



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA A MELHORIA  
DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO MEDIANTE A ANÁLISE  
DE DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS**

**JOSÉ CARLOS FURMANN**

**FLORIANÓPOLIS**

**2002**

**JOSÉ CARLOS FURMANN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA A MELHORIA  
DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO MEDIANTE A ANÁLISE  
DE DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Osmar Possamai, Dr.

**FLORIANÓPOLIS**

**2002**

**JOSÉ CARLOS FURMANN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA A MELHORIA  
DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO MEDIANTE A ANÁLISE  
DE DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 26 de novembro de 2002.

---

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.  
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:

---

Prof. Osmar Possamai, Dr.  
Orientador

---

Prof. Francisco José Kliemann Neto, Dr.

---

Prof. Paulo Maurício Selig, Dr.

Dedico este trabalho  
à minha esposa Eunice  
e aos meus filhos Diogo e Giuliano.

## **AGRADECIMENTOS**

Manifesto minha gratidão às pessoas e instituições que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, em especial:

À Itaipu Binacional pelo suporte, fator decisivo para a viabilização deste trabalho;

À Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ato contínuo de busca pela excelência no ensino;

Ao Professor Osmar Possamai, pela orientação precisa e dedicação destinada;

Aos Professores Francisco José Kliemann Neto e Paulo Maurício Selig, pelas sugestões e participação da banca examinadora;

Aos colegas Eduardo Moreira, Elias Benedito Pereira e Carlos Alberto Lima e Silva, pelas espontâneas contribuições;

Aos colegas Valdecyr Araujo Silva, Fernando Lopes Neto e Luiz Francisco Giacomet pelo solícito apoio na montagem deste trabalho;

À minha família, pela compreensão e amor durante as constantes ausências.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>12</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>13</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 Problema de Pesquisa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2 Objetivos do Trabalho</b> .....	<b>17</b>
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>1.3 Justificativas para o Desenvolvimento</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4 Escopo do Trabalho</b> .....	<b>19</b>
<b>1.5 Resultados Esperados</b> .....	<b>20</b>
<b>1.6 Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 Definições de Manutenção</b> .....	<b>23</b>
2.1.1 Tipos de Manutenção .....	24
2.1.2 Manutenção Como Visão de Qualidade .....	26
2.1.3 Manutenção Como Visão de Produtividade .....	27
2.1.4 Manutenção Como Visão de Competitividade.....	29
2.1.5 Manutenção Como Fonte de Resultados Empresariais .....	29
<b>2.2 Ambiente para Análise de Desempenho de Equipamentos</b> .....	<b>31</b>
2.2.1 O Analista de Manutenção .....	32
2.2.2 Engenharia de Manutenção.....	32
2.2.3 Modelos de Melhoria do Processo de Manutenção Mediante a Análise de Desempenho de Equipamentos .....	38

<b>2.3 Gestão da Análise de Desempenho de Equipamentos .....</b>	<b>46</b>
2.3.1 Gestão dos Processos que Suportam à Análise de Desempenho de Equipamentos.....	47
2.3.2 Gestão da Informação Destinada à Análise de Desempenho de Equipamentos.....	51
2.3.3 Gestão dos Procedimentos de Manutenção que Viabilizam a Análise de Desempenho de Equipamentos .....	55
2.3.4 Gestão da Qualidade Implícita à Análise de Desempenho de Equipamentos.....	61
2.3.5 Gestão dos Custos de Manutenção de Equipamentos.....	65
<b>CAPÍTULO 3 O FERRAMENTAL.....</b>	<b>67</b>
<b>3.1 Ferramentas Destinadas à Organização Funcional dos Equipamentos .....</b>	<b>67</b>
3.1.1 Risco de Falhas.....	67
3.1.2 Técnica de Codificação de Equipamentos .....	68
<b>3.2 Ferramentas Destinadas à Elaboração dos Procedimentos para Manutenção dos Equipamentos.....</b>	<b>69</b>
3.2.1 Manutenção Centrada em Confiabilidade .....	69
3.2.2 Análise Preliminar de Risco.....	72
3.2.3 Técnica de Padronização de Atividade de Manutenção.....	75
<b>3.3 Ferramenta Destinada à Execução da Manutenção de Equipamentos.....</b>	<b>76</b>
<b>3.4 Ferramenta Destinada ao Armazenamento de Dados de Equipamentos ....</b>	<b>76</b>
<b>3.5 Ferramentas para o Tratamento de Dados de Equipamentos .....</b>	<b>77</b>
3.5.1 Gráfico de Controle .....	77
3.5.2 Gráfico de Pareto .....	77
3.5.3 Diagrama de Causa e Efeito.....	78
3.5.4 <i>Activity Based Costing</i> .....	78
3.5.5 Taxa de Valor Agregado.....	80
3.5.6 Método para Cálculo da Vida Útil .....	82
<b>3.6 Considerações .....</b>	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO 4 MODELO PROPOSTO.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1 O Modelo para a Melhoria Contínua do Processo de Manutenção .....</b>	<b>84</b>

<b>4.2 O Detalhamento das Fases do Modelo Proposto .....</b>	<b>85</b>
4.2.1 Fase 1 – Identificar os Objetivos Estratégicos da Manutenção .....	85
4.2.2 Fase 2 – Determinar a Criticidade do Equipamento .....	88
4.2.3 Fase 3 – Estabelecer Parâmetros para a Análise do Processo de Manutenção.....	89
4.2.4 Fase 4 – Identificar os Indicadores de Disponibilidade.....	96
4.2.5 Fase 5 – Identificar os Indicadores de Custos.....	99
4.2.6 Fase 6 – Analisar o Desempenho de Equipamentos.....	99
4.2.7 Fase 7 – Estabelecer Metas para os Indicadores de Disponibilidade .....	101
4.2.8 Fase 8 – Estabelecer Metas para os Indicadores de Custos .....	101
4.2.9 Fase 9 – Determinar Oportunidades de Melhoria no Processo de Manutenção.....	102
4.2.10 Fase 10 – Priorizar Oportunidades de Melhoria .....	103
4.2.11 Fase 11 – Gerar Soluções.....	104
4.2.12 Fase 12 – Implantar Plano de Ação .....	104
4.2.13 Fase 13 – Acompanhar o Desempenho das Soluções.....	104
<b>4.3 Condições para Aplicação do Modelo .....</b>	<b>104</b>
<b>CAPÍTULO 5 APLICAÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>106</b>
<b>5.1 Local de Aplicação .....</b>	<b>106</b>
<b>5.2 Descrição da Aplicação .....</b>	<b>106</b>
5.2.1 Fase 1 – Identificar os Objetivos Estratégicos da Manutenção .....	107
5.2.2 Fase 2 – Determinar a Criticidade de Equipamentos .....	107
5.2.3 Fase 3 – Estabelecimento de Parâmetros para a Análise do Processo de Manutenção.....	111
5.2.4 Fase 4 – Identificação dos Indicadores de Disponibilidade .....	123
5.2.5 Fase 5 – Identificação dos Indicadores de Custos .....	124
5.2.6 Fase 6 – Analisar o Desempenho de Equipamentos.....	124
5.2.7 Fase 7 – Estabelecimento de Metas para os Indicadores de Disponibilidade .....	125
5.2.8 Fase 8 – Estabelecimento de Metas para os Indicadores de Custos .....	126
5.2.9 Fase 9 – Determinação das Oportunidades de Melhoria no Processo de Manutenção.....	126



5.2.10 Considerações Sobre as Demais Fases .....	126
<b>5.3 Considerações Sobre a Aplicação .....</b>	<b>127</b>
<b>CAPÍTULO 6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>129</b>
<b>6.1 Conclusões .....</b>	<b>129</b>
<b>6.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros .....</b>	<b>130</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>132</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>139</b>
ANEXO A - Instrução de desmontagem e montagem do servomotor da tomada d'água (parcial). .....	143
ANEXO B - Inspeção anual da U05 (linha crítica).....	147

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma Lógico para Escolha do Tipo de Manutenção.....	25
Figura 2.2 - Ramos de Estudos da Mantenabilidade Enfocando a Disponibilidade .	28
Figura 2.3 - Organização da Engenharia de Manutenibilidade .....	33
Figura 2.4 - Organização da Engenharia de Manutenção em Furnas .....	34
Figura 2.5 - Organização da Engenharia de Manutenção na Chesf .....	35
Figura 2.6 - Organização da Engenharia de Manutenção da Rhodia .....	36
Figura 2.7 - Organização da Engenharia de Manutenção na ABB Service. ....	36
Figura 2.8 - Análise da Área de Engenharia de Manutenção. ....	37
Figura 2.9 - Uma Visão Sistemática da Manutenção Produtiva.....	39
Figura 2.10- O Desempenho de Equipamentos e o Processo Gerencial.....	39
Figura 2.11 - Matrizes para Análise em Função de Modificações Introduzidas no Equipamento .....	41
Figura 2.12- Modelo de Melhoria da Produção.....	42
Figura 2.13- Planejamento Estratégico e <i>Benchmarking</i> .....	42
Figura 2.14- Visão da Filosofia do Gerenciamento da Manutenção .....	43
Figura 2.15- Macroprocesso de Acompanhamento da Manutenção.....	44
Figura 2.16- <i>Asset Management</i> .....	44
Figura 2.17- Resumo das Principais Características de Modelos para Análise de Desempenho de Equipamentos. ....	45
Figura 2.18- O Sistema de Manutenção .....	51
Figura 2.19- Expectativas da Manutenção e as Ferramentas de Suporte às Decisões.....	58
Figura 3.1 - Exemplo de Avaliação da Prioridade de Equipamentos .....	68
Figura 3.2 - Divisão funcional .....	69
Figura 3.3 - Classificação dos Modos de Falha pela Criticidade.....	70
Figura 3.4 - Guia para Seleção de Tarefas.....	71
Figura 3.5 - Exemplo de Preenchimento da Planilha de RCM.....	72
Figura 3.6 - Processo Básico de Risco .....	73

Figura 3.7 - Exemplo de Preenchimento da Planilha de APR.....	74
Figura 3.8 - Planilha para Determinação dos Padrões de Manutenção.....	75
Figura 3.9 - Planilha de Controle da Análise da Atividade.....	76
Figura 3.10 - Exemplo de Fluxograma Básico para Cálculo do Custo de Serviços de Manutenção.....	79
Figura 3.11 - TVA do Processo de Manutenção Preventiva de Bombas.....	81
Figura 3.12 - TVA do Processo de Manutenção Corretiva de Bombas.....	81
Figura 3.13 - Determinação da Vida Útil de Equipamentos.....	82
Figura 4.1 - Visão Geral do Modelo para a Melhoria Contínua do Processo de Manutenção de Equipamentos.....	86
Figura 4.2 - Modelo para Melhoria Contínua do Processo de Manutenção de Equipamentos.....	87
Figura 4.3 - Alternativas de Codificação.....	90
Figura 4.4 - Exemplo de Aplicação de Gráfico de Controle na Manutenção Preventiva.....	94
Figura 4.5 - Exemplo de Aplicação de Gráfico de Pareto na Manutenção Corretiva.....	94
Figura 4.6 - Exemplo de Aplicação do Gráfico de Causa e Efeito.....	94
Figura 4.7 - Fluxograma Básico para Cálculo do Custo da Manutenção de um Equipamento.....	95
Figura 4.8 - Quadro Cognitivo de Apoio à Análise de Desempenho de Equipamentos.....	100
Figura 4.9 - Diagrama Matriz para Determinar as Oportunidades de Melhoria no Processo de Manutenção.....	102
Figura 5.1 - Risco de Falha dos Principais Equipamentos de Uma Unidade Geradora.....	108
Figura 5.2 - Corte da Estrutura da Tomada D'Água.....	109
Figura 5.3 - Circuito Hidráulico da Comporta de Serviço.....	110
Figura 5.4 - Locação do Servomotor da Tomada D'Água no Grupo de Interdependência Operativa.....	111
Figura 5.5 - Planilha para Determinação dos Modos de Falha.....	112
Figura 5.6 - Planilha Para Determinação do Procedimento de Manutenção.....	113
Figura 5.7 - Planilha de Elaboração da Análise Preliminar de Risco.....	115

Figura 5.8 - Planilha de Elaboração da Análise da Atividade. ....	117
Figura 5.9 - Falhas em Equipamentos da Tomada D'Água. ....	120
Figura 5.10 - TVA do Processo de Troca Preventiva das Gaxetas do Servomotor da U05. ....	121
Figura 5.11 - TVA do Processo de Troca Preventiva das Gaxetas do Servomotor da U07. ....	122
Figura 5.12 - Quadro de Apoio à Análise de Desempenho dos Servomotores da U05 e U07. ....	125
Figura 5.13 - Determinação das Oportunidades de Melhoria no Processo de Manutenção do Servomotor U05. ....	127

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABC - Custeio Baseado em Atividades.
- APR - Análise Preliminar de Risco.
- CDE - Comissão de Desempenho de Equipamentos.
- FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos.
- FTA - Análise da Árvore de Falhas.
- MAPI - Machinery and Allied Products Institute.
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico.
- RCM - Manutenção Centrada em Confiabilidade.
- RCS - Sobressalente Centrado em Confiabilidade.
- SGM - Sistema de Gerenciamento da Manutenção.
- SOM - Sistema de Operação e Manutenção.
- TPM - Manutenção Produtiva Total.
- TVA - Taxa de Valor Agregado

## RESUMO

FURMANN, José Carlos. **Desenvolvimento de um Modelo para a Melhoria do Processo de Manutenção Mediante a Análise de Desempenho de Equipamentos**. 2002. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Um dos fatores que determinam a competitividade de uma organização é a qualidade da integração dos processos de suas principais funções. Neste contexto, a manutenção industrial tem como missão, garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, de modo a atender ao processo produtivo e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados. Para cumprir esta missão, deve atuar como elemento integrador das áreas de projetos, suprimentos, recursos humanos, operação e financeira, e estruturar-se com métodos e recursos destinados à prática da melhoria contínua dos processos de manutenção. Este trabalho foi desenvolvido com base em pesquisa bibliográfica sobre conceitos, processos e ferramentas inerentes à área de manutenção, bem como sobre algumas iniciativas acadêmicas e empresariais, visando propor um modelo para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção, mediante a análise de desempenho de equipamentos. Para atingir este objetivo foi necessário, fundamentalmente, o estabelecimento de parâmetros para análise do processo de manutenção e para a análise de desempenho de equipamentos. O modelo foi testado em equipamentos críticos para o processo produtivo de uma grande empresa do setor de geração de energia elétrica, determinando várias oportunidades de melhoria no processo de manutenção dos referidos equipamentos.

**Palavras-chave:** Engenharia de Manutenção; Processo de Manutenção; Desempenho de Equipamentos.

## ABSTRACT

FURMANN, José Carlos. **Development of a Model to Improvement of the Maintenance Process By Analysing the Performance of the Equipment.** 2002. 146 f. Thesis (Master in Production Engineering) - Postgraduate Production Engineering Programme, UFSC, Florianópolis.

One of the factors that determine the competitiveness of an organization is the quality of the integration of the processes of its principal functions. In this context, the mission undertaken by industrial maintenance is to guarantee the availability of the function of the equipment and installations, in order to attend to the production process and the preservation of the environment, with adequate reliability, safety and reasonable cost. To fulfil this mission, it must act as the integrating element for the areas of design, supplies, human resources and financial, and be structured with the methods and resources required to practice the ongoing improvement of the maintenance processes. The present work was developed based on bibliographic research covering the concepts, processes and tools inherent to the maintenance area, together with some academic and corporate initiatives, directed towards proposing a model for systematizing the ongoing improvement of the maintenance process, by analysing the performance of the equipment. In order to attain this objective it was necessary, fundamentally, to establish parameters both for analysing the maintenance process and for analysing the performance of the equipment. The model was tested on equipment that was critical to the productive process of a large utility in the electricity generation sector, determining various opportunities for improving the maintenance process of the equipment concerned.

**Key words:** Maintenance Engineering; Maintenance Process; Equipment Performance.

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

As duas últimas décadas foram responsáveis por tornar obsoletas muitas das premissas fundamentais da concorrência no setor produtivo. Atualmente, alocar novas tecnologias ao patrimônio físico ou gerenciar eficazmente os recursos financeiros das empresas não é suficiente para conferir vantagem competitiva sustentável.

Muitas empresas, principalmente as de serviços públicos, conviveram confortavelmente por muito tempo dentro de um ambiente não competitivo, onde não havia concorrência para impor novos preços de serviços. A ação da proteção governamental impedia o ingresso de concorrentes potencialmente mais eficazes e fixava tarifas que garantiam um retorno sobre o investimento realizado ou, em última instância, garantia os subsídios para a viabilidade financeira.

Tanto para organizações do setor de produção quanto para as do setor de serviços, atualmente inseridas num ambiente altamente globalizado e de grandes iniciativas como as de desregulamentação e privatização de empresas, há a necessidade de assegurar o sucesso competitivo. Este sucesso depende da capacidade de mobilização de ativos intangíveis.

Os ativos intangíveis podem estar nos processos produtivos quando combinam os benefícios da especialização funcional com a eficácia e qualidade da interligação dos processos; na forma integrada de combinar a demanda de produção com os recebimentos de matérias-primas e materiais; na sensibilidade para atuar com agressividade competitiva sem ignorar as expectativas cada vez mais exigentes dos clientes; na previsão de necessidades futuras, tanto de patrimônio físico como dos clientes, quando se projeta inovações ou se utiliza de processos regidos pela melhoria contínua.

Um dos parâmetros que definem o grau de competitividade de uma organização é a agilidade, eficiência e qualidade da integração dos processos que organizam as suas principais funções. Nesse contexto, a manutenção tem um papel muito importante, pois, para cumprir a sua missão e poder atender aos seus clientes, ela necessita atuar como integradora de ações das áreas de suprimentos, engenharia, produção e financeira. Definido claramente este papel e fornecidas as condições adequadas para desempenhá-lo, o produto da manutenção certamente



garantirá equipamentos com alta disponibilidade, confiabilidade e custos operacionais reduzidos.

### **1.1 Problema de Pesquisa**

Uma vez reconhecido o potencial da manutenção como um elemento importante para obtenção de resultados empresariais, surge outro desafio ainda maior. É o de explorar na plenitude os potenciais de agregação de valor da manutenção. Uma forma de superar este desafio é estruturar o controle do estado dos equipamentos sob responsabilidade da área de manutenção. Esse controle, se bem definido, levará ao acompanhamento contínuo do desempenho dos equipamentos, através da análise sistemática de dados, parâmetros e características, configurando tendências e consolidando índices de desempenho. A verificação de índices de desempenho faz parte da tarefa de consolidação do desempenho no passado, enquanto o levantamento de tendências é o exercício embasado de previsão do futuro.

Essas duas classes de informações proporcionam elementos para a definição de ações preventivas, de forma a viabilizar a antecipação de ocorrências indesejadas de falhas nos equipamentos e sistemas. O apoio dos índices fornece a possibilidade de tomar ações preventivas no sentido de evitar a repetibilidade de falhas, enquanto o apoio de tendências proporciona elementos de pura antecipação às falhas.

Para realizar uma análise de desempenho de equipamentos e sistemas é necessário lançar mão de recursos humanos com o perfil adequado a esse tipo de atividade, de metodologias com a aplicabilidade comprovada para o alcance dos objetivos desejados e de infra-estrutura compatível com o grau de organização pretendido. Também há a necessidade de integração dos processos de manutenção e nesse campo de atuação a análise de desempenho exerce um papel importante, pois é responsável pela realimentação das funções de normatização, planejamento, programação, execução e controle da manutenção, com informações confiáveis para a tomada de decisões. Para que seja possível obter informações confiáveis é necessário transformar dados em informações, organizando-os em torno de uma tarefa e dirigindo-os para a obtenção de um desempenho específico.

A análise de desempenho de equipamentos tem grande importância dentro do processo de manutenção e o seu desenvolvimento caracteriza uma atribuição fundamental e crítica da área de engenharia de manutenção. Porém, nem todas as organizações possuem recursos para montar uma estrutura de engenharia adequada para esta finalidade, ou quando a estrutura está presente nem sempre a desenvolve em toda a sua plenitude, perdendo frequentemente a oportunidade de sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção. Neste contexto, faz-se os seguintes questionamentos: Há alguma forma eficaz de sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção? Quais seriam os elementos que viabilizariam a análise de desempenho de equipamentos e do respectivo processo de manutenção?

Estes questionamentos nortearão todo o trabalho, e servirão de base para o estabelecimento dos objetivos apresentados a seguir.

## **1.2 Objetivos do Trabalho**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção, mediante a análise de desempenho de equipamentos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Para atingir o objetivo geral, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- estabelecer parâmetros para a análise do processo de manutenção;
- estabelecer parâmetros para a análise de desempenho de equipamentos;
- identificar os indicadores de desempenho de equipamentos;
- estabelecer os meios de obtenção das informações pertinentes à análise de desempenho de equipamentos e do processo de manutenção;
- determinar um mecanismo adequado para identificar as potencialidades de melhoria no processo de manutenção.

### 1.3 Justificativas para o Desenvolvimento

A prática da análise de desempenho de equipamentos, amplia a capacidade de uma empresa integrar e melhorar continuamente os seus processos de manutenção, produzindo informações que realimentam os demais processos, como a normatização, planejamento, programação, execução e o controle da manutenção, principalmente no sentido da redução de custos operacionais.

Também, amplia a capacidade de uma empresa atuar preventivamente, pois as informações obtidas resultam em recomendações para ações de prevenção de falhas, o que certamente proporciona o aumento da disponibilidade operacional e da confiabilidade dos equipamentos.

A obtenção de resultados dessa importância seria suficiente para justificar o desenvolvimento de um modelo para a sistematização da melhoria contínua do processo de manutenção. Entretanto, deve-se acrescentar que o sucesso na sua aplicação alavanca os ativos intangíveis do domínio sobre o processo produtivo e da previsibilidade. Esses ativos intangíveis são fundamentais para a área de manutenção que busca a redução do espaço para imprevistos.

Do ponto de vista gerencial é inevitável se deparar com a necessidade de tomada de decisão sobre como planejar, organizar, dirigir e controlar as atividades de manutenção. É a principal atribuição do gerente de manutenção, e a aplicação do modelo para melhoria do processo de manutenção ampara esta responsabilidade, pois fornece elementos para identificar a importância, a prioridade e as restrições de tempo e custos que podem influenciar na decisão.

O tema sobre a análise de desempenho de equipamentos se faz atual em empresas de grande e pequeno porte. Empresas do setor de petróleo, por exemplo, que atualmente convivem com a vigilância crescente de órgãos ambientais e da opinião pública, terão que cada vez mais aprimorar a função de análise de desempenho de equipamentos dentro das respectivas áreas de engenharia de manutenção, para garantir baixos riscos de acidentes agressores ao meio ambiente, preservando a imagem da empresa e a confiança dos acionistas.

Empresas do setor de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que estão em crise de recursos financeiros e hídricos, e são exigidas para combinar os esforços de aumento da disponibilidade dos equipamentos com a manutenção da confiabilidade e economicidade do produto, terão que se valer

fortemente da função de análise de desempenho. Com essa preocupação o Operador Nacional do Sistema Elétrico (2001, p. 7) vem desenvolvendo um modelo para análise de desempenho da manutenção, com enfoque nos indicadores de produção dos equipamentos.

