.Text
FoInG31.Command1.Caption = FoInG21.Text2.Text
FoInG31.Command2.Caption = FoInG21.Text2.Text
FoInG31.Command3.Caption = FoInG21.Text2.Text
FoInG31.Command4.Caption = FoInG21.Text3.Text
FoInG31.Command5.Caption = FoInG21.Text3.Text
FoInG31.Command6.Caption = FoInG21.Text3.Text
End Sub
```

## FoInG32

```
Private Sub Command10_Click()
If Text5.Text = "" Or Text6.Text = "" Or Text7.Text = "" Then
MsgBox "É necessário calcular a confiabilidade dos Subsistemas", 0
Else
Label2.Visible = True
n70 = Text5.Text
n80 = Text6.Text
n90 = Text7.Text
n708090 = (n70 * n80 * n90)
Label2.Caption = n708090
Label2.Caption = Format(Label2.Caption, "0,####")
End If
End Sub
```

End If

End Sub

## FoInG422

Private Sub Command1\_Click()

n1 = Val(Text6.Text)  
n2 = Val(Text7.Text)  
n3 = Val(Text8.Text)  
n4 = Val(Text9.Text)  
n5 = Val(Text10.Text)  
n6 = Val(Text11.Text)  
n7 = Val(Text12.Text)  
n8 = Val(Text13.Text)

If Option1.Value = True Then  
R211 = n1 \* n5  
End If

If Option2.Value = True Then  
R211 = (1 - ((1 - n1) ^ 2)) \* n5  
End If

If Option3.Value = True Then  
R211 = (1 - ((1 - n1) ^ 3)) \* n5  
End If

If Option4.Value = True Then  
R221 = n2 \* n6  
End If

If Option5.Value = True Then  
R221 = (1 - ((1 - n2) ^ 2)) \* n6  
End If

If Option6.Value = True Then  
R221 = (1 - ((1 - n2) ^ 3)) \* n6  
End If

If Option7.Value = True Then  
R231 = n3 \* n7  
End If

If Option8.Value = True Then  
R231 = (1 - ((1 - n3) ^ 2)) \* n7  
End If

If Option9.Value = True Then  
R231 = (1 - ((1 - n3) ^ 3)) \* n7  
End If

If Option10.Value = True Then  
R241 = n4 \* n8

End If

```
If Option11.Value = True Then
R241 = (1 - ((1 - n4) ^ 2)) * n8
End If
```

```
If Option12.Value = True Then
R241 = (1 - ((1 - n4) ^ 3)) * n8
End If
```

R2 = R211 \* R221 \* R231 \* R241

```
Text27.Text = R2
End Sub
```

### FoIni

Private Sub cmdOK\_Click()

```
FoPFcCQ.Text1.Text = ""
FoPFcCQ.Text2.Text = ""
FoPFcCQ.Text3.Text = ""
FoPFcCQ.Text4.Text = ""
FoPFcCQ.Text5.Text = ""
FoPFcCQ.Text6.Text = ""
FoPFcCQ.Label7.Caption = ""
```

```
FoPFsCQ.Text1.Text = ""
FoPFsCQ.Text2.Text = ""
FoPFsCQ.Text3.Text = ""
FoPFsCQ.Text4.Text = ""
FoPFsCQ.Text5.Text = ""
FoPFsCQ.Label6.Caption = ""
```