Empresas de pequeno porte, justamente por não possuírem uma estrutura destinada à engenharia de manutenção, são as que mais carecem de um modelo para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção. Um modelo adaptado a essas necessidades tem grande valor comercial, devido ao interesse despertado por este tipo de empresa.

Para empresas de serviços de consultoria, o fornecimento e adaptação de um modelo com essas características, pode ser um produto de *portifólio* e objeto de parcerias com empresas do setor produtivo.

Williamsom (2000, p. 1-4) enfatiza que a medição e a melhoria do desempenho de equipamentos está se tornando um tópico de vanguarda nas organizações de um modo geral.

#### **1.4 Escopo do Trabalho**

O desenvolvimento de um modelo para a melhoria contínua do processo de manutenção poderia ser estruturado de várias formas diferentes. Cada uma dessas formas poderia dispor de etapas encadeadas com o objetivo de melhorar continuamente os procedimentos de manutenção (documentação), os prazos de atendimento dos serviços de manutenção, a segurança na manutenção, os custos de manutenção ou a qualidade dos serviços de manutenção de equipamentos, entre outros.

Neste caso, a busca será por um modelo que investigue o processo de manutenção, baseado fundamentalmente na utilização da função de análise de desempenho de equipamentos e na evolução da disponibilidade operacional, que de forma indireta também abrange os aspectos da manutenibilidade e confiabilidade de equipamentos. Entretanto, isto não significa que outros aspectos não possam ser abordados como elementos intermediários de apoio. Por exemplo, o aspecto dos custos de manutenção de equipamentos, porém, sem que seja necessária uma prospecção total da análise financeira.

## 1.5 Resultados Esperados

Estima-se que os resultados desta prática de pesquisa serão os seguintes:

- verificação da aplicabilidade do modelo para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção;
- disponibilização de um modelo que facilite a sistematização de pareceres sobre o estado de equipamentos;
- padronização dos procedimentos do processo de análise de desempenho de equipamentos;
- orientação para maximizar a exploração das habilidades dos profissionais envolvidos com a função de análise de desempenho de equipamentos e melhoria do processo de manutenção.

## 1.6 Estrutura do Trabalho

Uma vez apresentados os objetivos do trabalho e a importância de resolver o problema proposto, o Capítulo 2 será destinado à fundamentação teórica que proporcionará os conhecimentos para o entendimento do assunto e a busca da solução adequada ao problema. Inicialmente serão descritos os conceitos de manutenção, para que se possa avançar sobre o tema, definindo os contornos do ambiente para a análise de desempenho de equipamentos e também da estrutura para a gestão da análise de desempenho de equipamentos.

O Capítulo 3 será destinado à apresentação das ferramentas eleitas para a solução do problema proposto. Trata-se de um conjunto de ferramentas amplamente utilizadas e de resultados reconhecidos no ambiente de produção.

O Capítulo 4 será destinado à apresentação da solução do problema. Trata-se de uma solução organizada uma vez que várias fases devem ser cumpridas seqüencialmente, todas regidas pelo modelo proposto.

O Capítulo 5 apresentará uma aplicação prática do modelo proposto, destacando suas propriedades, abrangência e subprodutos. Esta aplicação utilizará alguns equipamentos considerados críticos para o processo produtivo (objetos da avaliação proposta de desempenho), dados provenientes do sistema de gerenciamento da manutenção e os conhecimentos de especialistas em manutenção.

Finalmente, no Capítulo 6 serão apresentadas as conclusões gerais sobre o suporte proporcionado pela bibliografia empregada, as particularidades e aplicabilidade do modelo proposto, e, principalmente, sobre o cumprimento dos objetivos iniciais do trabalho.

## CAPÍTULO 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica tem como finalidade apresentar o levantamento bibliográfico sobre análise de desempenho de equipamentos e a relação com a melhoria contínua do processo de manutenção. Essa pesquisa visa proporcionar um embasamento conceitual necessário para elucidar sobre os fatores e ambiente associados, como o assunto vem sendo tratado e os meios necessários para o equacionamento da questão.

Somente programar e executar a manutenção não basta para assegurar que os equipamentos tenham um desempenho satisfatório. Empresas de produção contínua exigem equipamentos de alto desempenho e para que isso seja viável é necessário estruturar de forma competente a função de análise de desempenho de equipamentos. Essa tarefa não é fácil. Fatores como a falta de conhecimento e recursos, aplicação de metodologias inadequadas e prioridades para tarefas de manutenções emergenciais, acabam ofuscando tal evidência. Entretanto, é necessário quebrar esse paradigma para deixar de se submeter aos fatores da imprevisibilidade e resolver o problema sobre o domínio dos equipamentos. Este domínio pode ser conseguido mediante a implantação das etapas de identificação dos elementos necessários à prática da análise de desempenho de equipamentos, avaliação do desempenho dos equipamentos e realimentação do sistema de gerenciamento da manutenção (tornando-o eficaz na apresentação de informações fidedignas), bem como da sistemática de manutenção (tornando-a eficiente na apresentação de procedimentos padronizados e atualizados).

Para abordar satisfatoriamente esses aspectos é necessário inicialmente caracterizar o tema Manutenção. Analistas capacitados e a estrutura destinada a dar suporte a essa função, são, efetivamente, os elementos essenciais que compõem um ambiente propício para desenvolver a análise de desempenho de equipamentos.

O entendimento de como pode ser praticada a análise de desempenho de equipamentos se consegue com o domínio de metodologias e ferramentas de algumas áreas de conhecimento, que devem ser alinhadas e dispostas harmonicamente para obtenção de melhores resultados. Nesse caso é necessário investigar os processos envolvidos, o sistema de informação, os procedimentos de manutenção, a gestão da qualidade que se faz necessária, e, o método e princípio

adequados à apropriação dos custos de manutenção.

Para desenvolver a análise de desempenho de equipamentos é necessário operá-la de forma sistemática. Desta forma torna-se importante conhecer a metodologia de análise e solução de problemas mais adequada, pois o bom desempenho de equipamentos está fortemente relacionado com a identificação, em tempo hábil, de defeitos e falhas em potencial. Besterfield (1994, p. 423), afirma: “é um fato que as falhas detectadas no início de operação são menos custosas que aquelas descobertas no final das operações”.

A análise de desempenho deve ser realizada em equipamentos que agregam valor ao processo. Neste sentido também é necessário investigar como este assunto pode ser esclarecido e adaptado ao tema, com o apoio da literatura disponível.

Finalmente, é necessário aferir se o produto da análise de desempenho de equipamentos alcança os resultados esperados. Neste contexto se faz interessante a pesquisa sobre os meios de medição do desempenho de equipamentos, parâmetros importantes, quais são os indicadores mais utilizados, bem como os meios de avaliação sistemática para a melhoria contínua do sistema de gerenciamento da manutenção e do respectivo método de manutenção.

## **2.1 Definições de Manutenção**

Para iniciar a pesquisa sobre a análise de desempenho de equipamentos é necessário examinar algumas definições clássicas sobre manutenção. Segundo Monchy (1989, p. 3), “manutenção é escolher os meios de prevenir, de corrigir ou de renovar, segundo a utilização do material e do que é economicamente crítico, a fim de otimizar o custo global de propriedade”. Em outras palavras, a manutenção deve saber aplicar os conceitos de correção, prevenção e predeterminação para o alcance de um objetivo, com a quantificação dos respectivos níveis de desempenho, sem deixar de fazer gestão dos aspectos econômicos envolvidos, assegurando que as atividades requeridas conduzam a um custo global otimizado. Como premissa estabelece que manter significa dominar, diferente de conservar que significa submeter o material, a fim de assegurar a continuidade da produção.

De acordo com Moubray (1997, p. 6), “manutenção significa assegurar que os ativos físicos continuem a fazer o que seus usuários querem que ele faça”. Essa



definição proporciona uma abordagem conceitual um pouco diferente, preconizando que a manutenção é o conjunto de técnicas destinadas a atuar nos ativos físicos (equipamentos, sistemas e instalações) para que cumpram ou preservem sua função ou funções específicas.

Para Slack (1999, p. 635), “manutenção é o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas cuidando de suas instalações físicas [...]. Tem papel fundamental na produção de bens e serviços”. Slack dá uma ênfase muito grande para a prevenção e recuperação de falhas, tratando a manutenção como um conjunto de técnicas destinadas à otimização da produção.

Mais recentemente Pinto e Xavier (2001, p. 22) ampliaram o conceito de manutenção, incluindo o aspecto da necessidade de estimular a preservação ambiental, definindo que manutenção significa “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos de modo a atender um processo de produção e preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”.

As definições apresentadas auxiliam no entendimento do papel da manutenção no sistema de qualidade da organização e também proporcionam enfoques que ampliam a visão sobre a abrangência da função manutenção. Um enfoque adequado será primordial para o estabelecimento dos objetivos estratégicos da manutenção.

### 2.1.1 Tipos de Manutenção

Inúmeras são as terminologias destinadas à caracterização dos diferentes tipos de manutenção. A maioria tem origem na forma temporal de atuação, diante da previsão ou da ocorrência da falha funcional do equipamento. A estrutura da terminologia adotada neste trabalho seguirá Monchy (1989, p. 35 a 39), consagrada pelo volume de utilização nas empresas. Basicamente, a manutenção se subdivide em corretiva e preventiva.

A manutenção corretiva é realizada após a falha do equipamento, visando recompor as funções requeridas. Pode subdividir-se em manutenção paliativa, intervenção com o objetivo de retirar provisoriamente o estado de falha e retornar com o equipamento à operação antes do reparo definitivo, e manutenção curativa, intervenção com o objetivo de retirar definitivamente o estado de falha e restabelecer

o equipamento à função requerida.

A manutenção preventiva é realizada com o objetivo de reduzir a probabilidade de falha no equipamento. É uma intervenção prevista, portanto pode ser programada e preparada para ser executada antes da caracterização do estado de falha. Pode subdividir-se em manutenção sistemática, intervenção realizada com base no conhecimento e domínio da lei de degradação do equipamento, geralmente condicionada ao número de horas de funcionamento ou ao número de operações (partidas); manutenção por ronda e testes, inspeção realizada periodicamente quando ainda não se conhece a lei de degradação do equipamento; e manutenção assistemática, intervenção realizada com base no acompanhamento da evolução de parâmetros significativos do estado de um equipamento em relação a referenciais máximos ou mínimos pré-determinados. Este acompanhamento requer o domínio de técnicas preditivas adequadas a cada situação e deve ser realizado com o equipamento em serviço, de forma a definir o ponto ótimo da intervenção, fator de ganho em disponibilidade operativa. A figura 2.1 apresenta o fluxograma lógico para a escolha do tipo de manutenção.

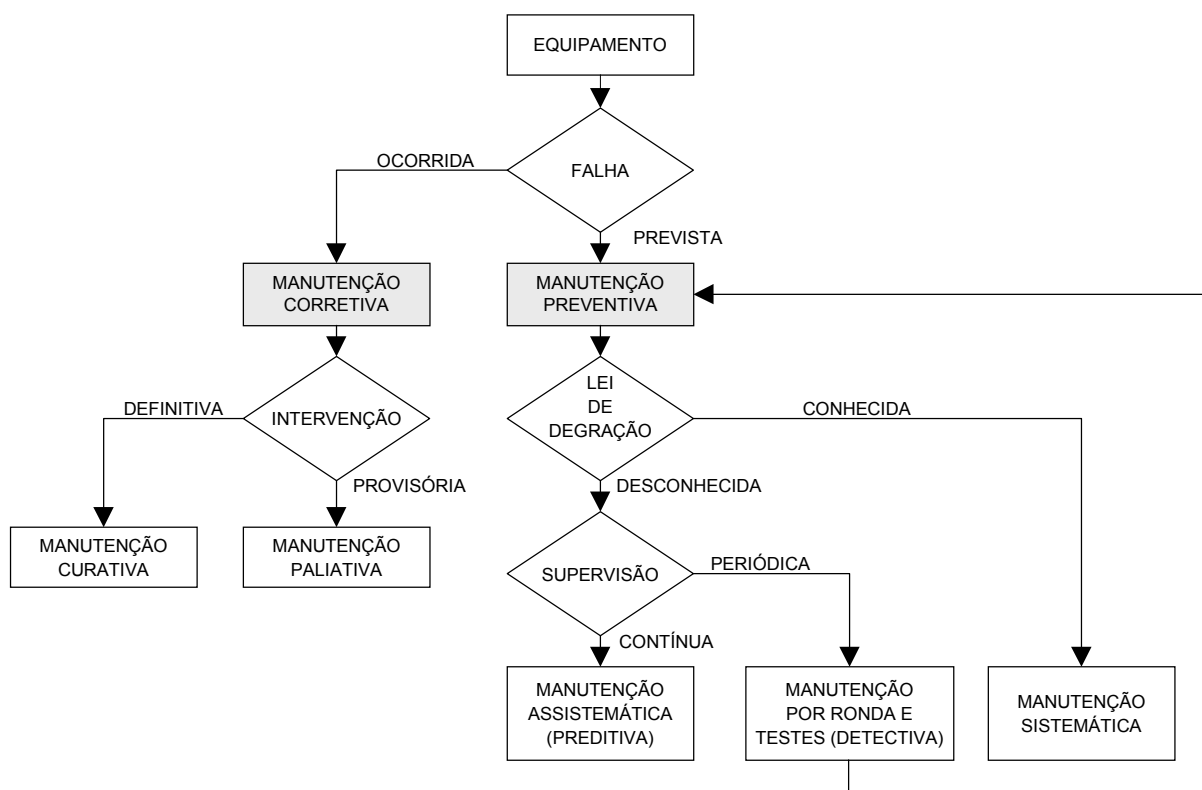


Figura 2.1 - Fluxograma Lógico para Escolha do Tipo de Manutenção. (Adaptado de Monchy, 1989, p. 35)

Normalmente, a manutenção corretiva é aplicada como um complemento residual da manutenção preventiva. De acordo com o relatório anual do Grupo Coordenador para Operação Interligada (1998, p. 5), que compilou dados de 12 empresas do setor de energia elétrica, os desligamentos de equipamentos para executar a manutenção preventiva representam em média uma indisponibilidade operacional de 4,4%, enquanto que os desligamentos de equipamentos para executar a manutenção corretiva representam apenas 0,7%. É importante possuir critérios adequados e padronizados para a classificação correta das ocorrências em tipos de manutenção, pois o produto deste trabalho auxiliará no desenvolvimento da análise do desempenho de equipamentos, constituindo-se num dos principais indicadores de acompanhamento, principalmente se puder ser comparado com os indicadores de empresas congêneres.

### 2.1.2 Manutenção Como Visão de Qualidade

De acordo com Paladini (2000, p. 101) “planejar qualidade significa tomar decisões gerenciais antes que as máquinas parem por defeitos [...] significa também escolher a melhor forma de fazer as coisas, selecionar os recursos mais adequados para cada ação”. Portanto, planejar manutenção também significa planejar qualidade. Desta forma reduz-se o espaço para ações de improvisos ou para tomadas de ações com base na intuição e no subjetivismo. Esse é o ponto de partida para que a manutenção apresente um produto de qualidade e adequado ao uso.

Qualidade pode ser definida como a forma pela qual os serviços são julgados pelos usuários. Do ponto de vista dos clientes, excelentes serviços são percebidos através de três dimensões básicas: qualidade intrínseca, custo e entrega. A combinação destas três dimensões da qualidade é o que os clientes percebem como valor. Um serviço terá maior valor para os usuários quanto mais favorável for a combinação das três dimensões.

Juran e Gryna (1991, v. 1, p. 22) definem os parâmetros da adequação ao uso para produtos duráveis. Esses parâmetros estão relacionados com o tempo, como a disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade. A disponibilidade pode ser medida pela extensão na qual o usuário pode ter o serviço assegurado quando dele precisar. A confiabilidade é a probabilidade de que um produto tem de executar

uma função específica num determinado tempo. Juran e Gryna (1991, v. 1, p. 25) fazem a distinção entre confiabilidade intrínseca, aquela que é definida pela qualidade do projeto, e confiabilidade operacional, aquela que é atingida durante o uso. Também classifica a manutenibilidade como um termo em evolução, sendo dividido em duas categorias: facilidade de atendimento, relativa às inspeções de rotina; e facilidade de reparo, relativa à restauração dos serviços após uma falha.

Ebeling (1997, p. 6) acrescenta que a disponibilidade pode ser a medida preferida quando o equipamento pode ser restabelecido de suas funções, considerando de forma conjugada a ocorrência de falhas (confiabilidade) e de reparos (manutenibilidade). Woodhouse (1995, p. 3), que apresenta as medidas e os indicadores de desempenho na manutenção, estabelece que quando o objetivo de negócio é a confiabilidade operacional, a característica do desempenho passa pela disponibilidade operacional e os indicadores de desempenho devem informar a indisponibilidade operacional planejada e não planejada. Alvarez (2001, p. 58), com objetivo de desenvolver um modelo para avaliar as características de manutenibilidade de um equipamento, identifica os ramos de estudo enfocando a disponibilidade, conforme representado na figura 2.2.

Esses conceitos são fundamentais para a definição de parâmetros destinados ao acompanhamento do desempenho de equipamentos, através da compilação sistemática de indicadores de desempenho.

### 2.1.3 Manutenção Como Visão de Produtividade

As organizações têm enfrentado o desafio de minimizar as perdas e a ociosidade. Com esta visão, Contador (1996, p. 226 a 233) aponta para a necessidade de redução dos tempos inativos decorrentes de interrupções na produção. Cita a pesquisa realizada pela Price Waterhouse, sobre qualidade e produtividade nas 500 maiores manufaturas brasileiras, que apresentou as principais causas de interrupção da produção. Para 34,4% dessas empresas ocorreram falhas no fornecimento de insumos, para 22,2% ocorreram intervenções de manutenção corretiva de sistemas e equipamentos e para 21,6% a causa foi a troca de produtos na linha de produção. Recomenda para o caso da manutenção corretiva, a redução da espera pelos serviços de preparação, redução da espera pelos serviços de manutenção propriamente dita e redução da espera pelos serviços de operação.

Evidentemente a forma de alcançar alta produtividade através desse tipo de ação exige análise contínua de desempenho, inclusive voltada especificamente ao equipamento.

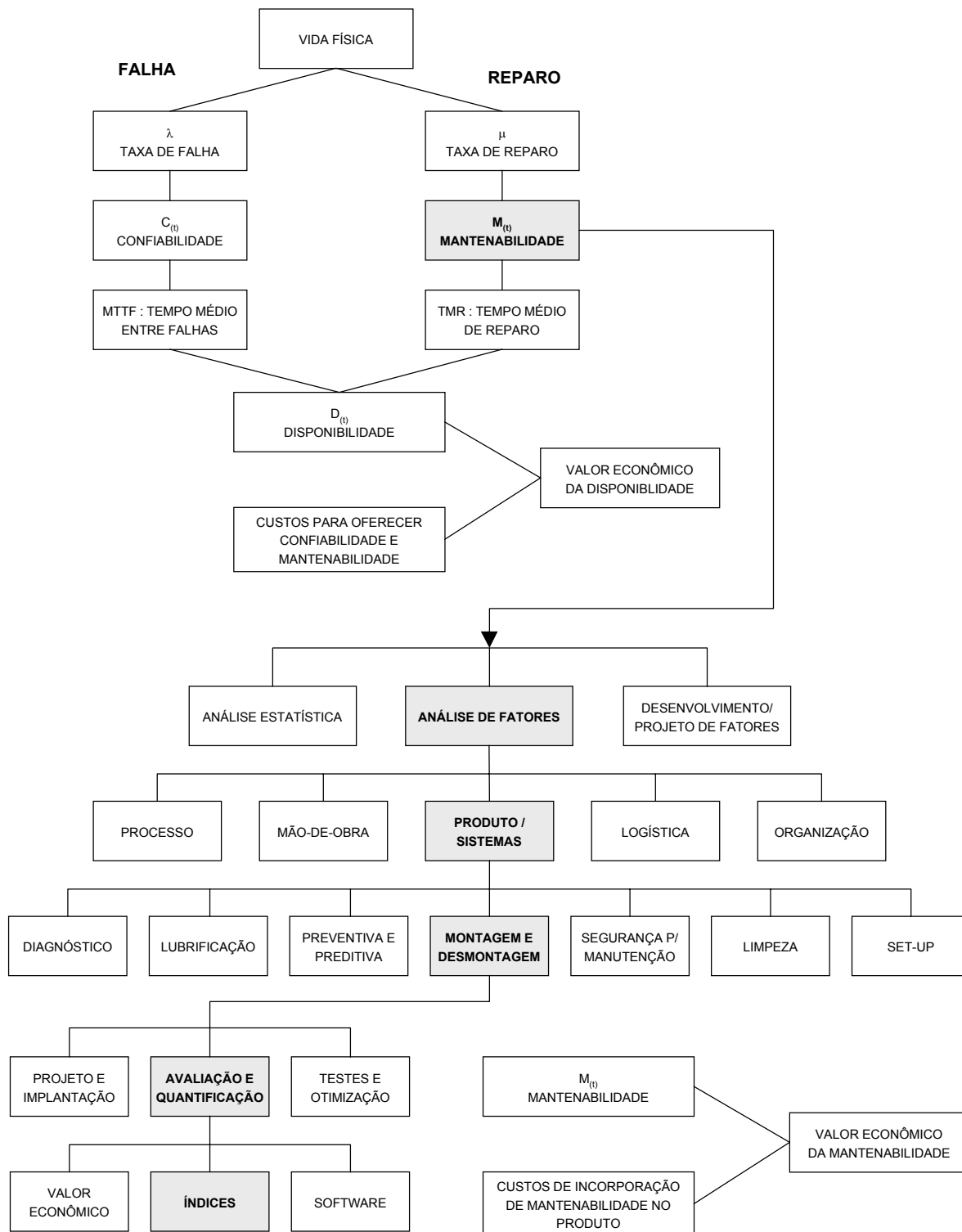


Figura 2.2 - Ramos de Estudos da Manutenibilidade Enfocando a Disponibilidade. (ALVAREZ, 2001, p. 58)

#### 2.1.4 Manutenção Como Visão de Competitividade

Qualquer empresa do setor produtivo, para tornar-se competitiva necessita, em maior ou menor grau, dependendo da área em que atua, operar com produtividade, qualidade no processo, tecnologia, estoque reduzidos e pessoal extremamente capacitado, criativo e participativo. Segundo Porter (1985, p. 173), “a tecnologia desempenha um papel muito importante, alterando a estrutura do próprio ramo de negócio, criando novos ramos e até extinguindo a vantagem competitiva adquirida por empresas fortes”. A tecnologia não é uma arma de combate à competição, mas sim de apoio à competitividade e pode se apresentar de diversas formas: tecnologia de materiais, do produto, do processo, de máquinas, de sistemas de informação, de transporte, de *marketing*, de venda, de treinamento de pessoal, assessoramento tecnológico e de manutenção.

Portanto, um sistema completo de gerenciamento de manutenção não pode ficar restrito à programação e execução das atividades de manutenção. Para ser um elemento de apoio à competitividade de uma empresa, também deve organizar de forma contínua a análise do desempenho da manutenção e dos equipamentos, fornecendo as realimentações necessárias à preservação e melhoria do próprio sistema.

#### 2.1.5 Manutenção Como Fonte de Resultados Empresariais

De forma bem abrangente, a medição de desempenho organizacional é entendida por Sink e Tuttle (1993, p. 2) como sendo uma “função de um complexo inter-relacionamento de vários critérios. Os sete critérios de performance são: eficácia, eficiência, qualidade, produtividade, qualidade de vida no trabalho, inovação e lucratividade”.

Na visão de Hronec (1993, p. 25) a medição de desempenho empresarial “é uma ferramenta para equilibrar várias medidas (custo, qualidade e tempo), em vários níveis (organização, processos e pessoas).

Para Kaplan e Norton (1996, p. 10) o desempenho organizacional deve ser medido sob quatro perspectivas equilibradas: financeira, do cliente, dos processos internos da empresa, e do aprendizado e crescimento (inovação como capacidade de mudar e melhorar).

Toda organização deve conhecer os fatores críticos de sucesso a que está submetida. São atributos que a empresa deve dispor para ser bem sucedida em suas atividades, e é para eles que as medidas de desempenho devem estar voltadas. Obviamente a manutenção faz parte desse contexto, e, segundo Nagao (1998, p. 48) “os fatores críticos de sucesso de uma área de manutenção são a disponibilidade operacional e a confiabilidade das instalações, aliada à otimização dos seus custos”.

De acordo com Monchy (1989, p. 9) “quanto mais custosa for a não disponibilidade, mais a manutenção é econômica; quanto mais a segurança está em jogo, mais a manutenção torna-se indispensável”. Na verdade o conteúdo dessa afirmação confirma as premissas do modelo de manutenção para as indústrias de processo contínuo, principalmente no que diz respeito à relação entre o custo da falha e o custo para prevenção desta falha.

Portanto, a partir dos conceitos apresentados, pode-se elencar os principais resultados empresariais que a manutenção pode alavancar:

- aumento da disponibilidade de equipamentos e sistemas;
- aumento da confiabilidade de equipamentos e sistemas;
- redução dos custos operacionais;
- maior qualidade na produção;
- melhoria da segurança pessoal e das instalações;
- redução da demanda de serviços;
- aumento da qualidade de vida no trabalho;
- melhoria das condições do meio ambiente;
- aumento do potencial de aprendizagem;
- extensão da vida útil dos equipamentos e instalações;
- maior valor final das instalações;
- melhor gerenciamento dos estoques de sobressalentes;
- aumento do faturamento e do lucro.

Todos esses resultados fornecem a real dimensão da importância da manutenção no processo produtivo de uma organização. Para exercer o domínio sobre os fatores que direcionam para estes resultados, é necessário sistematizar a análise de desempenho de equipamentos com base num processo estruturado. Sink e Tuttle (1993, p. 36) respaldam essa proposta quando afirmam que “um processo

de gerenciamento do desempenho é, portanto, um processo pelo qual estas coisas acontecerão de modo sistemático, coerente, persistente, paciente e abrangente em toda a organização”.

## **2.2 Ambiente para Análise de Desempenho de Equipamentos**

Embora não seja objeto deste trabalho, é necessário citar a importância da participação do analista de manutenção no processo da análise de desempenho de equipamentos. O analista de manutenção deve possuir um perfil profissional adequado à essa tarefa que exige singular qualificação sob vários aspectos da formação humana. Não é fácil preencher todos os requisitos desejados e o que se observa na realidade é uma carência sob vários aspectos, inclusive do entendimento do que significa praticar engenharia de manutenção, seu potencial, seus limites e suas obrigações.

Para praticar a engenharia de manutenção, o analista de manutenção deve estar consciente das dimensões requeridas por esta atividade, principalmente no que tange ao gerenciamento da informação e dos procedimentos para análise de equipamentos e sistemas.

Por outro lado, somente o analista de manutenção qualificado não é suficiente. Há que se disponibilizar uma estrutura adequada para a prática da análise de desempenho de equipamentos, principalmente em empresas com grande volume de manutenção, como as que processam continuamente seus produtos. A estrutura mais adequada a esta finalidade caracteriza a área de engenharia de manutenção.

A engenharia de manutenção é a área promotora da integração e padronização das atividades de manutenção, principalmente quando atua como catalisador para a transferência e fixação de tecnologias de manutenção.

Também deve ser a área responsável por estimular e aplicar os processos de avaliação periódica e auditorias, com o objetivo de manter a disciplina, sem deixar de reservar espaço para um questionamento organizado, no foco da atividade que exige a manutenção.

Uma vez disponibilizada a estrutura adequada ao analista de manutenção, é necessário dispor da prática sistemática de análise de desempenho de equipamentos, adaptada às necessidades e aos fatores críticos para o sucesso da



empresa e por conseguinte, da área de manutenção.

### 2.2.1 O Analista de Manutenção

O analista de manutenção deve possuir um perfil profissional adequado à complexidade da tarefa que exige uma formação técnica consistente sobre equipamentos industriais, visão sistêmica, habilidade em transformar dados em informações, experiência em execução de manutenção, conhecimento das ferramentas de qualidade, de informática, de idiomas, bom relacionamento humano, sensibilidade para tratar a produtividade com ética e, principalmente, criatividade. Ohno (1988, p. viii), afirma que “é preciso criatividade diante da necessidade”.

De acordo com Castella (2001, p. 14), a opção por profissionais com o perfil de especialista ou de generalista é amplamente discutido, mas o que acontece na prática é a exigência de aptidão à transição entre os dois perfis, a ponto de conhecer o ambiente de trabalho e da organização, para auxiliar os companheiros na otimização dos resultados.

Castella (2001, p. 64-113) desenvolve uma pesquisa e análise sobre os fatores críticos para a área de manutenção de uma empresa de energia elétrica, baseada nas dimensões do gerenciamento de recursos, da informação, dos procedimentos de análise e de manutenção, do planejamento e programação, e das facilidades de manutenção. Os analistas de manutenção devem estar atentos para os fatores mais críticos, como:

- falta de conhecimento da eficiência e eficácia da área;
- falta de conhecimento dos custos de manutenção;
- falta de análise sistemática do custo do ciclo de vida dos equipamentos;
- falta de *benchmarking* com empresas congêneres e de outros setores produtivos;
- falta da utilização de ferramentas de apoio para a análise de desempenho de equipamentos.

### 2.2.2 Engenharia de Manutenção

Uma questão relevante é como organizar uma estrutura para desenvolver as atividades de análise de desempenho de equipamentos. A literatura especializada sobre manutenção apresenta várias alternativas para a solução da questão. De

acordo com Blanchard (1995, p. 73), o volume de manutenção é uma conseqüência do projeto, sendo portanto a manutenibilidade um parâmetro importantíssimo a ser considerado desde a fase do projeto do sistema. Com essa visão sugere uma organização de estrutura funcional centrada no departamento de engenharia de manutenibilidade, de acordo com a figura 2.3.

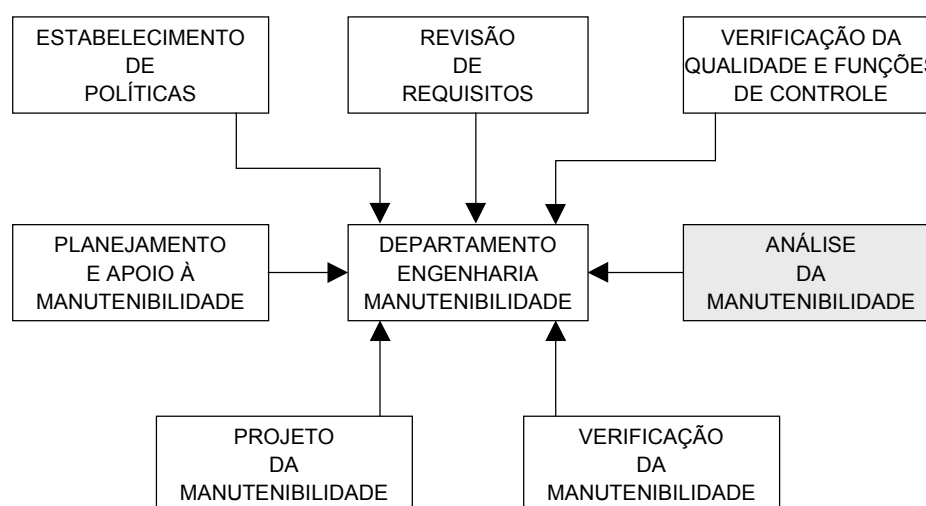


Figura 2.3 - Organização da Engenharia de Manutenibilidade. (BLANCHARD, 1995, p. 73)

Na visão de Kelly (1984, p. 24), são três os principais mecanismos de controle exercidos pela engenharia de manutenção: “controle do trabalho, controle das condições do equipamento e sua disponibilidade, e controle de custos”. O controle do trabalho é exercido através das realimentações oriundas da execução das manutenções corretivas e preventivas no equipamento. O segundo controle, baseado nas condições do equipamento, é realizado através do histórico dos equipamentos. Proporciona as mudanças sobre a política de operação, no projeto dos equipamentos e no plano de manutenção. O terceiro controle é realizado sobre os custos das respectivas áreas de manutenção. Menciona também a necessidade de complementar com o controle de materiais sobressalentes.

Pinto e Xavier (2001, p. 46) estabelecem uma conotação diferente ao afirmarem que “praticar engenharia de manutenção significa uma mudança cultural. É a segunda quebra de paradigma na manutenção” (o primeiro paradigma foi quebrado quando introduziu-se os conceitos de manutenção preditiva e detectiva). Desta forma, no momento em que a estrutura de manutenção de uma organização estiver utilizando para análises, estudos e proposição de melhorias, todos os dados

que a manutenção preditiva colhe e armazena, estará praticando a engenharia de manutenção.

A operacionalização da engenharia de manutenção no ambiente empresarial aparece estruturada de várias formas práticas, de acordo com as necessidades, recursos e habilidades de cada empresa. Por exemplo, a engenharia de manutenção de Furnas Centrais Elétricas S.A. presta suporte a várias usinas hidrelétricas, subestações e linhas de transmissão de energia, de acordo com o esquema representado pela figura 2.4.

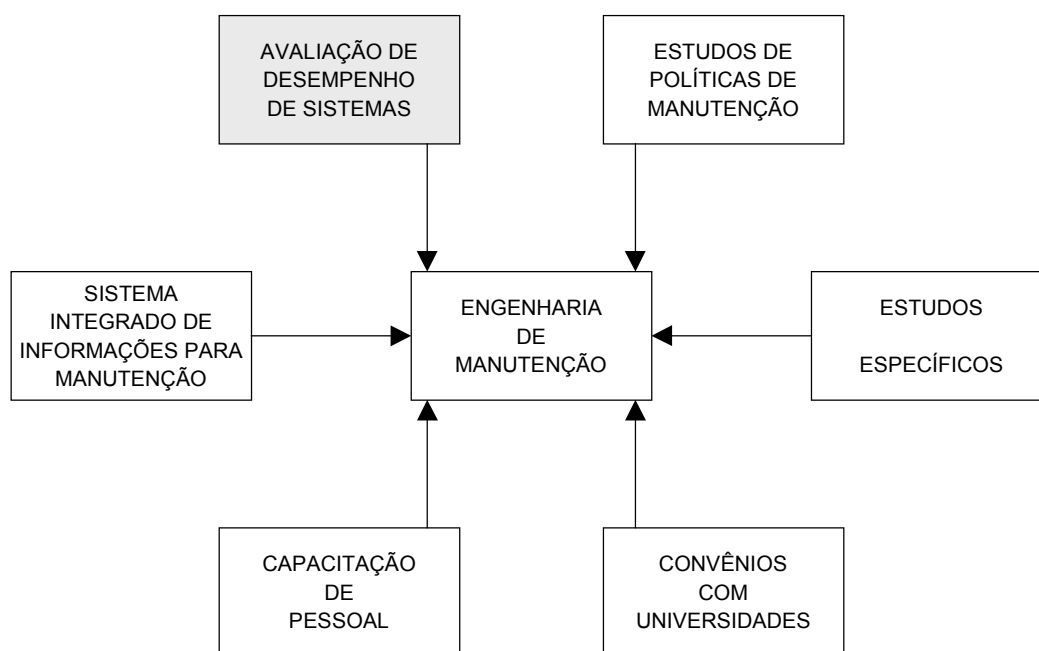


Figura 2.4 - Organização da Engenharia de Manutenção em Furnas. (Adaptada de Almeida e Wajzman, 1989, p. 191-196)

Furnas, por intermédio da Superintendência de Engenharia de Manutenção, tomou a iniciativa de estabelecer um conjunto de diretrizes básicas para fixar o rumo da manutenção. De acordo com Furnas (2001, p. 5), essas diretrizes “têm por objetivo gerar planos de ação que são os agentes de obtenção de resultados, esses por sua vez garantem a observância das diretrizes estabelecidas”. Esta política de manutenção está estruturada em um conjunto de dez diretrizes básicas:

- buscar uma uniformização das metodologias nos trabalhos que visam atender objetivos comuns da gerência de manutenção;
- estabelecer e reavaliar procedimentos, métodos e periodicidades de manutenção;
- estabelecer e reavaliar critérios de prioridades de manutenção;

- planejar e controlar a manutenção, assim como analisar o desempenho dos equipamentos englobando modelos, indicadores e metas;
- estabelecer critérios para descentralizar e regionalizar a execução da manutenção;
- controlar e otimizar os custos de manutenção;
- estabelecer critérios para definição de recursos para a manutenção;
- buscar e estimular o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas e recursos humanos para a manutenção;
- estabelecer critérios para utilização de recursos externos nas atividades de manutenção;
- buscar e estimular o desenvolvimento e aplicação da filosofia da qualidade e produtividade nas atividades de manutenção.

Da mesma forma, a engenharia de manutenção da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - Chesf presta o mesmo tipo de suporte, de acordo com o esquema representado pela figura 2.5.

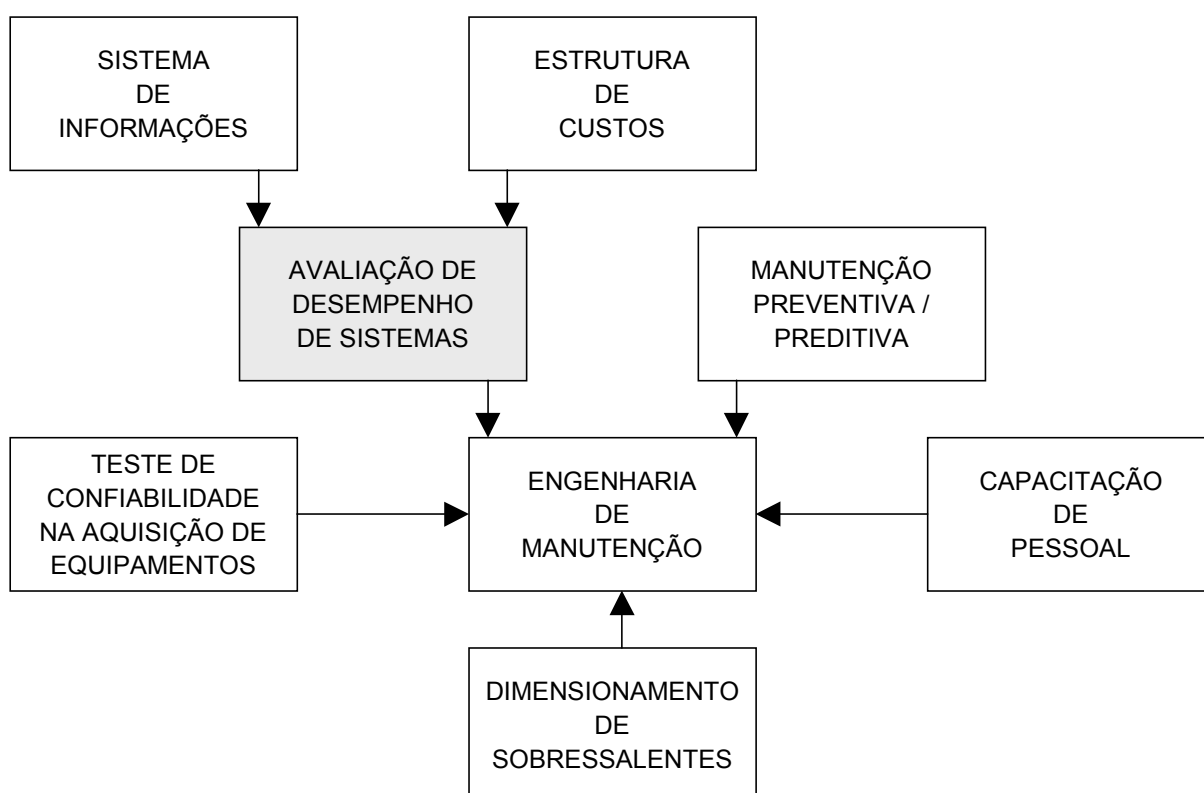


Figura 2.5 - Organização da Engenharia de Manutenção na Chesf. (Adaptada de Almeida e Wajsman, 1989, p. 186-190)

Empresas do setor privado da economia também utilizam a engenharia de manutenção. A figura 2.6 apresenta o esquema utilizado pela Rhodia Brasil Ltda., empresa líder mundial em química de especialidades.

Empresas do setor de fornecimento de serviços em manutenção, também utilizam como suporte a área de engenharia de manutenção. A figura 2.7 apresenta o esquema utilizado pela ABB Brasil Ltda. (Divisão de Serviços), empresa líder global em tecnologia de energia e automação.

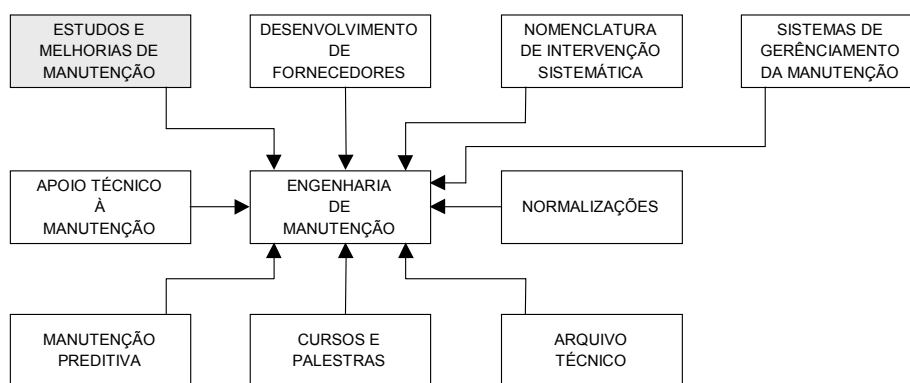


Figura 2.6 - Organização da Engenharia de Manutenção da Rhodia. (Adaptada de Nagao e Simioni, 1989, p. 126-128)

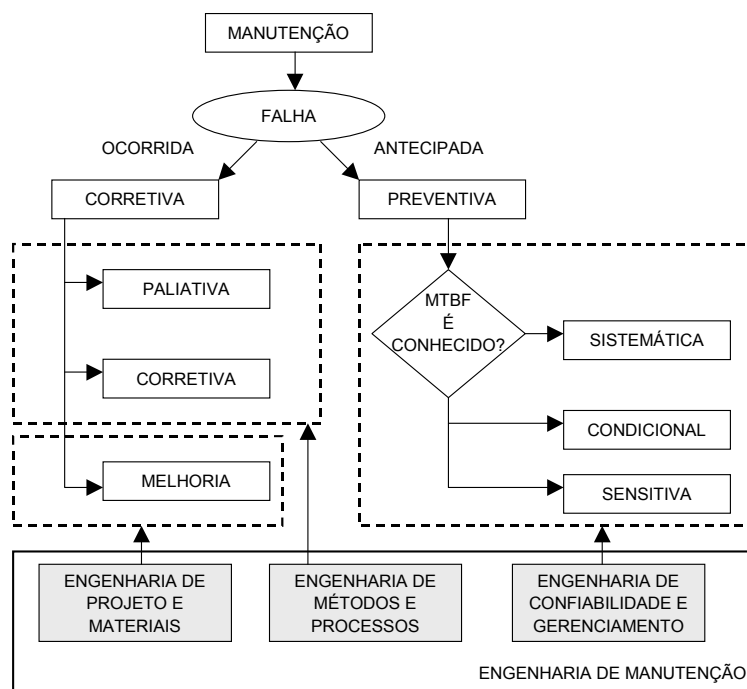


Figura 2.7 - Organização da Engenharia de Manutenção na ABB Service. (REGONHA, 2000, p. 3)

De forma geral todos os esquemas apresentados visam preencher as atribuições que competem à área de engenharia de manutenção. Portanto, observa-se que as principais atribuições da engenharia de manutenção são as seguintes:

- análise de desempenho de equipamentos;
- análise do processo de manutenção e implementação de novas tecnologias;
- desenvolvimento de projetos para melhoria do desempenho de equipamentos;
- análise e solução de problemas com os equipamentos;
- definição da política de manutenção;
- planejamento de atividades de manutenção;
- definição da política de reposição de materiais;
- análise de custos de manutenção;
- apoio técnico à área de execução de manutenção.

A figura 2.8 apresenta uma análise sobre os pontos fracos e fortes da área de engenharia de manutenção.

<b>ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO</b>	
<b>Pontos Fracos</b>	<b>Pontos Fortes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tendência a tornar a estrutura organizacional mais pesada.</li> <li>- Geração de conflitos em razão da dificuldade em visualizar as fronteiras de atribuição, principalmente quando engenharia e execução de manutenção atuam fisicamente próximas.</li> <li>- Dificuldade em locar as competências pessoais por razões administrativas.</li> <li>- Não atua diretamente no equipamento, proporcionando uma tendência ao acomodamento diante da necessidade constante atualização do estado dos equipamentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilidade em alinhar os objetivos da manutenção com os objetivos estratégicos empresariais.</li> <li>- Facilidade em realizar o planejamento da manutenção, uma vez que pode contar com o apoio da análise de desempenho de equipamentos.</li> <li>- Facilidade em dispor dos dados para a análise do ciclo de vida dos equipamentos.</li> <li>- Sobreposição de competências com a área de logística.</li> <li>- Respaldo técnico às ações da execução da manutenção.</li> <li>- Catalisador de novos conhecimentos e metodologias aplicáveis à área de manutenção.</li> <li>- Integração da manutenção com outras áreas da empresa.</li> <li>- Facilidade em realizar contatos com órgãos externos à empresa.</li> </ul>

Figura 2.8 - Análise da Área de Engenharia de Manutenção.

A análise de desempenho de equipamentos talvez seja a mais importante das atribuições da área de engenharia de manutenção, pois além de fornecer uma avaliação do estado dos equipamentos, presta o apoio à tomada de decisões e facilita a identificação de oportunidades de melhoria.

### 2.2.3 Modelos de Melhoria do Processo de Manutenção Mediante a Análise de Desempenho de Equipamentos

A literatura especializada sobre manutenção formula alguns ensaios sobre a função destinada à análise de desempenho de equipamentos. Monchy (1989, p. 59) apresenta um modelo para a análise do desempenho de máquina, que pode ser generalizado para equipamentos. Considera, no plano humano, a necessidade de análise de segurança; no plano técnico, a análise dos aspectos de disponibilidade (confiabilidade, manutenibilidade e produtividade); no plano econômico, a análise dos custos diretos de manutenção e indiretos da perda de produção, e, no plano técnico-econômico, a análise de durabilidade dos equipamentos.