```
If Opt1.Value = True Then
    FoIni.Hide
    FoPFunc.Show
End If
```

```
If Opt2.Value = True Then
    FoIni.Hide
    Form2.Show
End If
```

```
FoPFcCQ.Command14.Visible = False
FoPFcCQ.Command13.Visible = False
FoPFcCQ.Command1.Visible = True
FoPFcCQ.Line19.Visible = False
FoPFcCQ.Line20.Visible = False
FoPFcCQ.Line21.Visible = False
FoPFcCQ.Line22.Visible = False
FoPFcCQ.Line23.Visible = False
FoPFcCQ.Line24.Visible = False
FoPFcCQ.Line53.Visible = False
FoPFcCQ.Line54.Visible = False
```

FoPFcCQ.Line53.Visible = True  
FoPFcCQ.Line54.Visible = True

FoPFcCQ.Command11.Visible = False  
FoPFcCQ.Command12.Visible = False  
FoPFcCQ.Command2.Visible = True  
FoPFcCQ.Line13.Visible = False  
FoPFcCQ.Line14.Visible = False  
FoPFcCQ.Line15.Visible = False  
FoPFcCQ.Line16.Visible = False  
FoPFcCQ.Line17.Visible = False  
FoPFcCQ.Line18.Visible = False  
FoPFcCQ.Line52.Visible = True  
FoPFcCQ.Line51.Visible = True

FoPFcCQ.Command10.Visible = False  
FoPFcCQ.Command15.Visible = False  
FoPFcCQ.Command5.Visible = True  
FoPFcCQ.Line27.Visible = False  
FoPFcCQ.Line28.Visible = False  
FoPFcCQ.Line29.Visible = False  
FoPFcCQ.Line31.Visible = False  
FoPFcCQ.Line32.Visible = False  
FoPFcCQ.Line33.Visible = False  
FoPFcCQ.Line53.Visible = True  
FoPFcCQ.Line54.Visible = True  
FoPFcCQ.Line49.Visible = True  
FoPFcCQ.Line50.Visible = True

FoPFcCQ.Command8.Visible = False  
FoPFcCQ.Command9.Visible = False  
FoPFcCQ.Command3.Visible = True  
FoPFcCQ.Line7.Visible = False  
FoPFcCQ.Line8.Visible = False  
FoPFcCQ.Line9.Visible = False  
FoPFcCQ.Line10.Visible = False  
FoPFcCQ.Line11.Visible = False  
FoPFcCQ.Line12.Visible = False  
FoPFcCQ.Line47.Visible = True  
FoPFcCQ.Line48.Visible = True

FoPFcCQ.Command16.Visible = False  
FoPFcCQ.Command18.Visible = False  
FoPFcCQ.Command17.Visible = True  
FoPFcCQ.Line25.Visible = False  
FoPFcCQ.Line26.Visible = False  
FoPFcCQ.Line30.Visible = False  
FoPFcCQ.Line34.Visible = False  
FoPFcCQ.Line35.Visible = False  
FoPFcCQ.Line36.Visible = False  
FoPFcCQ.Line45.Visible = True  
FoPFcCQ.Line46.Visible = True

FoPFcCQ.Command7.Visible = False  
FoPFcCQ.Command6.Visible = False  
FoPFcCQ.Command4.Visible = True  
FoPFcCQ.Line1.Visible = False  
FoPFcCQ.Line2.Visible = False

FoPFcCQ.Line3.Visible = False  
FoPFcCQ.Line4.Visible = False  
FoPFcCQ.Line5.Visible = False  
FoPFcCQ.Line6.Visible = False  
FoPFcCQ.Line43.Visible = True  
FoPFcCQ.Line44.Visible = True

FoPFsCQ.Command12.Visible = False  
FoPFsCQ.Command13.Visible = False  
FoPFsCQ.Command1.Visible = True  
FoPFsCQ.Line19.Visible = False  
FoPFsCQ.Line20.Visible = False  
FoPFsCQ.Line21.Visible = False  
FoPFsCQ.Line22.Visible = False  
FoPFsCQ.Line23.Visible = False  
FoPFsCQ.Line24.Visible = False  
FoPFsCQ.Line35.Visible = True  
FoPFsCQ.Line34.Visible = True

FoPFsCQ.Command10.Visible = False  
FoPFsCQ.Command11.Visible = False  
FoPFsCQ.Command2.Visible = True  
FoPFsCQ.Line13.Visible = False  
FoPFsCQ.Line14.Visible = False  
FoPFsCQ.Line15.Visible = False  
FoPFsCQ.Line16.Visible = False  
FoPFsCQ.Line17.Visible = False  
FoPFsCQ.Line18.Visible = False  
FoPFsCQ.Line36.Visible = True  
FoPFsCQ.Line37.Visible = True

FoPFsCQ.Command14.Visible = False  
FoPFsCQ.Command15.Visible = False  
FoPFsCQ.Command5.Visible = True  
FoPFsCQ.Line27.Visible = False  
FoPFsCQ.Line28.Visible = False  
FoPFsCQ.Line29.Visible = False  
FoPFsCQ.Line31.Visible = False  
FoPFsCQ.Line32.Visible = False  
FoPFsCQ.Line33.Visible = False  
FoPFsCQ.Line38.Visible = True  
FoPFsCQ.Line39.Visible = True

FoPFsCQ.Command8.Visible = False  
FoPFsCQ.Command9.Visible = False  
FoPFsCQ.Command3.Visible = True  
FoPFsCQ.Line7.Visible = False  
FoPFsCQ.Line8.Visible = False  
FoPFsCQ.Line9.Visible = False  
FoPFsCQ.Line10.Visible = False  
FoPFsCQ.Line11.Visible = False  
FoPFsCQ.Line12.Visible = False  
FoPFsCQ.Line40.Visible = True  
FoPFsCQ.Line41.Visible = True

FoPFsCQ.Command6.Visible = False  
FoPFsCQ.Command7.Visible = False  
FoPFsCQ.Command4.Visible = True

```
FoPFsCQ.Line1.Visible = False
FoPFsCQ.Line2.Visible = False
FoPFsCQ.Line3.Visible = False
FoPFsCQ.Line4.Visible = False
FoPFsCQ.Line5.Visible = False
FoPFsCQ.Line6.Visible = False
FoPFsCQ.Line42.Visible = True
FoPFsCQ.Line43.Visible = True
```

End Sub

### **FoUEsIn**

```
Private Sub Command4_Click()
```

```
a = Text2.Text
b = Text4.Text
c = Text7.Text
d = (a ^ 13) * (b ^ 6) * c
Text5.Text = d
```

End Sub

### **Modulo1**

```
Global n1312
Global n2312
Global n51
Global n52
Global n53
Global n54
Global n55
Global n41
Global n42
Global n43
Global n44
Global n31
Global n32
Global n33
Global n21
Global n22
Global RSCCQ
Global RSCCQ1
Global RSCCQ2
Global RSCCQ3
Global RSCCQ4
Global RSCCQ5
Global RSCCQ6
Global RSSCQ
Global RSSCQ1
Global RSSCQ2
Global RSSCQ3
Global RSSCQ4
```

Global RSCQ5  
Global RSSCQ6