A análise deste modelo revela uma estrutura destinada à obtenção do conhecimento profundo do equipamento, a ponto de predispor a aptidão para gerenciá-lo a qualquer momento.

Takahashi e Osada (1993, p. 147), atribuem a atividade de melhoria da eficiência do equipamento ao departamento de engenharia de manutenção. Sugerem uma sistemática para investigar a confiabilidade do equipamento, visando uma utilização mais eficaz, a manutenibilidade e a suportabilidade. Também julgam necessário comprometer-se com a investigação dos custos do equipamento. A figura 2.9 apresenta o modelo proposto pelos referidos autores.

Neste modelo identifica-se uma estrutura voltada para a melhoria das atividades de manutenção, para a melhoria do nível de conhecimento técnico sobre o equipamento mediante a análise de engenharia, para a melhoria das técnicas e dos recursos humanos de manutenção e, ainda, para a redução dos custos de manutenção.

Também fica clara a necessidade de dispor dos indicadores de custos de manutenção dentro da estrutura de um modelo para a análise de desempenho de equipamentos. Ao proceder este tipo de análise, necessita-se saber em que ponto da vida útil do equipamento ela acontece, e para tal, é necessário dispor dos

indicadores de custos de manutenção.

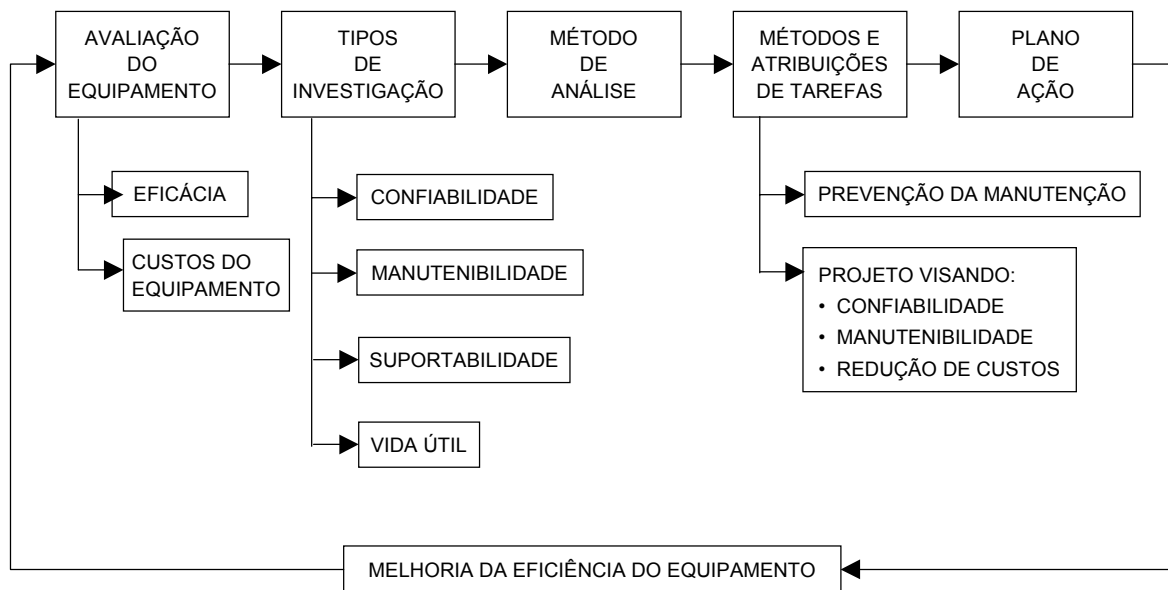


Figura 2.9 - Uma Visão Sistemática da Manutenção Produtiva. (Adaptada de Takahashi e Osada, 1993, p. 148)

Xenos (1998, p. 47) parte da premissa de que “é crescente o entendimento da influência que as falhas dos equipamentos têm nas várias dimensões da qualidade. Sintetiza o papel da análise de desempenho dos equipamentos no processo gerencial, de acordo com a figura 2.10.

A análise deste modelo identifica uma estrutura voltada à satisfação dos clientes da área de manutenção e, por conseqüência, à sobrevivência da organização.

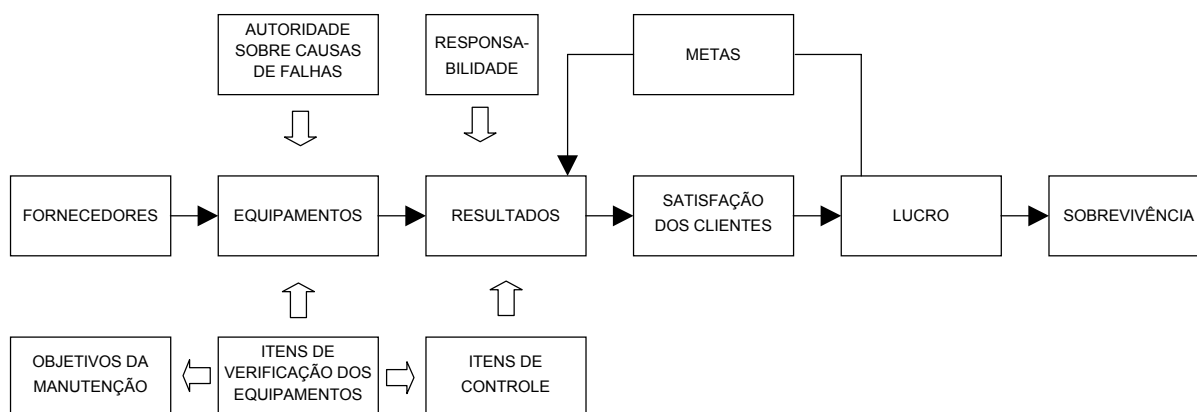


Figura 2.10 - O Desempenho de Equipamentos e o Processo Gerencial. (XENOS, 1998, p. 48)



Scapin (1999, p. 124) sugere matrizes para análise dos equipamentos, montadas a partir da definição do elenco de ferramentas destinadas à análise em cada fase da vida de um equipamento. As matrizes terão configurações diferentes, variando de acordo com o tipo de modificação a ser introduzida, conforme apresenta a figura 2.11. Também recomenda que estas análises sirvam de base na contratação de serviços de manutenção.

Identifica-se que este modelo está estruturado com base nos conjuntos de ferramentas destinadas à análise de cada fase da vida do equipamento.

É conveniente analisar o modelo proposto por Slack (1999, p. 443 a 446) para a melhoria da produção, que pode ser alcançada com o resultado da interação entre as abordagens e técnicas de melhoramento, gerenciamento da qualidade total e prevenção e recuperação de falhas. Define o desempenho como o grau em que a produção preenche as dimensões de custo, confiabilidade, flexibilidade, qualidade e velocidade, em qualquer momento, de modo a satisfazer seus consumidores. Estas cinco dimensões estabelecem os objetivos do desempenho e podem ser compostas de várias medidas. A figura 2.12 apresenta o modelo proposto pelo referido autor.

Acrescenta que após a verificação dos objetivos de desempenho, é necessário fazer o julgamento do desempenho propriamente dito, envolvendo algum tipo de padrão para comparar com o nível de desempenho atingido. Define os seguintes tipos de padrões mais comumente utilizados:

- padrões históricos, para comparar o desempenho atual com os desempenhos anteriores;
- padrões de desempenho alvos, estabelecidos arbitrariamente para refletir algum nível de desempenho entendido como satisfatório;
- padrões de desempenho da concorrência, para comparar o desempenho próprio com o que está sendo atingido por outras organizações;
- padrão de desempenho absoluto, estabelecido por limites teóricos, como por exemplo, zero defeitos ou zero estoque.

Embora Slack vise a produção como objetivo, seu modelo pode ser perfeitamente transposto para o desempenho da manutenção e por conseguinte para o desempenho de equipamentos. Neste modelo, facilmente pode ser identificada uma estrutura voltada à obtenção das medidas do desempenho e da melhoria do processo de manutenção de equipamentos.

FERRAMENTAS	CONCEITO	PROJETO	CONSTRUÇÃO	OPERAÇÃO	SUCATEAMENTO
Registros de confiabilidade	X ○ △				
Requisitos de manutenibilidade	X ○ △				
Definição de falhas	X ○ △				
Análise do cenário de uso do equipamento	○ △				
Análise do desempenho		○ △			
Análise do desempenho com enfoque em manutenibilidade		○ △			
Previsão de confiabilidade		X ○ △			
FTA	X ○ △	X ○ △	○ △	X ○ △	
Análise crítica		○ △			
Análise dos componentes		○	△		
Estudo de tolerâncias			△		
Análise de stress			X △		
Teste de qualificação			○ △		
Teste de aprovação			X ○ △		
Relação de melhoria de confiabilidade				X ○ △	
Relatório de falha				X ○ △	
Dados de <i>feedback</i>				X ○ △	
<p><b>Aplicabilidade da ferramenta nas fases do equipamento, quando:</b></p> <p>X - Modificações introduzidas são reduzidas;</p> <p>○ - Modificações introduzidas são grandes;</p> <p>△ - Modificações de conceito e projeto abrangendo sistemas complexos.</p>					

Figura 2.11 - Matrizes para Análise em Função de Modificações Introduzidas no Equipamento. (Adaptada de Scapin, 1999, p. 125-127)

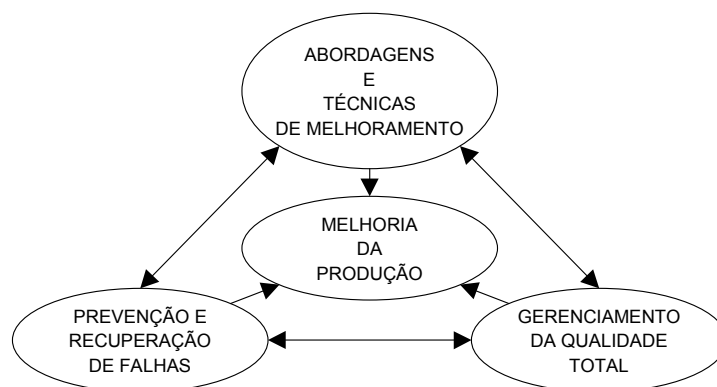


Figura 2.12 - Modelo de Melhoria da Produção. (SLACK, 1999, p. 443)

Pinto e Xavier (2001, p. 14) identificam que não é suficiente uma organização melhorar continuamente seus indicadores. O planejamento estratégico deve estar presente no modelo, para garantir uma evolução mais rápida que os concorrentes, através da comparação de indicadores de desempenho nacionais e internacionais. Deve ser medida e comparada a disponibilidade e confiabilidade, custos, redução da demanda de serviços em equipamentos, faturamento proporcionado, segurança pessoal e das instalações, bem como moral e motivação dos colaboradores. A figura 2.13 apresenta o modelo proposto para a obtenção de uma unidade de alto desempenho.

A análise deste modelo identifica uma estrutura voltada à gestão de ações de melhoria no equipamento, programadas para acontecer no momento mais adequado.

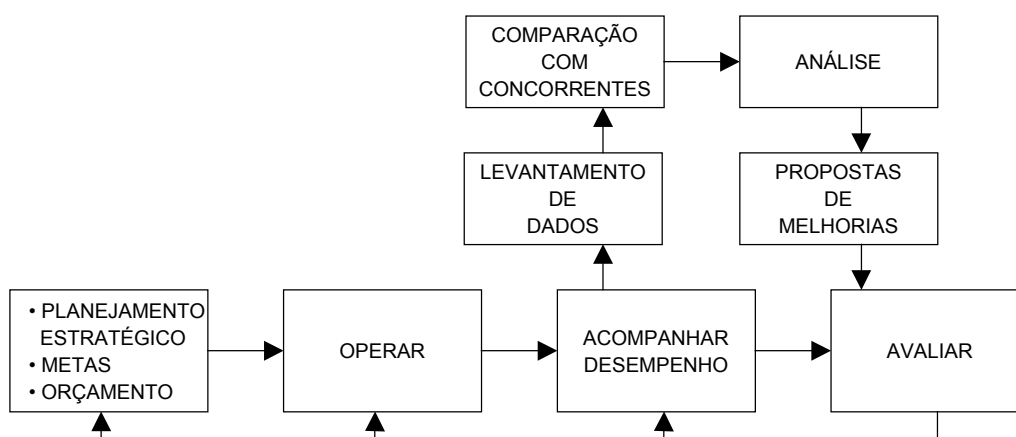


Figura 2.13 - Planejamento Estratégico e *Benchmarking*. (PINTO e XAVIER, 2001, p. 14)

Ambientes empresariais também buscam o desenvolvimento de modelos para análise de desempenho de equipamentos. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), está trabalhando para consolidar um modelo baseado na análise dos indicadores de desempenho de equipamentos da rede de operação. As figuras 2.14 e 2.15 apresentam a evolução do tema.

Analisando o modelo proposto pelo ONS, identifica-se uma estrutura destinada à padronização de critérios e procedimentos de manutenção utilizados pelas empresas do setor de produção de energia elétrica, baseada na definição e divulgação das melhores práticas, e, na obtenção de *benchmark* e metas para a melhoria do desempenho de equipamentos.

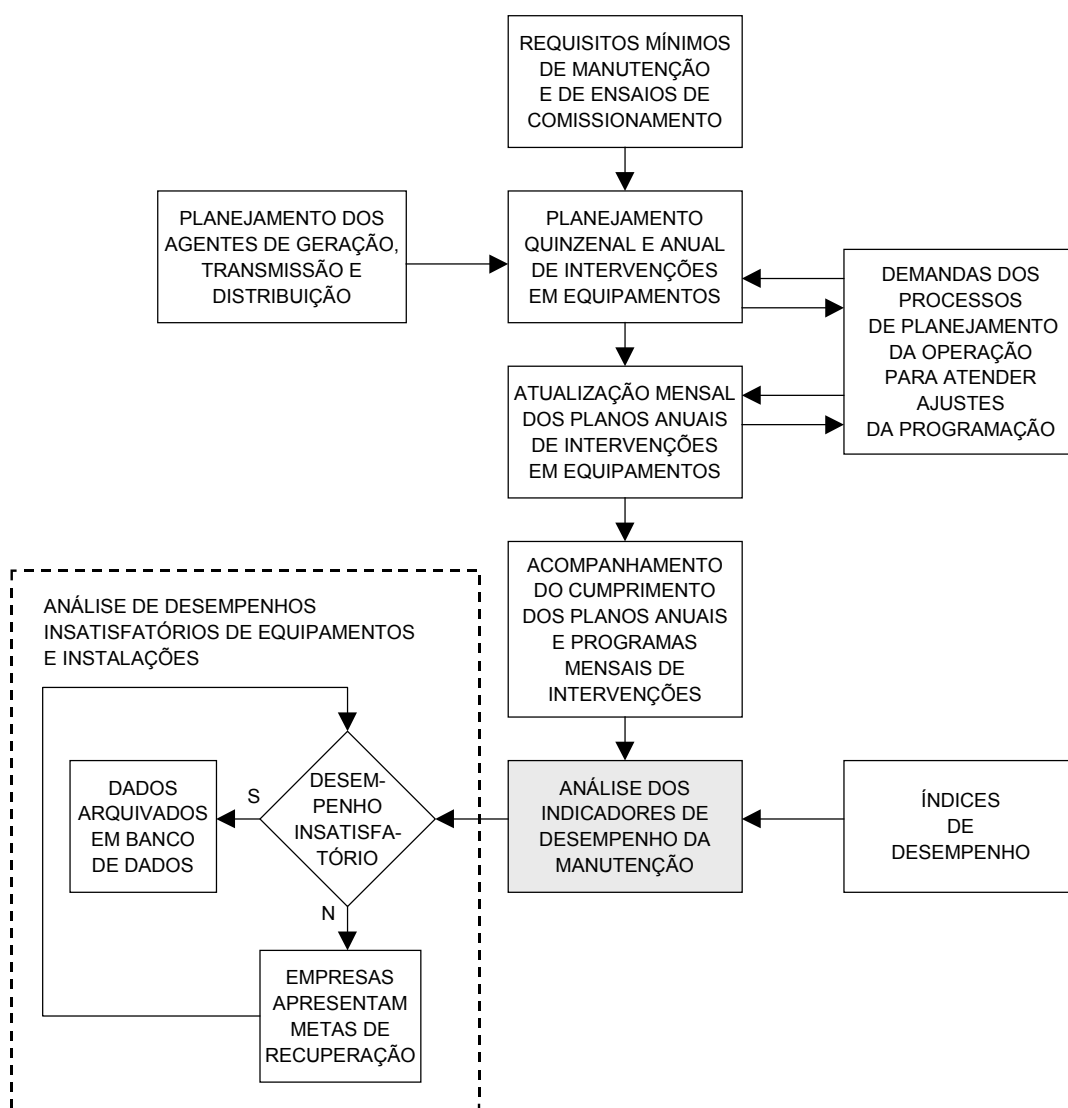


Figura 2.14 - Visão da Filosofia do Gerenciamento da Manutenção. (ONS, 1999, p. 4)

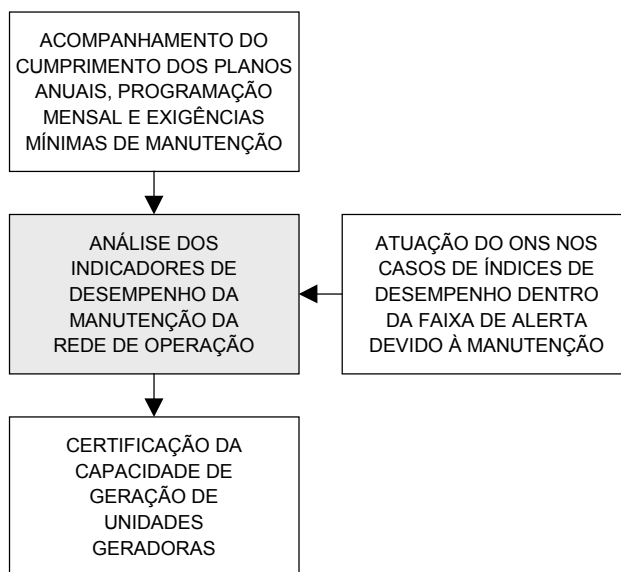


Figura 2.15 - Macroprocesso de Acompanhamento da Manutenção. (ONS, 2001, p. 7)

A Assetsman S.A., empresa de serviços de estudo e de consultoria de métodos de auxílio à decisão na operação dos bens industriais, propõe um modelo baseado na gestão do ciclo de vida de um ativo, no contexto estratégico da empresa, a fim de otimizar o retorno de investimento. A figura 2.16 apresenta o modelo *asset management*.

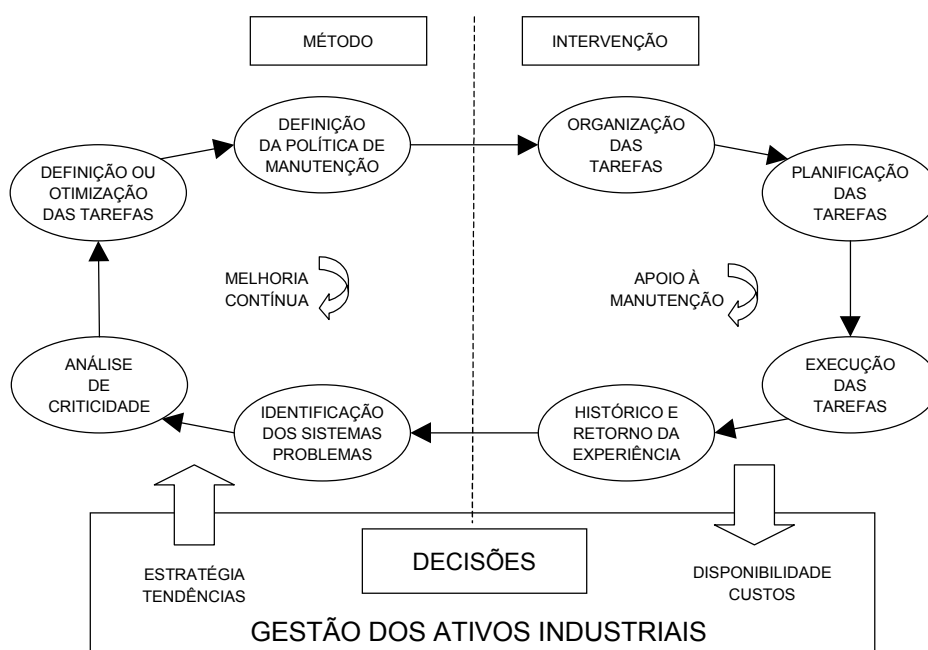


Figura 2.16 - *Asset Management*. (Adaptada de Azevedo, 2001, p. 8)

De acordo com Woodhouse (1994, p. 1-13), a visão *asset management* é baseada na prioridade dada à maximização do retorno de investimento dos equipamentos (ativos industriais) assim como das relações custo/benefício nas tomadas de decisões pelos responsáveis pelos ativos, desde a aquisição até o descarte/venda dos equipamentos.

A figura 2.17 apresenta o resumo das principais características identificadas em cada modelo apresentado.

<b>MODELOS</b>	<b>PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS</b>
Monchy (1989)	Busca o conhecimento profundo dos equipamentos.
Takahashi e Osada (1993)	Busca a melhoria das atividades de manutenção, do conhecimento técnico sobre equipamentos, das técnicas e recursos humanos de manutenção e a redução dos custos de manutenção.
Xenos (1998)	Busca resultados alinhados com a satisfação do cliente e a sobrevivência da organização.
Scapin (1999)	Busca as melhores ferramentas para a análise de cada fase da vida dos equipamentos.
Slack (1999)	Busca as medidas do desempenho e a melhoria do processo de manutenção dos equipamentos.
Pinto e Xavier (2001)	Busca ações de melhoria dos equipamentos, induzidas à acontecer no tempo certo.
ONS (2001)	Busca a padronização de critérios e procedimentos de manutenção, com base na definição de melhores práticas, <i>benchmark</i> e metas para melhoria do desempenho de equipamentos.
Assetsman (2001)	Busca o domínio do ciclo de vida dos equipamentos e a gestão dos ativos industriais.

Figura 2.17 - Resumo das Principais Características de Modelos para Análise de Desempenho de Equipamentos.

De modo geral a maioria dos modelos apresentados está fundamentada na avaliação de falhas ocorridas, expressa pelos indicadores de desempenho. Também não identificam todas as informações necessárias para uma análise mais abrangente sobre outras dimensões relevantes, como o impacto à segurança e ao meio ambiente. Além desses fatores os modelos deveriam propor uma infra-estrutura básica de suporte a essa função; constituir um “farol voltado à frente” com a aplicação de ferramentas que possam viabilizar a prevenção dos problemas, identificação de oportunidades de melhoria e parâmetros de apoio à tomada de decisão; e indicar todos os aspectos que devem ser preservados para que não ocorra o afastamento da forma como os processos foram preconizados e continuem cumprindo sistematicamente seus objetivos (auditoria). Portanto, a proposta deste trabalho é desenvolver um modelo de melhoria contínua para o processo de manutenção, com base na análise de desempenho de equipamentos, que resgate o que os modelos apresentados possuem de melhor e, ainda, seja complementado com os principais aspectos identificados como carência dos referidos modelos.

### **2.3 Gestão da Análise de Desempenho de Equipamentos**

A realização da análise de desempenho de equipamentos não é uma tarefa simples sob o ponto de vista da organização. Para realizá-la é necessário que uma série de etapas sejam vencidas. Inicialmente é imprescindível que os processos de manutenção sejam devidamente mapeados para o adequado entendimento do funcionamento e das inter-relações entre fornecedores e clientes internos ou externos ao processo, que os desdobramentos entre atividades e tarefas sejam identificados em nível adequado, bem como o que representa de valor agregado cada processo, atividades ou tarefas envolvidas. Uma vez estabelecidos processos otimizados é necessário dotá-los de mecanismos de acompanhamento que permitam extrair as informações de forma sistemática, com rapidez, confiabilidade e conformidade, para o suprimento de necessidades operacionais, táticas e estratégicas da área de manutenção. Vencidas essas etapas pode-se então gerir satisfatoriamente a manutenção propriamente dita, com tarefas de execução no momento certo, recursos dimensionados e segurança, proporcionando realimentações contínuas através da análise do desempenho de equipamentos.

Como os processos de manutenção também exigem qualidade, é necessário dispor de algum método que permita a melhoria contínua, o estabelecimento de critérios para a medição, acompanhamento e auditoria da evolução, assim como de metas para a disponibilidade, confiabilidade e custos operacionais de manutenção. Obviamente são tarefas que se apoiam na função de análise de desempenho, inclusive na parte que diz respeito aos equipamentos.

Uma reflexão sobre todas essas etapas permite constatar que a manutenção e principalmente a análise de desempenho de equipamentos, exigem grandes esforços em organização para atingir bons resultados, talvez mais do que investimentos em tecnologia propriamente dita.

### 2.3.1 Gestão dos Processos que Suportam à Análise de Desempenho de Equipamentos

Para iniciar a abordagem da gestão dos processos voltados à análise de desempenho de equipamentos é necessário conceituar o que vem a ser um processo. Segundo Juran (1990, p. 196), um processo é “uma série sistemática de ações direcionadas para a consecução de uma meta”. Detalhando para melhor entender esta afirmação, Juran descreve que um processo deve ser direcionado em função de uma meta, pois somente se pode elaborar o planejamento de um processo se se souber claramente qual é a meta a ser atingida; deve ser sistemático, pois as ações que constituem um processo devem seguir preferencialmente a mesma seqüência operacional; deve ser capaz, pois deve ter como resultado final o atendimento da meta estipulada e também deve ser legítimo, pois deve ser aprovado e reconhecido por todos os envolvidos.

Sob o ponto de vista de Harrington (1993, p. 98), “se você não puder medir o processo, não poderá controlá-lo; se não puder controlá-lo, não poderá gerenciá-lo; e, se não puder gerenciá-lo, não poderá aperfeiçoá-lo”. Harrington também identifica que as medições são fundamentais para o aperfeiçoamento, pois somente através de medições pode-se definir com clareza quais serão as metas a serem atingidas. Portanto, o aperfeiçoamento do processo usará estas informações para avaliar o desempenho do processo, estabelecer metas para o aperfeiçoamento e entender o que é importante.



Para exercer o pleno domínio sobre um processo é necessário conhecê-lo profundamente. Isso é uma premissa básica. Para Harrington (1993, p. 135), “quanto mais nós entendemos os processos empresariais, mais capazes nos tornamos de aperfeiçoá-los”. Para chegar a este nível de comprometimento é necessário compreender quais são as características de um processo. As características mais importantes segundo Harrington, são: o fluxo, relativo às entradas e saídas; a eficácia, que é o grau com que as expectativas dos clientes são atendidas; a eficiência, que é o grau de aproveitamento dos recursos; o tempo de ciclo, destinado a transformar a entrada numa saída; e, finalmente, o custo, mensuração do dispêndio em todo o processo.

De acordo com Harrington (1993, p. 187), “a padronização dos procedimentos de trabalho é importante para assegurar que todos os funcionários, atuais e futuros, façam uso dos melhores meios de realizar as atividades relacionadas com o processo”. Isso significa que se cada pessoa realizar a atividade de uma forma diferente, será no mínimo difícil para realizar aperfeiçoamentos significativos no processo em questão.

Outra afirmação de Harrington (1993, p. 239) induz a uma reflexão profunda e de muito impacto na atribulada rotina diária: “a coleta, a análise e a armazenagem de dados constituem atividades que não agregam nenhum valor, até que os dados sejam usados para controlar, informar ou melhorar um processo”. Na prática não se deve gastar tempo e dinheiro para coletar algum dado que não se tenha a certeza de que será utilizado dentro destas condições. Pior ainda seria manter sofisticados sistemas de medições, sem a convicção de que trará o aperfeiçoamento de algum processo.

Nem sempre o aperfeiçoamento sistemático de processos é a melhor solução. Em alguns casos o que uma organização pode necessitar de um processo é a combinação da inovação radical com a melhoria contínua, defende Davenport (1993). Algumas organizações preferem trabalhar em grupos de processos para resolver problemas empresariais, uma vez que nem sempre há recursos disponíveis para suportar o impacto causado pela reengenharia de todos os processos e além disso, a mudança simultânea de processos múltiplos e estratégicos podem ser de extrema dificuldade para coordenar.

Davenport (1993, p. 51) aponta situações peculiares em que as ações podem ser direcionadas para uma reengenharia de sistemas. São os tais sistemas

“encanados que não podem proporcionar uma visão de conjunto da organização; eles aprisionam dados dentro das funções”. O que quer dizer com isso é que se tivessem seus modelos baseados em processos, e não em funções, com certeza seriam muito mais integrados. Outra situação de grande potencial a essa aplicação é a transformação de sistemas antigos, com muitos anos de vida, que já se encontram mal estruturados devido a inúmeros reparos. Também há sistemas que ao longo da vida se tornam demasiadamente fragmentados e especializados.

A integração de informações invariavelmente exige indicadores de custo de um processo. Sobre isso Davenport (1993, p. 143) identifica que “as metas financeiras, embora importantes, devem ser combinadas de forma equilibrada com as metas baseadas em processo e produtos”. Essa combinação é uma visão estratégica de processo, que se não for considerada previamente poderá inspirar e guiar para uma ação de reengenharia do processo no futuro.

A análise de processos pode efetivamente ser realizada através da aplicação da metodologia de análise de valor, podendo-se inclusive, obter-se a taxa de valor agregado de um processo. Sob essa ótica, Harrington (1993, p. 10) define processo como “qualquer atividade que recebe uma entrada (*input*), agrega-lhe valor e gera uma saída (*output*) para um cliente externo ou interno”. Ainda acrescenta que os processos fazem uso dos recursos da organização para gerar resultados concretos, induzindo o pensamento para a melhor forma de organização dos custos envolvidos no processo. Na prática, Possamai (1999, p. 30) cita que estudos têm mostrado que, “em média, as organizações possuem taxas de valor agregado entre 20 e 30%. Isto mostra que a maior parte do que se faz dentro de uma empresa, embora gere custos, não representa valor para o cliente.

Com tendência, os objetivos voltados para o tempo, serviço e flexibilidade estão se tornando cada vez mais importantes nos processos e portanto ganham espaço nas estratégias de reengenharia. Davenport (1993, p. 272) cita vários habilitadores específicos de mudanças para alcançar estes objetivos. Entre os habilitadores citados destacam-se as informações sobre qualidade e desempenho, os sistemas de diagnóstico para manutenção e de gerenciamento de materiais e estoques. Para Levitt (1997, p. 114) a reengenharia dos processos de manutenção deve considerar os indicadores de *benchmark*, a avaliação das melhores práticas e o alinhamento com o planejamento estratégico, principalmente quanto às medidas de desempenho.

Sobre a manutenção de equipamentos, Davenport (1993, p. 274) identifica que “é um processo relativamente não estruturado e que poderia beneficiar-se muito da aplicação dos princípios de reengenharia de processos”. O que quer dizer é que poder-se-ia reduzir muito o tempo necessário para diagnosticar um defeito ou falha em um equipamento, por meio do desenvolvimento de sistemas especialistas em diagnósticos, facilitando em muito a tomada de ações corretivas e preventivas.

De acordo com o Manual Geral de Descrição do Sistema de Operação e Manutenção da Itaipu Binacional (1995, p. 30), os macroprocessos de manutenção representam o planejamento, programação, execução, controle, análise de desempenho de equipamentos e a normatização da manutenção. Estão interligados entre si estabelecendo um sistema aberto, de reconhecimento universal, onde pode variar o detalhamento e ênfase de cada atividade ou tarefa.

O planejamento da manutenção, considerado por Fischmann e Almeida (1991, p. 26) como “planejamento a médio e longo prazo”, destina-se à exploração do orçamento empresarial e não considera as alterações ambientais e de rumo da organização, mas facilita a elaboração do planejamento estratégico empresarial e deste recebe as premissas para atualizações sistemáticas. O planejamento da manutenção deve estar sincronizado com as diretrizes do planejamento estratégico da organização.

A programação da manutenção deve efetuar o detalhamento das atividades que serão realizadas a curto prazo nos equipamentos, estabelecendo quais serão os recursos que serão utilizados e os prazos e duração de cada atividade de manutenção.

Uma vez consolidada a programação deve-se executar as atividades de manutenção nos equipamentos, com apoio dos procedimentos de execução e de segurança pessoal e dos ativos físicos. Os procedimentos de manutenção devem ser representativos, reconhecidos por todos os envolvidos e também devem prever todas as atividades e tarefas preparatórias, bem como os registros históricos das ocorrências durante a execução da manutenção, tanto de caráter descritivo como de grandezas físicas.

O controle sobre a execução deve ser sistematizado com base na fidelidade aos procedimentos citados. É muito importante a ação do controle para a garantia de dados confiáveis sobre os equipamentos. São estes dados que alimentarão o processo de análise de desempenho de equipamentos.

A análise de desempenho, objeto principal desta pesquisa, tem como produto principal fornecer os indicadores do estado real dos equipamentos, bem como realimentar todos os demais macroprocessos, principalmente a normatização, que regulamentará e padronizará todos os procedimentos de manutenção. A normatização também exerce grande influência sobre a manutenibilidade, pois auxilia no sentido de reduzir os tempos de execução de manutenção, na medida em que todos se tornam conhecedores do que e como devem ser feitas as atividades.

A figura 2.18 apresenta o sistema de manutenção de equipamentos.

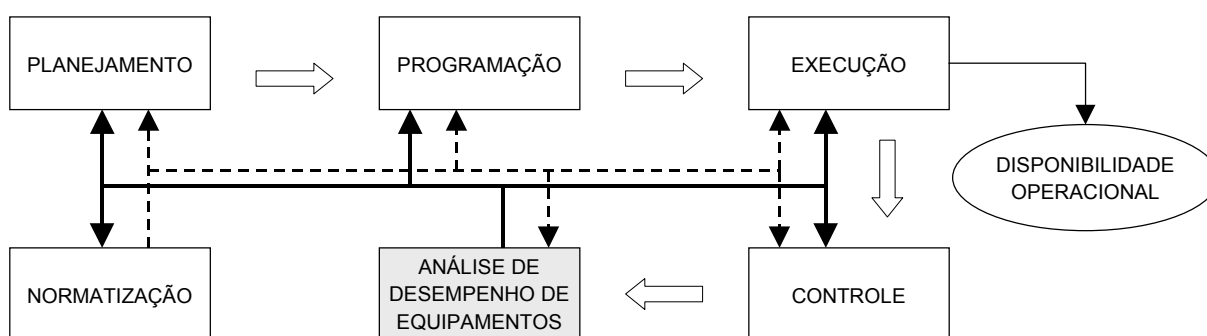


Figura 2.18 - O Sistema de Manutenção. (Adaptada de Itaipu Binacional, 1995, p. 30)

O macroprocesso de análise de desempenho de equipamentos pode ser subdividido em outros processos ou atividades como os seguintes: análise da organização dos equipamentos, da manutenção preventiva, da manutenção corretiva, dos dados de produção, dos custos e finalmente do impacto ao meio ambiente e segurança pessoal.

### 2.3.2 Gestão da Informação Destinada à Análise de Desempenho de Equipamentos

Etimologicamente, informação é o processo que organiza a ação. Srour (1998, p. XV - XXIII) que escreveu sobre o “prodígio das revoluções silenciosas” e relaciona esta questão com as “conquistas da sociedade da informação”, explica este mecanismo da seguinte forma: “os dados ao provocarem alguma ação por parte dos receptores convertem-se em informação”. A conquista está justamente no devido preparo para realizar esta ação. Para os economistas, informação é a redução ou remoção da incerteza. Para os administradores, a informação é um

insumo do processo de tomada de decisão e também é uma forma de avaliação das ações que são deflagradas após a decisão. Nos dois casos a informação materializa um recurso que agrega valor aos processos e aos produtos.

De acordo com Drucker (1995, p. 87) “uma base de dados, por maior que seja não é informação. Ela é minério de informação”. O que Drucker quer dizer é que para transformar esta matéria prima em informação é necessário primeiro organizá-la de acordo com os processos ou atividades e depois aplicá-la em tomadas de decisão.

Para Rezende e Abreu (2000, p. 109) “quanto maior o valor e a qualidade da informação, maior a probabilidade de acerto ou tomada de decisão”. Portanto o fluxo de informações ligadas ao negócio da empresa fazem parte do patrimônio e conseqüentemente possuem custo e valor associado.

A necessidade da tomada de decisões rápidas é influenciada pela pressão do tempo, que segundo Rezende e Abreu (2000, p. 65) “está vinculada com a velocidade dos acontecimentos nos negócios e de seus respectivos impactos”. Além da pressão pelo tempo, outros fatores como objetivos de decisão vinculadas a metas de empresa, competição, criatividade, aspectos internacionais e avanços da tecnologia, podem requerer soluções de problemas através dos sistemas de informações. Laudon (1996, p. 9) define tecnicamente um sistema de informação como “um conjunto de componentes inter-relacionados que coletam (ou resgatam), processam, armazenam e distribuem a informação para o apoio à tomada de decisão e controle em uma organização”.

Os sistemas de informações também devem atender aos indicadores de desempenho determinados pelas empresas, contemplando o valor e o custo de ações e seus resultados. De acordo com Drucker (1995, p. 89-93) o mais difícil dos novos desafios é ter que juntar dois sistemas de informações que hoje as empresas administram em paralelo. O processamento de dados baseado em computador e o sistema contábil. No mínimo tem-se que torná-los compatíveis. Drucker vai além quando afirma que o sistema contábil deve ser baseado em atividades, de forma a registrar todos os custos e relacioná-los ao valor adicionado, algo que a contabilidade tradicional não pode fazer.

As referências apresentadas conduzem a pensar no sistema de gerenciamento da manutenção como módulo dos sistemas de informação das funções empresariais. Implantar um sistema de gerenciamento da manutenção, coletar e armazenar dados são atividades que não agregam nenhum valor. Agregação de valor está associada, como visto, à utilização dos dados disponibilizados, que devem ser transformados em informações que possibilitem à tomada de decisões que gerem ações técnicas e gerenciais nos processos de manutenção. Portanto, um sistema de gerenciamento de manutenção, por si só, não garante um desempenho excelente. Conforme Moreira (2001, p. 3) “é necessário a integração de várias partes, tais como coleta, armazenagem e tratamento dos dados, tendo como elo a análise sistemática dos dados”. A coleta de dados requer que sejam desenvolvidos métodos, procedimentos e formulários para que esta etapa torne-se eficiente. A armazenagem de dados deve ser segura para permitir a facilidade de acesso e disponibilidade a qualquer momento. O tratamento de dados deve facilitar a etapa de análise, através da representação auxiliar de gráficos de controle, histogramas, distribuição de freqüência, diagramas de causa e efeito, dentre outros.

Xenos (1998, p. 37) apresenta os principais elementos de um sistema de gerenciamento da manutenção. A missão, as metas de melhoria e o plano de manutenção compõem a estrutura principal. O plano de manutenção tem uma posição de destaque, sendo alimentado com os padrões de manutenção e realimentado pelos resultados das inspeções e pelo sistema de tratamento de falhas. Ressalta que o cumprimento do plano de manutenção permitirá “que a empresa atinja seus objetivos de lucratividade e sobrevivência através de equipamentos que não apresentem falhas e que não prejudiquem a qualidade, o custo e a entrega dos serviços e que não coloquem em risco a segurança e a integridade do meio ambiente”.

Contador (1998, p. 407) preconiza que “para a gestão da manutenção ser eficaz é necessário que seja tratada dentro de um enfoque sistêmico, considerando as diversas interfaces envolvidas”. Portanto considera que o sistema de gerenciamento da manutenção deve se integrar com os sistemas de produção e de materiais sobressalentes, para garantir a eficácia na execução dos serviços e a qualidade da informação proveniente do histórico técnico e de custos.

A partir do levantamento das melhores práticas de manutenção aplicadas nas indústrias, Nagao (1998, p. 84) identifica os campos para o desenvolvimento da metodologia de análise da manutenção industrial. Estes campos de análise foram considerados de importância fundamental para o desempenho da manutenção e conseqüentemente dos equipamentos. O resultado apresentado estabelece que a prática da medição de desempenho depende da gestão de custos, da gestão de materiais, da gestão da contratação de serviços, dos indicadores de desempenho e também do sistema de gerenciamento da manutenção. Portanto, um bom sistema de gerenciamento da manutenção é fundamental para a prática da medição do desempenho, e este por sua vez, somente se consegue com a análise dos dados fornecidos pelo estado dos equipamentos.

Mas somente a medição do desempenho não basta. Os executivos querem informações que possibilitem fazer julgamentos informados. Segundo Drucker (1995, p. 106) “são quatro os conjuntos para diagnóstico: informações básicas, informações sobre produtividade, informações sobre competências e sobre a alocação de recursos escassos” e devem ser emanados do funcionamento dinâmico das funções empresariais.

Juran (1989, p. 172) estabelece os métodos e ferramentas para o diagnóstico de problemas esporádicos, que guardam muita relação com o problema da análise de desempenho de equipamentos. A análise, para obtenção do diagnóstico, obedece a seguinte cronologia:

- autópsias para determinar com precisão a natureza das deficiências;
- comparação dos serviços executados antes e depois de o problema ser identificado, para verificar o que alterou; e, comparação de serviços adequados e inadequados feitos antes e depois de identificação do problema;
- comparação do processo antes e depois de o problema ser identificado para verificar quais parâmetros se alteraram;
- reconstituição dos fatos por meio de registros cronológicos (eventos ocorridos no processo antes e depois da alteração esporádica e informações dos serviços relacionados com o tempo).

Em síntese, para que seja possível obter o sucesso desejado é necessário transformar dados em informação, organizando-os em torno de uma tarefa e dirigí-los para a obtenção de um desempenho, por meio das seguintes etapas:

- preparação de procedimentos padronizados de manutenção;
- coleta de dados de equipamentos;
- armazenamento de dados;
- tratamento de dados;
- análise de dados de equipamentos;
- diagnóstico de equipamentos.

Como complemento, observa-se que não basta possuir as informações quantitativas sobre a ocorrência de falhas ou defeitos de equipamentos. É necessário conhecer os aspectos da gravidade da ocorrência, com que frequência ela pode ocorrer e se apresenta facilidade, ou não, para ser detectada. Uma análise satisfatória de falha, por exemplo, deve ser baseada no risco de falha. Este índice é obtido através da multiplicação de três fatores que levam em conta a gravidade (G) da falha, a frequência (F) com que ela pode ocorrer e o grau de dificuldade para detectar (D) essa falha antes da ocorrência. De acordo com Palady (1997, p. 129), quanto maior for o resultado deste produto, maior será o risco de falha.

É importante ressaltar que todos os recursos mencionados devem ser utilizados somente para a obtenção de informações dos equipamentos de alta criticidade. Os critérios para o estabelecimento da criticidade de equipamentos, podem ser definidos de acordo com a importância que eles exercem no processo produtivo.

Finalmente, a análise dos dados e o diagnóstico sobre os equipamentos podem ser materializados por meio de pareceres textuais ou relatórios técnicos, emitidos sistematicamente pelos analistas de manutenção encarregados de acompanhar o desempenho dos equipamentos. Dunn (1996, p. 6) complementa indicando que os relatórios de desempenho devem balancear um conjunto de medidas fortemente alinhadas com as estratégias e objetivos da empresa.

### 2.3.3 Gestão dos Procedimentos de Manutenção que Viabilizam a Análise de Desempenho de Equipamentos

Somente o domínio sobre os processos monitorados por sistemas de gerenciamento da manutenção não é suficiente para se obter os dados pertinentes ao desenvolvimento da análise de desempenho de equipamentos. Também é



necessário estabelecer procedimentos de manutenção representativos e reconhecidos por todos envolvidos. Esses procedimentos devem estipular o quê, quando, como e por quem devem ser feitas as atividades de manutenção, de forma normalizada, divulgada e armazenada ao alcance de todos usuários.

Para elaborar os procedimentos de manutenção é necessário utilizar de vários tipos de informações, como as disponíveis nos manuais dos fabricantes, nas especificações dos equipamentos e aquelas decorrentes da experiência própria das equipes de manutenção e operação. Para sistematizar a elaboração destes procedimentos, é recomendável utilizar métodos e ferramentas consagradas para essa finalidade, apoiadas por padrões de manutenção e materiais sobressalentes, vigentes. A Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), a Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA), a Análise de Sobressalentes Centrados em Confiabilidade (RCS) e a Análise Preliminar de Riscos (APR) são exemplos destas ferramentas e metodologias. Para a validação dos procedimentos de manutenção é recomendável recorrer ao conjunto de conhecimentos disponibilizados pela ergonomia.

#### 2.3.3.1 Padrões de manutenção

Os Padrões de Manutenção estabelecem e padronizam as atividades periódicas a serem realizadas nos equipamentos, bem como as respectivas frequências de execução. O estabelecimento do padrão é consolidado com base nas informações oriundas do fabricante do equipamento, nas recomendações de órgãos normativos, na experiência do pessoal de manutenção e no produto da análise de desempenho dos equipamentos envolvidos. Pode envolver um ou vários desses aspectos. A padronização visa garantir a uniformidade de procedimentos de manutenção para equipamentos similares e com criticidade equivalente, resultando em ganhos de qualidade e produtividade.

A abrangência dos padrões de manutenção deve ser irrestrita, podendo ser aplicada a todos os equipamentos permanentes de uma planta industrial, com o auxílio de um banco de dados que contém a relação de atividades padronizadas a serem executadas, a aplicação (que geralmente é feita para equipamentos codificados), a família de componentes, a periodicidade de execução e outros dados complementares. Quando a periodicidade praticada difere do padrão estabelecido, deve ser registrada a justificativa adequada para a quebra do referido padrão. Mostia

(2001, p. 1-4) corrobora quando afirma que “padrões e codificação são uma boa prática de engenharia” de manutenção.

Os padrões para materiais sobressalentes estabelecem e padronizam os dados que serão utilizados para a gestão dos estoques físicos. O estabelecimento do padrão é consolidado principalmente com base nos descritivos do material sobressalente, nas especificações técnicas para aquisição e na definição do estoque máximo e mínimo a ser praticado. Segundo Nagao (1998, p. 93), “70 a 90% do estoque, exceto matéria prima e energia, são de responsabilidade da manutenção. Materiais sobressalentes e equipamentos de reserva podem representar 30 a 80% do orçamento da manutenção”. A padronização visa otimizar o aproveitamento dos recursos de materiais de reserva, reduzindo em muito os custos de manutenção dos estoques.

### 2.3.3.2 Manutenção centrada em confiabilidade

Nas duas últimas décadas a manutenção provavelmente evoluiu mais do que qualquer outra disciplina de gerenciamento. Essa evolução deve-se ao aumento da quantidade e diversidade dos ativos físicos a serem mantidos, projetos cada vez mais complexos e otimizados, novas metodologias de manutenção e crescente reconhecimento pela responsabilidade da manutenção dentro de uma organização.

Diante deste contexto, Moubray (1997, p. 5) descreve o aumento da expectativa em relação à manutenção e a respectiva evolução das técnicas de manutenção que deram suporte metodológico em cada uma das gerações investigadas. A figura 2.19 apresenta cronologicamente as expectativas e técnicas que caracterizaram as gerações.

Os conteúdos que caracterizam cada geração inserem indubitavelmente a RCM como um método de terceira geração, destinado ao planejamento da manutenção para instalações industriais complexas, à integração das diversas formas de manutenção descritas no item 2.1.1 e à racionalização e otimização do plano de manutenção da instalação. Moubray (1997, p. 7) define que “manutenção centrada em confiabilidade é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente”. Portanto, a RCM tem como paradigma central a preservação da função do sistema, além da

missão de identificar as tarefas com base no que e porque devem ser realizadas, priorizando fortemente a coleta e análise contínua de dados de falhas.

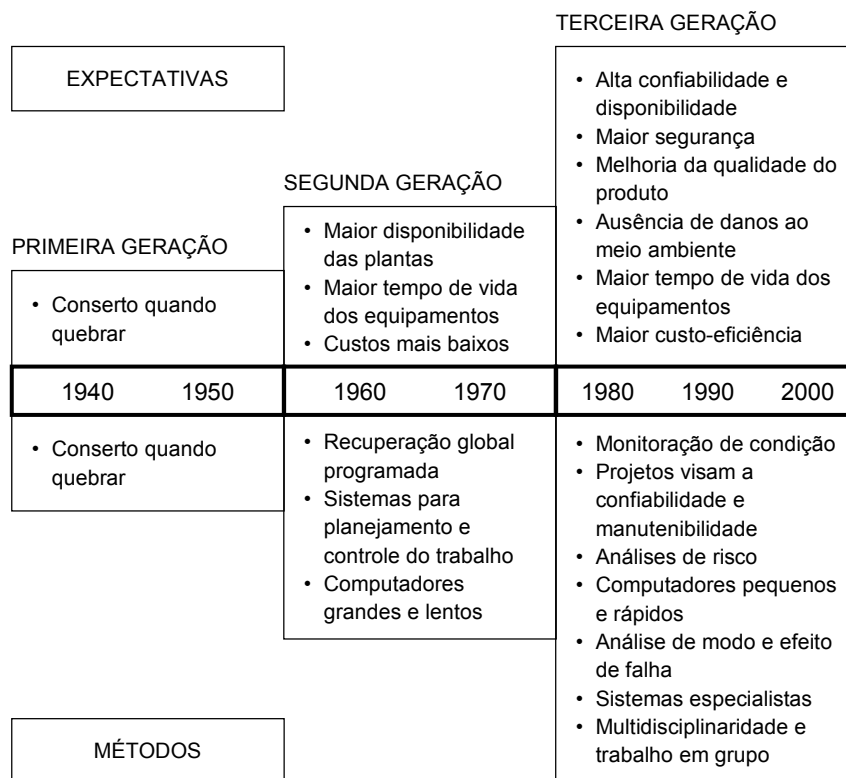


Figura 2.19 - Expectativas da Manutenção e as Ferramentas de Suporte às Decisões. (MOUBRAY, 1997, p. 3-5)

Uma das etapas importantes no processo de RCM é a identificação das falhas funcionais e dos modos de falhas dominantes. Neste momento a ferramenta de FMEA encaixa-se perfeitamente. De acordo com Palady (1997, p. 5) a FMEA é uma técnica que oferece três funções distintas, sendo:

- uma ferramenta para prognóstico de problemas;
- um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados;
- o diário do projeto, processo ou serviço.

Para Oliveira (2001, p. 71) a FMEA é uma “técnica de análise indutiva onde o raciocínio parte da perda de função (modo de falha) de um único componente até uma conclusão geral sobre o efeito correspondente do sistema como um todo”.

A FMEA é utilizada para relacionar os modos de falha dos componentes e subsistemas de um sistema, e, identificar os efeitos dessas falhas sobre o sistema. É empregada usualmente em estudos de confiabilidade, qualidade e, obviamente, em manutenção centrada em confiabilidade.

A RCM não deve ser aplicada em sistemas triviais. Conforme Jones (1995, p. 158), a RCM deve ser aplicada em sistemas que satisfaçam um ou mais dos seguintes critérios:

- contribuição significativa com a disponibilidade da planta;
- expectativa de ganhos econômicos;
- falhas operacionais e ocultas afetam a segurança;
- o sistema é novo e requer plano de manutenção;
- há preocupação com poder regulador e legal;
- falhas acarretam risco ao meio ambiente;
- o sistema absorve grande quantidade de mão de obra.

Entre os principais benefícios da RCM podem ser relacionados a redução dos custos de manutenção (particularmente da manutenção preventiva), o aumento da disponibilidade da instalação, a rastreabilidade futura das decisões relacionadas com o plano de manutenção e, principalmente, fornece as bases racionais para o planejamento da manutenção, através da seleção de tarefas de manutenção. Além dos benefícios a RCM também pode tomar parte da implantação da Manutenção Produtiva Total (TPM), pois, de acordo com Fleming (2000, p. 84) “enquadra-se perfeitamente no pilar básico da manutenção planejada”. Campbell (1995, p. 103-137), que apresenta as estratégias para a excelência no gerenciamento da manutenção, inclui a RCM como ferramenta para a obtenção da melhoria contínua. Fica demonstrado que é possível compor procedimentos de manutenção aplicáveis e eficazes que viabilizem e garantam uma base sistemática para o processo de melhoria contínua, através da análise do desempenho de equipamentos e instalações.

Finalmente, Juran e Gryna (1991, v.1, p. 26) lembram que a eficácia da manutenção é influenciada pelo apoio logístico, e que este apoio é mensurado pela disponibilidade de peças sobressalentes. Neste contexto, Takahashi e Osada (1993, p. 215) recomendam que as peças sobressalentes também devem ser inspecionadas, testadas periodicamente e também podem necessitar de

manutenção para evitar a deterioração. A metodologia de análise de Sobressalentes Centrados em Confiabilidade (RCS) estabelece o caminho para compor os procedimentos adequados à esta finalidade, complementando a gestão dos procedimentos de manutenção.

#### 2.3.3.3 Análise preliminar de risco

A Análise Preliminar de Risco (APR) consiste em estudo que tem como finalidade determinar os riscos que poderão estar presentes na fase operacional dos equipamentos de uma instalação. Segundo Saliba Filho (2001, p. 9), trata-se de um “procedimento que possui importância nos casos em que o sistema a ser analisado possui pouca similaridade com outros existentes, seja pela inovação ou pioneirismo, o que vale dizer, quando a experiência em riscos na sua operação é deficiente”.

A APR é uma análise qualitativa que possui a capacidade de identificar as principais situações de risco e de estabelecer linhas de ação de controle, desde o início do ciclo de vida dos equipamentos. Tem como metodologia a revisão geral dos aspectos de segurança para a determinação de medidas preventivas ou corretivas e a categorização dos riscos para a priorização de ações.

A relação de medidas preventivas complementam os procedimentos de manutenção que compõem o elenco de medidas de controle durante toda a fase operacional dos equipamentos, permitindo revisões em tempo hábil no sentido de proporcionar maior segurança ao pessoal e meio ambiente.

#### 2.3.3.4 Ergonomia

De acordo com Wisner (apud GONTIJO, 2000, p. 2) a ergonomia é definida como o “conjunto dos conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos, bem como o projeto do trabalho, que possam ser utilizados com o máximo de conforto, de segurança e eficácia”. Portanto, percebe-se de imediato que a ergonomia não é uma ciência mas sim um conjunto de conhecimentos destinados a um objetivo.

O campo de estudo da ergonomia, para viabilizar a análise do trabalho, estabelece uma diferença entre a análise da tarefa e a análise da atividade. A análise da tarefa considera o que o trabalhador deve realizar e as condições

ambientais, técnicas e organizacionais para esta realização. Como resultado surge a prescrição da tarefa. A análise das atividades considera o que o trabalhador efetivamente realiza para executar a tarefa. É o comportamento real do homem no trabalho.

A análise das atividades, em termos de informação, está baseada no homem, como sistema de detecção e tratamento da informação, e nos elementos do trabalho, como fonte de informações para o executor. Este tratamento só é possível, em função de regras, formais e informais, que permitem ao homem compreender o funcionamento da máquina e seu desempenho.

Segundo Gontijo (2000, p. 33) “a análise ergonômica do trabalho torna-se uma ferramenta capaz de permitir uma gestão mais participativa, contando com a interação do pessoal do nível gerencial com os operários, antes de tomar uma decisão, evitando assim as grandes diferenças entre o trabalho prescrito e o trabalho real”. Um argumento que muitos utilizam para explicar a defasagem entre tarefa e atividade, ou seja, se o executor não realiza seu trabalho da maneira com foi prescrito, é porque a tarefa foi mal concebida. O papel da ergonomia seria o de indicar recomendações necessárias a uma concepção adaptada ao executor.

A gestão da defasagem entre tarefa e atividade, no sentido de reduzi-la, é muito importante para consolidar procedimentos de manutenção confiáveis, atualizados e representativos. Ações neste sentido também promovem a salutar aproximação entre o prescritor da tarefa, que geralmente é o analista de manutenção, e o executor da atividade.

Os procedimentos de manutenção exercem especial importância no macroprocesso de análise de desempenho de equipamentos. Eles norteiam a execução da manutenção, originando os dados fundamentais para a análise. Esta, por sua vez, gera as informações que normatizam os padrões utilizados nos procedimentos de manutenção.

#### 2.3.4 Gestão da Qualidade Implícita à Análise de Desempenho de Equipamentos

A gestão da análise de desempenho de equipamentos depara-se freqüentemente com resultados indesejáveis, tanto no período de funcionamento como no processo de controle destinado a monitorar os referidos equipamentos. Sendo assim, é necessário o conhecimento e aplicação de um método adequado

para a solução de problemas, de um esquema apropriado para a auditoria dos procedimentos de manutenção e de alguns conceitos que encaminham ao entendimento da gestão da qualidade enquanto conjunto de métodos.

Segundo Ishikawa (1993, p. 27), “praticar um bom controle de qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto de qualidade que seja mais econômico, mais útil e sempre satisfatório ao consumidor”. No caso dos serviços de manutenção, todos os gerentes e técnicos envolvidos precisam trabalhar juntos.

Para que o controle de qualidade total possa ser praticado por todos, é necessário o entendimento do que significa o termo qualidade. De acordo com a definição de Juran e Gryna (1991, v. 1, p. 21), “qualidade é adequação ao uso”. Portanto, um serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente às necessidades do cliente, contemplando os aspectos de qualidade intrínseca (serviço bem feito), dos custos, dos prazos de entrega e do nível de satisfação e segurança dos executores do serviço.

Como visto no item 2.3.1, o processo de análise de desempenho de equipamentos é uma combinação de elementos, e para que possa obter resultados satisfatórios é necessário saber o que medir. A primeira tarefa consiste na identificação de seus clientes, os quais deverão ter suas necessidades satisfeitas. Para a garantia da satisfação dos clientes será preciso transformar as características da qualidade do serviço em grandezas mensuráveis, as quais são denominadas itens de controle. Os itens de controle são acompanhados periodicamente para que seja possível detectar eventuais resultados indesejáveis do processo. Qualquer resultado indesejável do processo pode ser caracterizado como um problema, ou seja, pode ser compreendido por um item de controle que não atinge o nível desejado.

No processo de análise de desempenho os principais itens de controle são destinados a medir a disponibilidade e a indisponibilidade operacional como forma de verificação da eficiência dos equipamentos, a frequência de ocorrência de falhas como forma de acompanhamento da confiabilidade dos equipamentos e o tempo médio de reparo como forma de acompanhamento da rapidez de resposta e prazos de entrega dos serviços realizados nos equipamentos.

De acordo com Xenos (1998, p. 52), “todo problema representa um desafio a ser superado para que a meta seja alcançada”. Portanto, uma vez identificado um problema, é necessário tratá-lo com apoio de alguma metodologia de solução de problemas. Após a identificação da solução do problema, deve ser estabelecido um plano de ação composto de um conjunto de contramedidas com o objetivo de bloquear as causas fundamentais.

Durante a análise do problema pode surgir a necessidade de utilização de grande quantidade de dados. Quanto maior for o volume de dados utilizados, maior será a necessidade do emprego de ferramentas apropriadas para coletá-los e processá-los, transformando-os em informações, conforme visto em detalhes no item 2.3.2. Em função disto, as ferramentas da qualidade devem ser utilizadas para coletar e processar os dados, disponibilizando as informações necessárias à melhoria contínua dos resultados.

Uma reflexão sobre a adequação da infra-estrutura destinada ao desenvolvimento da análise de desempenho de equipamentos, leva à constatação da necessidade de um exame sistemático e independente para determinar se os resultados obtidos cumprem os objetivos de forma eficaz, isto é, se a documentação dos procedimentos de manutenção e sua aplicação têm relação adequada com a qualidade requerida pelo produto da análise de desempenho. Em segunda instância o próprio produto da análise de desempenho de equipamentos, materializado pelos relatórios e pareceres técnicos, pode ser auditado. Segundo Mills (1994, p. 37) a auditoria do sistema de qualidade “é um exame e observância do sistema à determinada norma de referência”, e pode ser feita em função da adequação da qualidade, que avalia a documentação, ou em função da conformidade da qualidade, que avalia as operações dentro do sistema da qualidade.

Muitas organizações de grande porte e principalmente as de pequeno porte acabam não documentando seus procedimentos pelo fato de acharem que isto inibiria os envolvidos à buscarem novas alternativas para as atividades, ou então, até mesmo, pela absoluta falta de tempo e priorização dos aspectos normativos. De acordo com Mills (1994, p. 81), esta postura decorre da não percepção de que os “documentos não inibem o pensamento criativo quanto ao aperfeiçoamento do processo, mas, ao contrário, fornecem um meio de medir o aperfeiçoamento em relação a uma base conhecida”. Qualquer ação requerida em um processo pode ser executada de várias formas, mas é necessário definir um procedimento padrão, de



forma que permita estabelecer um referencial único ao longo do tempo, garantindo os meios para uma análise consistente. A obtenção de dados quantificados de forma padronizada também é essencial para que a análise de desempenho de equipamentos tenha significado. Somente com um referencial numérico é que se pode determinar se está existindo a melhoria contínua dos processos ou sistemas. A documentação também propicia a preservação da memória técnica da empresa, mesmo para as funções onde passam inúmeras pessoas. Também pode ser vital para a capacitação de novos membros de equipes.

Outra questão relevante com relação à auditoria da qualidade é a importância dada aos relatórios. Para Mills (1994, p. 267), “o relatório dos resultados de uma auditoria da qualidade é a própria razão de ser da auditoria. Ele constitui o produto da atividade da auditoria, com todas as demais atividades constituindo apenas meios para atingir este fim”. A análise de desempenho de equipamentos também deve expressar o seu produto final através de relatório específico e apropriado ao momento. Tem como requisitos o parecer sobre a aceitabilidade do sistema em análise, sobre as recomendações para soluções de eventuais desvios do desempenho requerido e sobre a eficiência dos procedimentos de manutenção envolvidos.

Pelo menos a gerência de cada área deveria realizar auditorias periódicas e documentadas, relatando e propondo ações corretivas adequadas. Também a alta gerência deve cobrar dos gerentes os indicadores de aperfeiçoamento do processo e questioná-los se estão cumprindo ou não as metas sucessivas de desafio (HARRINGTON, 1993, p. 208).

Para finalizar a reflexão sobre auditoria, conclui-se que a análise de desempenho de equipamentos pode ser uma forma inteligente de praticar a auditoria da qualidade, pelo menos no que diz respeito aos trabalhos de normatização e revisão da documentação dos procedimentos que envolvem o sistema produtivo da manutenção. Entende-se como forma inteligente a busca organizada, sincronizada e priorizada da detecção de necessidades de melhorias, e a identificação de ações que realmente venham a dissipar ou inibir as causas de qualquer problema potencial.

### 2.3.5 Gestão dos Custos de Manutenção de Equipamentos

Paladini (1995, p. 167) afirma que “uma forma muito eficiente de evitar erros e falhas de processo é mostrar, claramente, aos empregados, quanto custam para a empresa tais desvios”. Também comenta que nos Estados Unidos, busca-se agregar e resumir dados sobre defeitos e qualidade, para serem repassados às administrações superiores, enquanto no Japão o tratamento dessas informações é repassado a cada posto de trabalho. Portanto, para que se conheça os custos e perdas do processo, tornam-se indispensáveis o desenvolvimento de um sistema de custeio gerencial para as atividades de manutenção, e a sistematização deste tipo de informação, através do macroprocesso de análise de desempenho de equipamentos, para todas as áreas envolvidas.

Para que o sistema de custeio gerencial permita proporcionar tal facilidade, é necessário que disponha de princípios e métodos definidos adequadamente à sua finalidade. Os princípios devem atender aos objetivos do sistema e ao tratamento dos custos fixos. Por outro lado, o método deve atender à operacionalização do sistema e ao tratamento dos custos indiretos.

A forma mais adequada para o tratamento de custos fixos, com o objetivo de apoiar o controle e o processo de melhoria contínua da empresa, é o custeio por absorção ideal. Neste caso os custos fixos relacionados com a capacidade da empresa não utilizada (ociosidade) ou mal utilizada (ineficiência), nas suas diferentes formas, são apropriadas como perdas do período e não são creditados aos produtos.

Kaplan e Norton (1996, p. 59) identificam que “um sistema de custeio baseado em atividades e em processos provavelmente será necessário para a medição precisa do custo unitário de processamento de transações e de produção”, pois o custo de serviços ou de produção pode consumir recursos de vários departamentos de uma empresa. Portanto, conclui-se que o método mais adequado para a alocação dos custos e despesas indiretos fixos é o *Activity Based Costing* (ABC).

Nakagawa (1994, p. 39-40) conceitua o ABC como uma “metodologia desenvolvida para facilitar a análise estratégica de custos relacionados com as atividades que mais impactam o consumo de recursos de uma empresa” e assume como premissa que estes recursos são consumidos por atividades e não pelos

produtos que ela fabrica. Em síntese, os produtos usam atividades e as atividades geram custos.

Kaplan e Cooper (1998, p. 110) selecionam os geradores de custos da atividade. São os geradores de transação, que avaliam a frequência com que uma atividade é executada, os geradores de duração, que representam o tempo necessário para executar uma tarefa, e os geradores de intensidade, que afetam diretamente os recursos utilizados todas as vezes que uma atividade é realizada.

O método ABC proporciona as vantagens qualitativas de poder realizar uma análise aprimorada das despesas de uma estrutura, de dirigir a atenção dos gerentes para as atividades (característica importante pois são as atividades que geram os custos) e de proporcionar alguns elementos de apoio a decisões estratégicas.

O ABC também encaixa-se perfeitamente no processo de análise de desempenho de equipamentos, pelo fato de alocar os custos envolvidos às atividades e, após, aos produtos. As atividades são definidas pelos procedimentos de manutenção, como visto no item 2.3.3, e os produtos são definidos com base nos serviços de manutenção prestados e já classificados no item 2.1.1 (manutenção corretiva, sistemática e assistemática de equipamentos). Uma vez alocados os custos às atividades, torna-se relativamente simples realizar uma análise de valor com base no levantamento da taxa de valor agregado a cada processo de manutenção de equipamentos.

Segundo Monchy (1989, p. 397), de posse da apropriação do custo médio anual de exploração e do custo da falha do equipamento, considerando as parcelas diretas e indiretas dos custos, pode-se determinar a vida útil ou idade ótima para a substituição ou modernização dos equipamentos.

A fundamentação teórica destinada ao embasamento da análise de desempenho é muito grande, porém, os conceitos apresentados são suficientes para viabilizar o desenvolvimento de um modelo prático e eficaz para a análise de desempenho de equipamentos. O próximo capítulo será destinado à seleção e ao detalhamento das ferramentas que auxiliarão a parametrização da análise de desempenho de equipamentos.

## **CAPÍTULO 3 O FERRAMENTAL**

Este capítulo será destinado à apresentação das técnicas, metodologias e ferramentas que serão empregadas na construção do modelo a ser proposto no Capítulo 4. Procura-se selecionar ferramentas conhecidas no ambiente de produção industrial, freqüentemente relatadas pela bibliografia técnica e de reconhecida facilidade de utilização, tanto pelos analistas de manutenção como de seus clientes internos.

A aplicação destas ferramentas tem como ponto forte a obtenção de um conjunto de informações que preencham a maioria dos aspectos requeridos para o diagnóstico do estado real dos equipamentos, bem como do embasamento requerido para a formulação das recomendações de melhoria contínua nos processos de manutenção.

Cada ferramenta tem uma razão para sua aplicação e está relacionada com os parâmetros para análise de desempenho de equipamentos, facilitando o entendimento dos fatores que influenciam a organização, os procedimentos de manutenção, o armazenamento e o tratamento dos dados de equipamentos.

### **3.1 Ferramentas Destinadas à Organização Funcional dos Equipamentos**

Estas ferramentas visam determinar quais são os equipamentos críticos para o processo de produção, bem como facilitar a organização dos equipamentos em conjuntos que promovam a otimização dos recursos durante a execução da manutenção, com o objetivo de obter a garantia da disponibilidade e o prolongamento da vida útil de tais equipamentos.

#### **3.1.1 Risco de Falhas**

Para priorizar os equipamentos de uma planta industrial, deve-se atribuir qual é a importância de cada equipamento para o processo produtivo. Essa importância pode ser avaliada com base numa análise de risco de falhas, considerando principalmente a gravidade do impacto decorrente dessas falhas para a função que o equipamento exerce e as respectivas indisponibilidades operacionais

imprevistas que comprometem a competitividade empresarial.

Como visto no item 2.3.2, segundo Palady (1997, p. 129), o risco de falha pode ser obtido através da multiplicação de três fatores que levam em consideração a gravidade da falha (G), a frequência com que ela pode ocorrer (F) e o grau de dificuldade para detectar a falha (D) antes que ela ocorra.

Para avaliar a intensidade da gravidade, deve-se considerar se haverá impacto na segurança física do empreendimento e do pessoal envolvido, na disponibilidade (manutenção da função operativa) ou na confiabilidade (qualidade do produto). O peso da frequência é obtido com base no histórico de falhas, onde o número de ocorrências pode ser determinado com o auxílio de critérios de seleção adequados. O grau de dificuldade para se detectar a falha pode ser obtido pela análise do tipo de manutenção preventiva e dos recursos empregados no equipamento.

A planilha da figura 3.1 apresenta um exemplo que facilita a visualização e compreensão de como pode ser avaliado o risco de falha e a respectiva prioridade para atenção aos equipamentos.

EQUIPAMENTO	FALHA	GRAVIDADE (G) (1 - 10)	FREQUÊNCIA (F) (1 - 10)	DETECÇÃO (D) (1 - 10)	RISCO DE FALHA (G x F x D)	PRIORIDADE
X	Descrição	8	8	5	320	0
Y	Descrição	8	5	5	200	1
Z	Descrição	5	1	8	40	2
W	Descrição	1	1	8	8	3

Figura 3.1 - Exemplo de Avaliação da Prioridade de Equipamentos. (Adaptada de Possamai, 1999, p. 29)

### 3.1.2 Técnica de Codificação de Equipamentos

A codificação, seja qual for o critério escolhido para sua formação, é muito importante para a organização dos equipamentos diante dos processos de manutenção. Codificar significa individualizar, identificar e particularizar os equipamentos, sistemas ou estruturas, facilitando o armazenamento ordenado de dados e a preparação para o tratamento e obtenção de informações.

A execução da manutenção é fortemente influenciada pela codificação dos equipamentos na medida em que estes são agrupados por unidades de manutenção. Com este objetivo, Monchy (1989, p. 60) recomenda que se analise a divisão funcional em forma de árvore do inventário de equipamentos, com a finalidade de verificar a correta identificação dos equipamentos, a lógica de colocação em famílias ramificadas para compor linhas de manutenção de fácil gerenciamento sistemático e reduzir as indisponibilidades operativas. As ramificações são formadas seguindo o exemplo da figura 3.2.

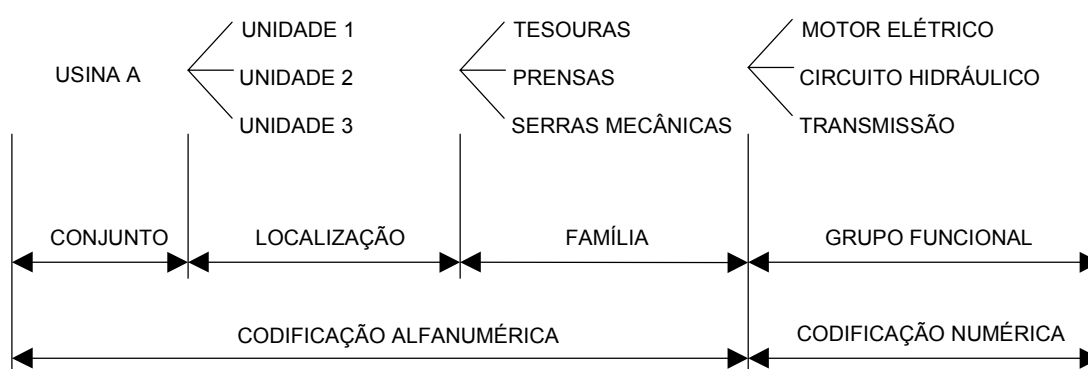


Figura 3.2 - Divisão funcional. (MONCHY, 1989, p. 61)

### 3.2 Ferramentas Destinadas à Elaboração dos Procedimentos para Manutenção dos Equipamentos

As ferramentas apresentadas a seguir são destinadas fundamentalmente à elaboração dos procedimentos de manutenção. Entretanto, elas devem ser do domínio do analista de manutenção pois também compõem um conjunto de elementos que parametrizam a análise de desempenho de equipamentos e a sistematização da melhoria contínua dos processos de manutenção.

#### 3.2.1 Manutenção Centrada em Confiabilidade

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) utiliza a Análise dos Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) para identificar os modos de falha e as respectivas causas de falha de um equipamento. Uma vez feita esta identificação, faz-se uma análise de criticidade para cada modo de falha, baseada na severidade

ou gravidade do efeito, na freqüência da ocorrência e na possibilidade de detectar o modo de falha antes que venha a ocorrer. De posse dessas informações pode-se montar um guia de seleção de tarefas para compor um procedimento de manutenção adequado ao equipamento, pois a RCM não deixará passar despercebida a análise dos aspectos que envolvem a segurança do pessoal, meio ambiente, falhas ocultas e capacidade operacional.

Conforme Oliveira (2001, p. 59), a aplicação da RCM deve atender as seguintes etapas:

- E1 - Escolha do sistema (definição de fronteiras, de interfaces e modernização);
- E2 - Definição de funções;
- E3 - Análise dos modos de falha e seus efeitos;
- E4 - Decisão sobre a criticidade dos modos de falha e sobre a seleção de tarefas;
- E5 - Formulação e implementação do procedimento (plano de manutenção) baseado em RCM.

A figura 3.3 apresenta o diagrama de decisão sobre a criticidade dos modos de falha, utilizado na primeira fase da quarta etapa (E4).

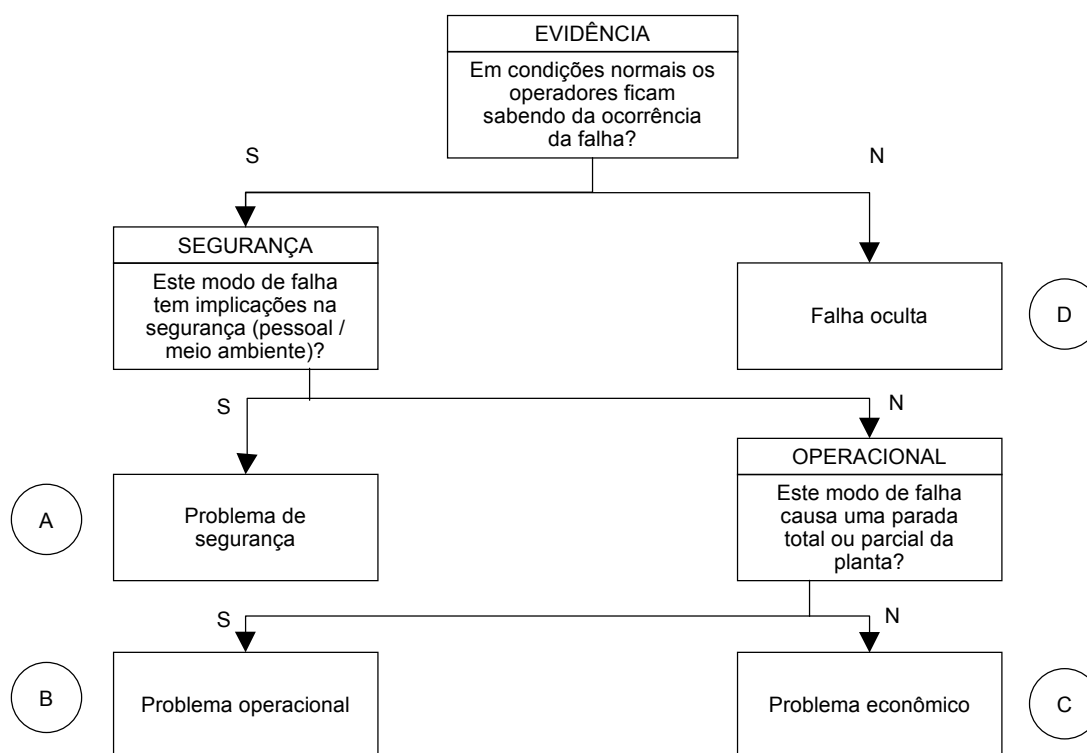


Figura 3.3 - Classificação dos Modos de Falha pela Criticidade. (SMITH, 1993, p. 95)

A figura 3.4 apresenta o diagrama de decisão sobre a seleção de tarefas, utilizado na segunda fase da quarta etapa (E4).

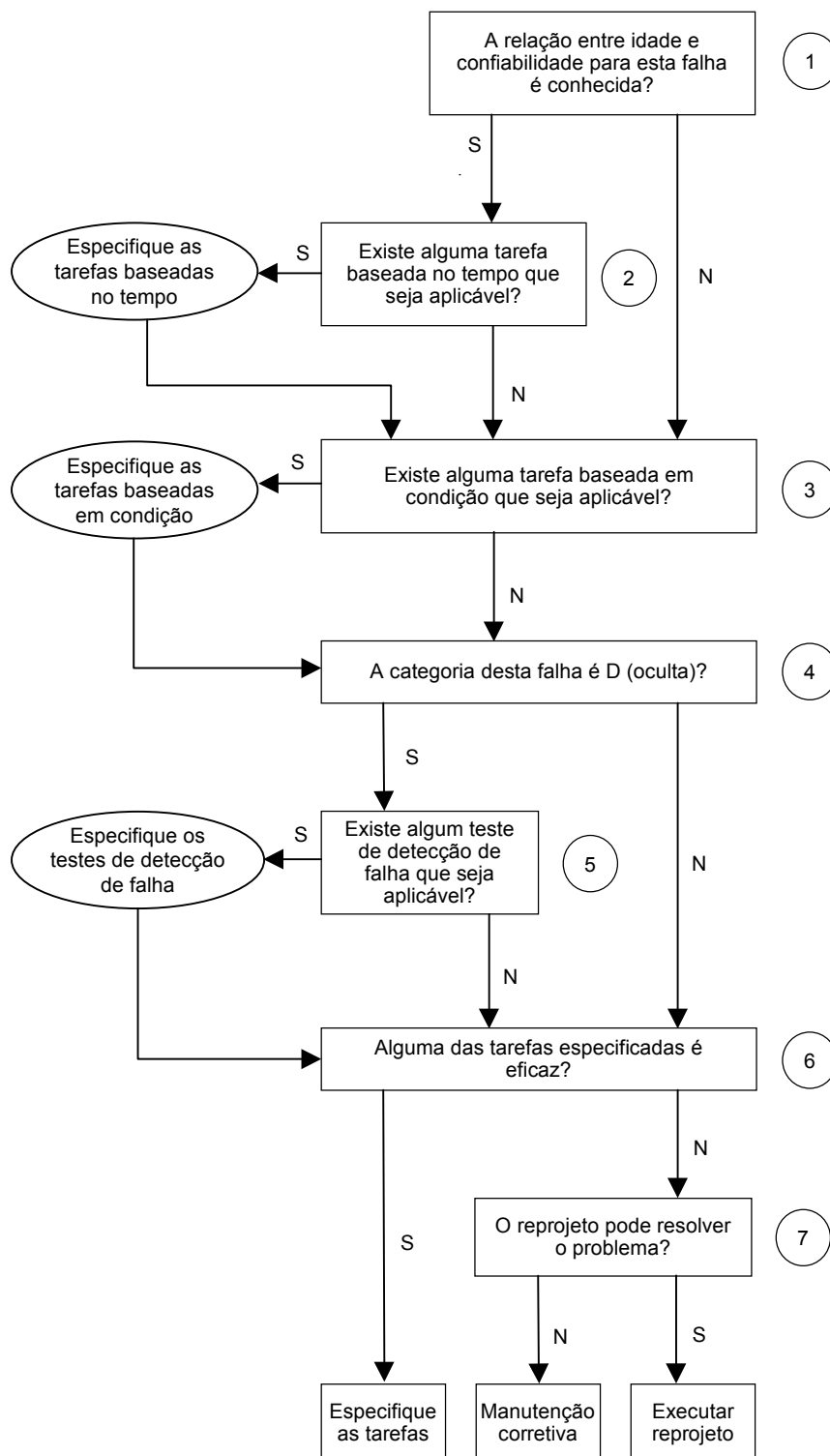


Figura 3.4 - Guia para Seleção de Tarefas. (SMITH, 1993, p. 96)



A planilha apresentada na figura 3.5 facilita a implantação de procedimentos baseados na RCM, mediante o cumprimento de todas as etapas previstas.

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM)																
SISTEMA: Geração de Energia Elétrica														(E1)		
FUNÇÃO : Fornecer Torque na Sequência de Partida														(E2)		
Componente	Modo de Falha	Causa de Falha	Análise de Criticidade				Guia de Seleção							Tarefa Selecionada	Freq. Estim.	
			EVID	SEG	OPER	CAT	1	2	3	4	5	6	7			
Motor de partida	Falha na partida (não gira)	Travamento mecânico; Baixa isolação; Queima dos enrolamentos.	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	Lubrificação rolamento;	8000 h	
														Teste giro fácil;	4000 h	
															Medição corrente	8000 h
															Medição resistência isolamento	8000 h
Módulo eletrônico de controle da frequência	Não fornece sinal de saída	Curto-circuito; Circuito aberto.	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	Limpeza dos cartões;	8000 h	
														Verificação de pontos quentes;	4000 h	
														Verificação da parametrização	8000 h	



(E3)



(E4)



(E5)

#### ETAPAS:

- E1 - Escolha do Sistema.
- E2 - Definição de Funções.
- E3 - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos.
- E4 - Decisão sobre a Criticidade dos Modos de Falha e sobre a Seleção de Tarefas.
- E5 - Formulação e Implementação do Plano de Manutenção.

Figura 3.5 - Exemplo de Preenchimento da Planilha de RCM. (OLIVEIRA, 2001, p. 82)

### 3.2.2 Análise Preliminar de Risco

Para aplicar a Análise Preliminar de Risco (APR) é necessário entender o processo básico de risco, o qual enfatiza a importância e o relacionamento dos conceitos envolvidos no gerenciamento de riscos de acidentes com pessoal de manutenção, com o equipamento envolvido e com o meio ambiente. A figura 3.6 apresenta o processo básico de risco.

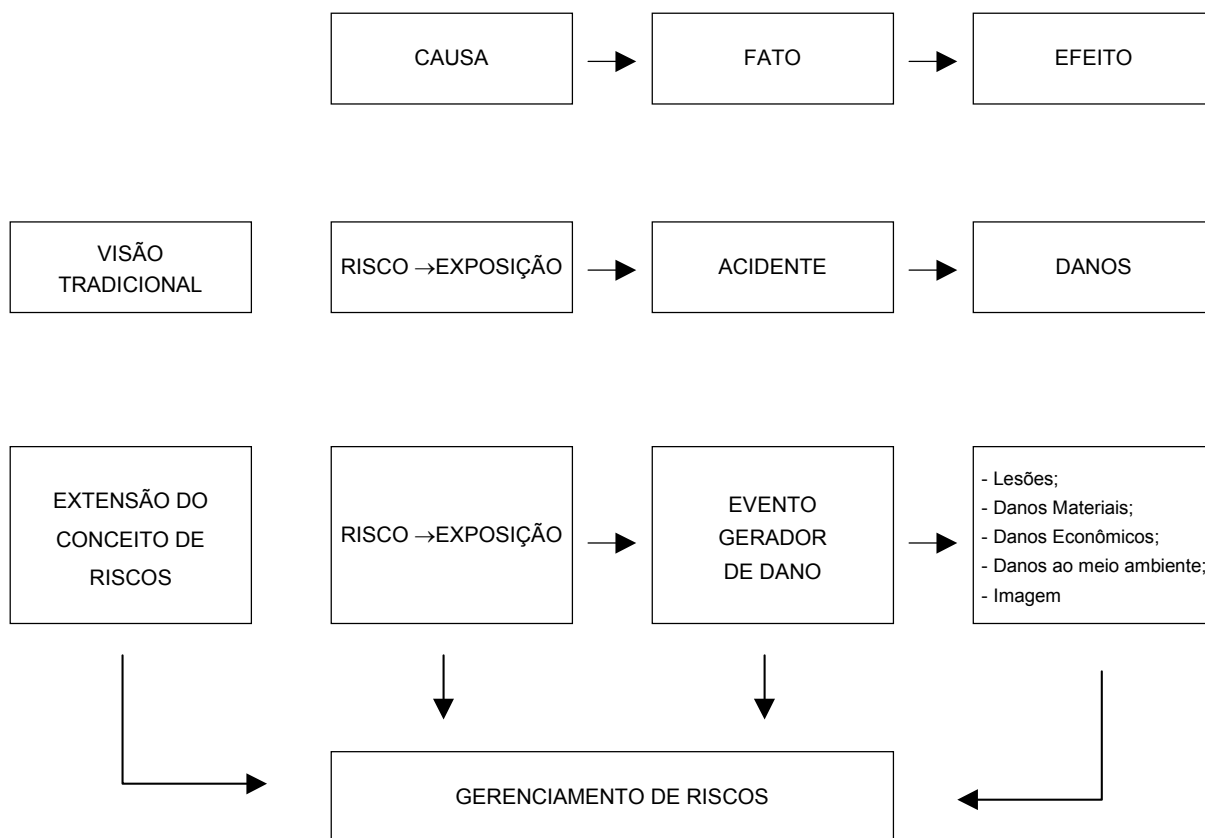


Figura 3.6 - Processo Básico de Risco. (SALIBA FILHO, 2001, p. 6)

Uma vez entendido o processo básico de risco, pode-se avaliar os riscos em categorias. De acordo com Saliba Filho (2001, p. 10) são quatro as categorias indicadas pela APR:

- I - desprezível – a falha não irá resultar numa degradação maior do sistema ou equipamento, nem irá produzir danos funcionais ou lesões, ou contribuir com um risco ao sistema;
- II - marginal (ou limítrofe) – a falha irá degradar o sistema ou equipamento numa certa extensão, porém, sem envolver danos maiores ou lesões, podendo ser compensada ou controlada adequadamente;
- III - crítica – a falha irá degradar o sistema ou equipamento causando lesões, danos substanciais, ou irá resultar num risco aceitável, necessitando ações confiáveis imediatas;
- IV - catastrófica – a falha irá produzir severa degradação do sistema ou equipamento, resultando em sua perda total, lesões ou morte.

A planilha apresentada na figura 3.7 facilita a implantação de procedimentos que levam em consideração a APR, mediante o cumprimento de todas as etapas prevista pela metodologia.

<b>ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS</b>				
<b>SISTEMA / OPERAÇÃO: Sistema de Resfriamento – troca da válvula 11RG</b>				
<b>RISCO</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>EFEITOS</b>	<b>CATEG. DE RISCO</b>	<b>INSPEÇÕES DE SEGURANÇA / RECOMENCAÇÕES</b>
Queda da válvula no transporte	Manuseio errado; Meio de transporte inadequado; Acondicionamento inadequado.	Lesão; Fratura.	III	Elaborar procedimento para transporte; Utilizar carro hidráulico; Utilizar amarração com estropo; Melhorar vias de acesso (reduzir inclinação das rampas).
Piso escorregadio	Vazamento de água; Condensação umidade.	Lesão	III	Inspeccionar e secar previamente o local; Utilizar estrado de madeira; Utilizar EPIs.
Linha pressurizada	Manobra de isolamento errada; Falta de estanqueidade das válvulas de isolamento; Falha do instrumento de supervisão.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Elaborar procedimento para isolamento; Elaborar procedimento de manutenção preventiva; Supervisionar a tarefa.
Queda durante a substituição	Manuseio errado; Utilização incorreta de dispositivos e ferramentas	Lesão; Fratura;	III	Elaborar procedimento para desmontagem e montagem.

Figura 3.7 - Exemplo de Preenchimento da Planilha de APR.

### 3.2.3 Técnica de Padronização de Atividade de Manutenção

Os padrões de manutenção são desenvolvidos com o objetivo de auxiliar na padronização das atividades periódicas realizadas durante a manutenção dos equipamentos. As informações que integram os padrões são dispostas de forma a preservar o conhecimento, principalmente da lei de degradação e das atividades que previnem a referida degradação.

A planilha da figura 3.8 apresenta os elementos que compõem um padrão de manutenção. Os principais elementos são: atividades relevantes, tipo da ação, família de equipamentos envolvidos, aplicação no equipamento, periodicidade em vigência, periodicidade padrão (desejável), base de referência para a determinação da periodicidade padrão, quantidade de equipamentos envolvidos e os documentos que padronizam a aplicação da atividade.

ATIVIDADE RELEVANTE	AÇÃO	FAMÍLIA	APLICAÇÃO	QUANTIDADE	PA-DRÃO	REFERÊNCIA	PERIODICIDADE	JUSTIFICATIVA
Ajuste relé sobrecorrente	Medição	Relé 51	Painel UMCC	162	4 anos	Experiência	4 anos	
Resposta regulador tensão	Ensaio	Módulo UN2010	Cubículo eletrônico regulador tensão	18	4 anos	Experiência	1 ano	Evitar redução de confiabilidade
Calibração fluxômetro	Conjunto Medições	Fluxômetro	Equipamento água pura	72	4 anos	Experiência	2 anos	Evitar redução de confiabilidade
Análise físico-química	Medição	Óleo Isolante	Transformador principal	54	1 ano	Órgão Normalizador	1 ano	

Figura 3.8 - Planilha para Determinação dos Padrões de Manutenção. (Adaptada de Itaipu Binacional, 2000, p. 33/60)

Esses padrões devem ser consultados e atualizados após a elaboração do plano de manutenção de um equipamento, mediante a aplicação da metodologia RCM, pois propiciam o mapeamento de atividades e suas periodicidades de execução, diante do conjunto global de equipamentos, mesmo entre aqueles

destinados a outras funções. Desta forma torna-se fácil racionalizar os recursos de manutenção, identificando equipamentos similares com necessidade de padronização da frequência de manutenção preventiva e das razões que determinam o desvio dos padrões.

### 3.3 Ferramenta Destinada à Execução da Manutenção de Equipamentos

A ergonomia estabelece uma diferença entre a análise da tarefa e a análise da atividade. A análise da tarefa considera o que o trabalhador deve realizar e a análise da atividade considera o que o trabalhador realmente realiza. A gestão desta defasagem é tema de aplicação do conjunto de conhecimentos relativos à ergonomia e também pode ser o elo entre as atividades do analista de manutenção e do executante de manutenção.

O controle entre a prescrição de tarefas e a execução de atividades pode ser realizado com o acompanhamento da aplicação dos procedimentos no campo. A figura 3.9 apresenta como estas verificações podem ser realizadas.

<b>ANÁLISE DA ATIVIDADE</b>			
<b>TAREFAS PRESCRITAS</b>	<b>CONDIÇÕES DE TRABALHO</b>	<b>ATIVIDADES EXECUTADAS</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>
Conteúdo dos procedimentos de manutenção.	Verificação de como é organizado o trabalho, das ações tomadas para a viabilização do trabalho e das condições do meio ambiente.	Forma de cumprimento dos procedimentos de manutenção.	Melhorias visando aproximar as tarefas das atividades.

Figura 3.9 - Planilha de Controle da Análise da Atividade. (Adaptada de Decortis, 1994, p. 4)

### 3.4 Ferramenta Destinada ao Armazenamento de Dados de Equipamentos

O armazenamento de dados de equipamentos deve ser efetuado mediante um Sistema de Gerenciamento da Manutenção (SGM). O SGM é uma ferramenta

que transcende ao armazenamento de dados, porém, quando utilizado com esta finalidade, deve ser informatizado a fim de proporcionar as facilidades para a coleta, consistência, transferência e armazenamento dos dados em módulos adequados. Rezende e Abreu (2000, p. 274-275) recomendam que esses módulos sejam destinados ao cadastro de equipamentos, ao gerenciamento da manutenção preventiva, da manutenção corretiva, dos materiais de reserva, dos custos de manutenção, da produção e devem recorrer a uma base de dados única, para que haja integração e navegabilidade entre os módulos.

Como o SGM é uma ferramenta abrangente, será utilizada neste trabalho apenas como veículo para o armazenamento e recuperação de dados significativos para análise de desempenho de equipamentos e melhoria do processo de manutenção, mediante o tratamento adequado desses dados.

### **3.5 Ferramentas para o Tratamento de Dados de Equipamentos**

Como foi visto no item 2.3.2, não basta apenas dispor dos dados. É necessário tratá-los de modo adequado à finalidade da manutenção de equipamentos, utilizando ferramentas consagradas e de fácil aplicação.

#### **3.5.1 Gráfico de Controle**

Pode ser utilizado para o tratamento dos dados provenientes dos itens de controle estipulados pela manutenção preventiva, proporcionando o levantamento da curva de tendência e a análise do controle do processo, podendo resultar na necessidade de intervenção preventiva no equipamento.

#### **3.5.2 Gráfico de Pareto**

O gráfico de Pareto dispõe os dados de forma a tornar evidente e visual a priorização de temas. Pode ser utilizado para o tratamento dos dados provenientes da manutenção corretiva, relacionando os tipos de ações aos componentes do equipamento, permitindo avaliar se as ações empregadas foram realmente eficazes ao longo do tempo.

### 3.5.3 Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de causa e efeito apresenta a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado. É empregado nas sessões de *brainstorming* realizadas nos trabalhos em grupo. Fatores como equipamento, material, mão-de-obra, tempo, entre outros, são categorias naturais para estratificar a análise. Pode ser utilizado para a análise dos principais efeitos. Para os demais efeitos é recomendável utilizar a FMEA, por ser uma metodologia que requer menos trabalho na aplicação e também solicita a definição dos responsáveis pelas ações recomendadas.

### 3.5.4 *Activity Based Costing*

O método de Custeio Baseado em Atividades (ABC) tem como lógica de funcionamento considerar que as atividades consomem recursos, gerando custos, e os produtos ou serviços utilizam as atividades, absorvendo os seus custos. É pautado por um modelo em que de forma genérica os custos são alocados às atividades e, na seqüência, são alocados aos produtos. Os custos indiretos são distribuídos da forma mais justa possível, com auxílio de direcionadores adequados.

Segundo Moreira (2001, p. 6), a aplicação do ABC deve atender as seguintes etapas:

- divisão da empresa em atividades (ou da área de manutenção);
- compreensão do comportamento destas atividades;
- cálculo do custo de cada atividade;
- identificação das principais causas dos custos das atividades;
- alocação dos custos aos produtos.

A multiplicação da matriz de distribuição percentual dos recursos às atividades pela valoração monetária dos referidos recursos, proporcionará o levantamento dos custos das atividades. Da mesma forma, a multiplicação da matriz de distribuição dos tempos base das atividades nos produtos pela matriz de distribuição da freqüência das atividades nos produtos, proporcionará o levantamento dos tempos de passagem das atividades nos produtos. O custo total

do produto ou serviço é obtido pelo produto das matrizes de custo das atividades e de tempo de passagem das atividades nos produtos. A figura 3.10 apresenta um exemplo de fluxograma básico para a determinação do custo de serviços de manutenção em equipamentos.

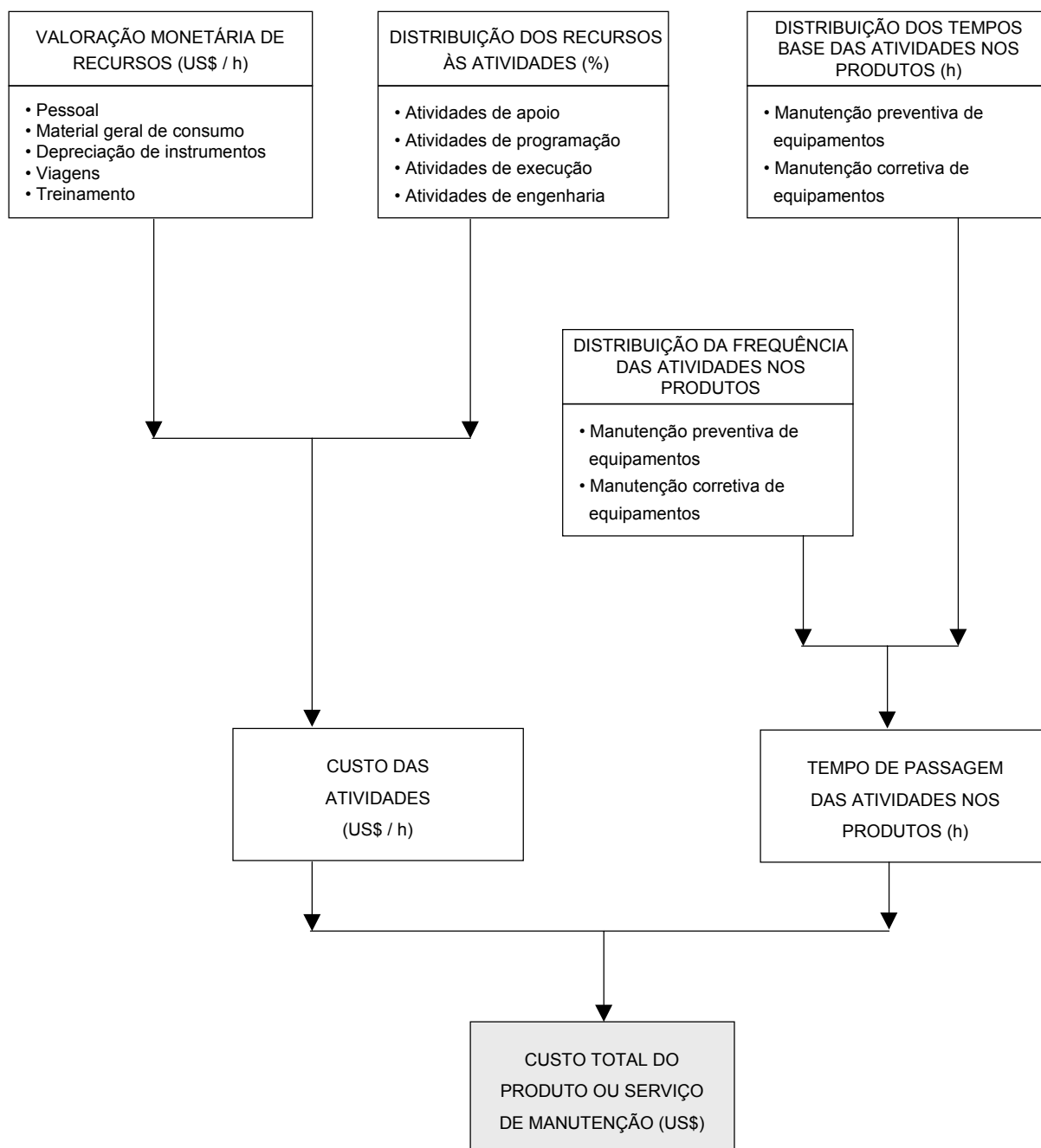


Figura 3.10 - Exemplo de Fluxograma Básico para Cálculo do Custo de Serviços de Manutenção. (Adaptado de Itaipu Binacional, 2000, p. 6/41)



### 3.5.5 Taxa de Valor Agregado

A metodologia de Análise do Valor fornece o legado da técnica do levantamento da Taxa de Valor Agregado (TVA) de um processo. Para o processo de manutenção de equipamentos a melhor forma de medir a taxa de valor agregado é a quantificação do tempo e do custo das atividades que compõem o processo.

Conforme Possamai (1999, p. 30), uma atividade é considerada Agregadora de Valor (AV) quando alavanca a incorporação de funcionalidades ao produto. Todas as demais atividades podem ser consideradas Não Agregadoras de Valor (NAV). Sendo assim, torna-se fundamental identificar claramente quais as funcionalidades (ou restituição de funcionalidades para o caso da manutenção de equipamentos) são mais valorizadas pelo cliente, para que se possa determinar as atividades agregadoras de valor.

Normalmente os programas de melhoria contínua promovidos pelas empresas desconhecem a importância de cada atividade que compõe o processo. As empresas geralmente destinam recursos tentando melhorar indistintamente todas as atividades, mesmo as que não agregam valor, enquanto deveriam priorizar recursos e capacitação às atividades que efetivamente agregam valor. Por outro lado, as atividades que não agregam valor, deveriam ser as candidatas à redução de custos.

A obtenção da taxa de valor agregado pode ser viabilizada mediante a construção de uma matriz que relaciona as atividades de manutenção aos custos/tempo de execução destas. A figura 3.11 apresenta um exemplo característico de matriz destinada ao processo de manutenção preventiva.

A figura 3.12 apresenta outro exemplo característico de matriz de atividades em relação aos custos/tempo de execução, para o processo de manutenção corretiva.

Processos de manutenção com baixa taxa de valor agregado implicam na necessidade de rever o tipo de manutenção aplicada. Atividades com baixa agregação de valor podem implicar na necessidade de rever a organização funcional dos equipamentos. Ações desta natureza visam reavaliar a prioridade dos gastos de tempo e recursos, de forma a destinar maiores esforços de melhoria contínua com equipamentos efetivamente relevantes para o processo produtivo.

SERVIÇO DE MANUTENÇÃO	ATIVIDADE	CUSTO (US\$ / h)			TEMPO (h)		
		AV	NAV	ACUMULADO	AV	NAV	ACUMULADO
PREVENTIVA DE BOMBAS	Emissão de Documentos	-	2.5	2.5	-	0,5	0,5
	Análise e Programação	-	5.0	7.5	-	0,5	1,0
	Preparação / Devolução Ferramental	-	5.0	12.5	-	1,0	2,0
	Isolação do Equipamento	-	2.5	15.0	-	0,5	2,5
	Deslocamento	-	7.5	22.5	-	0,5	3,0
	Limpeza	2.5	-	25.0	0,5	-	3,5
	Inspeção	5.0	-	30.0	0,5	-	4,0
	Ajuste	5.0	-	35.0	1,0	-	5,0
	Baixa de Documentos	-	2.5	37.5	-	0,5	5,5
	Registro de Informações	-	2.5	40.0	-	0,5	6,0
TOTAL		12.5	27.5	40.0	2,0	4,0	6,0
TVA (%)		31	69	100	33	67	100

Figura 3.11 - TVA do Processo de Manutenção Preventiva de Bombas. (Adaptada de Possamai, 1999, p. 35)

SERVIÇO DE MANUTENÇÃO	ATIVIDADE	CUSTO (US\$ / h)			TEMPO (h)		
		AV	NAV	ACUMULADO	AV	NAV	ACUMULADO
CORRETIVA DE BOMBAS	Emissão de Documentos	-	2.5	2.5	-	0,5	0,5
	Análise e Programação	-	5.0	7.5	-	0,5	1,0
	Preparação / Devolução Ferramental	-	5.0	12.5	-	1,0	2,0
	Isolação do Equipamento	-	2.5	15.0	-	0,5	2,5
	Deslocamento	-	7.5	22.5	-	0,5	3,0
	Limpeza	2.5	-	25.0	0,5	-	3,5
	Inspeção	5.0	-	30.0	0,5	-	4,0
	Substituição	2.5	-	32.5	0,5	-	4,5
	Reaperto	2.5	-	35.0	0,5	-	5,0
	Ajuste	5.0	-	40.0	1,0	-	6,0
	Baixa de Documentos	-	2.5	42.5	-	0,5	6,5
	Registro de Informações	-	2.5	45.0	-	0,5	7,0
TOTAL		17.5	27.5	45.0	3,0	4,0	7,0
TVA (%)		39	61	100	43	57	100

Figura 3.12 - TVA do Processo de Manutenção Corretiva de Bombas. (Adaptada de Possamai, 1999, p. 35)

### 3.5.6 Método para Cálculo da Vida Útil

Os custos médios anuais de exploração de um equipamento permitem detectar de modo simples a duração de vida econômica de um equipamento, ou seja, o momento em que cessam as ações de manutenção preventiva ou o momento de substituição. De acordo com Monchy (1989, p. 397), o custo médio anual de exploração ( $C_{me}$ ) pode ser calculado pela seguinte formulação:

$$C_{me} = \frac{\left( Va - Rv + \sum_i^n Cd \right)}{n} \quad (3.1)$$

sendo:

$Va$  - valor de aquisição;

$Rv$  - valor de revenda;

$Cd$  - custo de falha ( $Cd = C_m + C_p$ );

$C_m$  - custo direto da manutenção;

$C_p$  - custo indireto da manutenção;

$n$  - número de anos.

A figura 3.13 apresenta a evolução clássica dos custos médios anuais de exploração e da falha de um equipamento, ao longo do tempo.

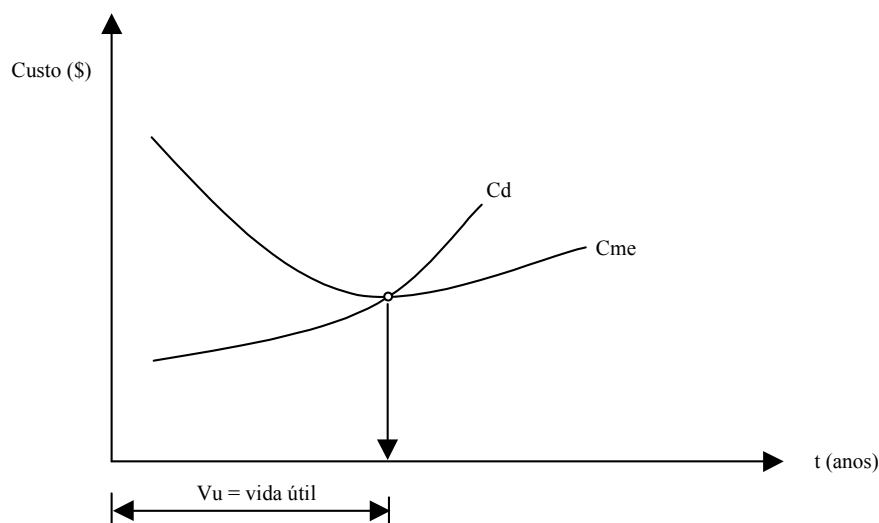


Figura 3.13 - Determinação da Vida Útil de Equipamentos. (MONCHY, 1989, p. 399)

Conclui-se que quando o custo médio anual de exploração (Cme) apresenta-se igual ao custo da falha (Cd), estar-se-á diante da idade (Vu) ótima para a substituição ou modernização do equipamento. Os valores do custo direto da manutenção (Cm) e do custo indireto da manutenção (Cp) de equipamentos, são obtidos de forma direta e simples quando se aplica a metodologia ABC.

### 3.6 Considerações

Todas as ferramentas apresentadas no Capítulo 3, principalmente a aplicação da RCM, APR e ABC, apresentam muitas vantagens. Como principais vantagens, pode-se citar o estabelecimento de um método definido para o alcance dos objetivos propostos, a padronização das ações e procedimentos de manutenção, a preservação da memória técnica destituída de interferências pessoais e a obtenção de informações consistentes provenientes da experiência de equipes multidisciplinares de manutenção. Como desvantagem, destaca-se principalmente e quase que exclusivamente, o grande volume de trabalho exigido durante a aplicação de tais ferramentas.

Não foi utilizado o método TPM, pelo motivo de tratar-se de uma ferramenta que abrange todas as funções da manutenção, como o planejamento, programação, execução, controle e normalização. O foco deste trabalho está voltado apenas para a função de análise de desempenho de equipamentos, como meio de sistematizar a melhoria do processo de manutenção.

A determinação da vida econômica de um equipamento poderia ser incrementada pela análise do custo de recuperação do capital, sob a luz, por exemplo, do método *Machinery and Allied Products Institute* (MAPI), que mede o rendimento relativo do capital investido, mediante a determinação da taxa interna de retorno, relativa à possibilidade de manter o equipamento por mais um ano em operação.

Desta forma, foram apresentadas as principais ferramentas que auxiliarão no estabelecimento dos parâmetros para a análise do processo de manutenção e de desempenho de equipamentos, tema central deste trabalho. O próximo capítulo será destinado ao desenvolvimento do modelo para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção, ao detalhamento de suas etapas e ao encadeamento seqüencial mais apropriado para a aplicação.

## **CAPÍTULO 4 MODELO PROPOSTO**

O modelo para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção de equipamentos visa, primordialmente, a melhoria da disponibilidade operacional dos equipamentos. Terá este enfoque motivado pela literatura especializada, que é unânime em citar a disponibilidade operativa como um dos principais indicadores dos objetivos estratégicos da manutenção.

Este modelo apresenta como proposta o atendimento generalizado de equipamentos críticos para o processo de produção. Isto significa que poderá ser aplicado para equipamentos de qualquer tipo de planta industrial, independente do setor do sistema produtivo. Trata-se de um modelo para aplicação, onde a sistematização da manutenção, preferencialmente, já estaria implantada, desejando-se praticar a melhoria contínua e a auditoria dos processos de manutenção. Também poderia ser aplicado para os casos onde se deseja iniciar um processo de controle e análise do estado de equipamentos, mediante a implantação e o cumprimento das fases destinadas ao estabelecimento de parâmetros para análise do processo de manutenção.

Para a estruturação do modelo foi utilizada a pesquisa bibliográfica sobre o tema, com o objetivo de selecionar adequadamente as ferramentas que auxiliam na composição dos parâmetros para a análise de desempenho. As ferramentas foram dispostas em ordem seqüencial de utilização, identificadas por fases, com a finalidade de organizar logicamente a obtenção das informações destinadas à análise de desempenho de equipamentos. Esta análise, balizada por indicadores de tendência, disponibilidade operacional e custos, fornecerá as condições para avaliar o processo de manutenção dos equipamentos, e se necessário indicar oportunidades de melhorias.

### **4.1 O Modelo para a Melhoria Contínua do Processo de Manutenção**

O modelo para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção de equipamentos está estruturado em treze fases. A fase destinada ao estabelecimento de parâmetros para a análise do processo de manutenção pode ser considerada como básica e necessita ser desdobrada em etapas distintas, com o

objetivo de permitir a obtenção de informações representativas do próprio processo e sobre os equipamentos.

A fase destinada à análise de desempenho de equipamentos pode ser considerada como principal, pois deve, com habilidade do analista, correlacionar as informações de tendências à degeneração de parâmetros físicos de controle de equipamentos com os indicadores de disponibilidade operacional e custos.

A determinação de oportunidades de melhoria é considerada uma fase de definição, sendo apoiada por alguns padrões de diagnóstico. Os indicadores, relativos a cada padrão de diagnóstico, comparados com as metas estabelecidas, fornecerão os elementos necessários para as ações de melhoria contínua no processo de manutenção e, por conseqüência, nos equipamentos. A figura 4.1 apresenta uma visão geral do modelo proposto e a figura 4.2 apresenta o modelo detalhado por fases, para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção de equipamentos.

## **4.2 O Detalhamento das Fases do Modelo Proposto**

Para o entendimento da abrangência, razão de existência e das informações de entrada e saída, é necessário detalhar passo a passo cada uma das fases do modelo proposto, com a finalidade de facilitar o processo de aplicação (reprodução).

### **4.2.1 Fase 1 – Identificar os Objetivos Estratégicos da Manutenção**

É conveniente que a análise a ser realizada mantenha constante sintonia com os objetivos estratégicos da área de manutenção, para que possa colaborar com a obtenção de resultados empresariais satisfatórios. O alinhamento de diretrizes estratégicas com as ações operacionais pode ser estudado e ajustado através da aplicação do *Balanced Scorecard* (KAPLAN e NORTON, 1996). Neste sentido, Pinto e Xavier (2001, p. 10-12) facilitam este trabalho quando estabelecem como objetivos estratégicos da manutenção o aumento da disponibilidade operacional dos equipamentos, o aumento da segurança pessoal e das instalações (mediante o aperfeiçoamento da sistemática de manutenção e da capacitação de pessoal), a redução de custos, o aumento do faturamento e do lucro, e, a prevenção do meio ambiente. Esses objetivos estratégicos podem ser utilizados para compor a primeira

fase do modelo proposto, uma vez que a análise detalhada sobre o tema não é objetivo desse trabalho.

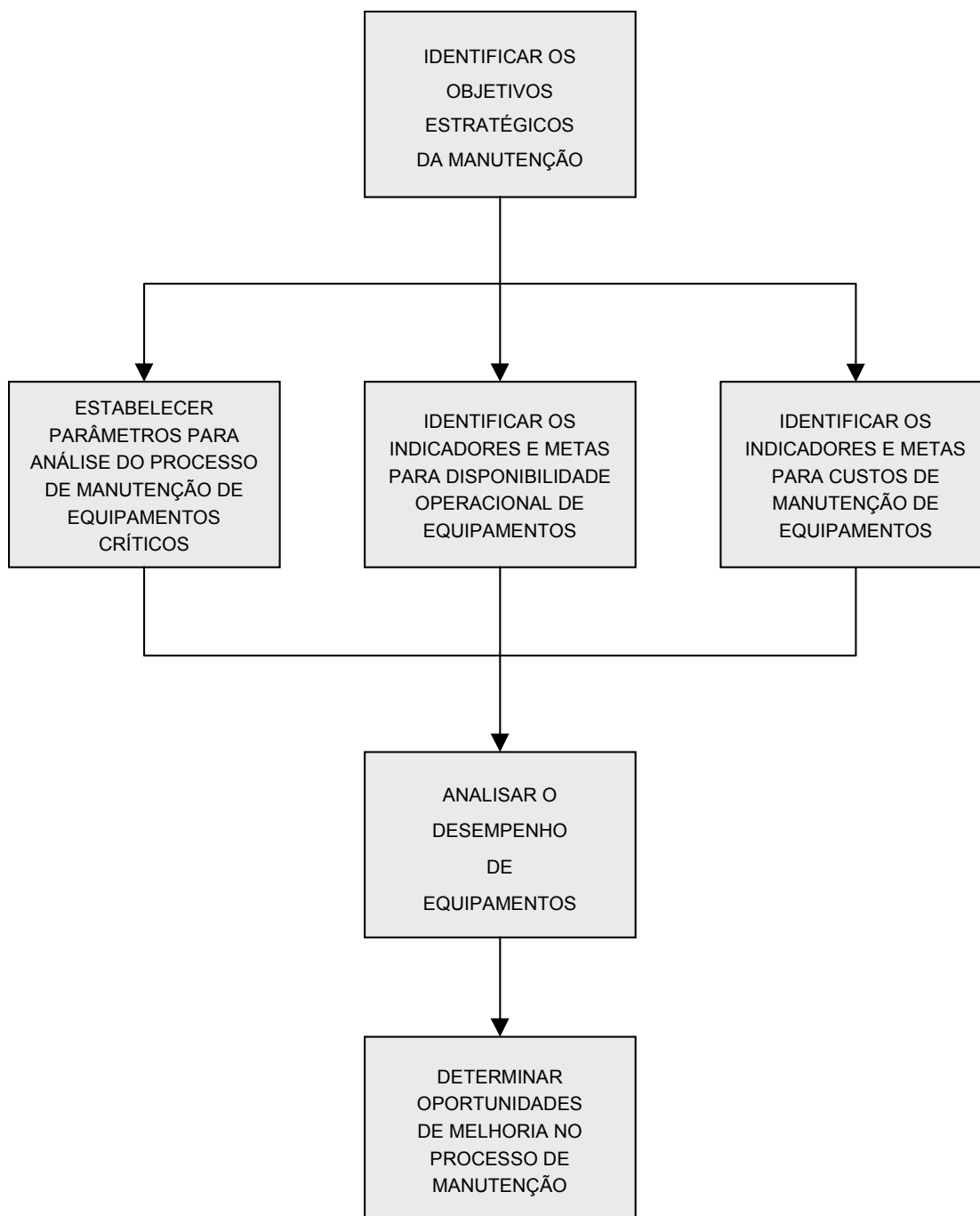


Figura 4.1 - Visão Geral do Modelo para a Melhoria Contínua do Processo de Manutenção de Equipamentos.

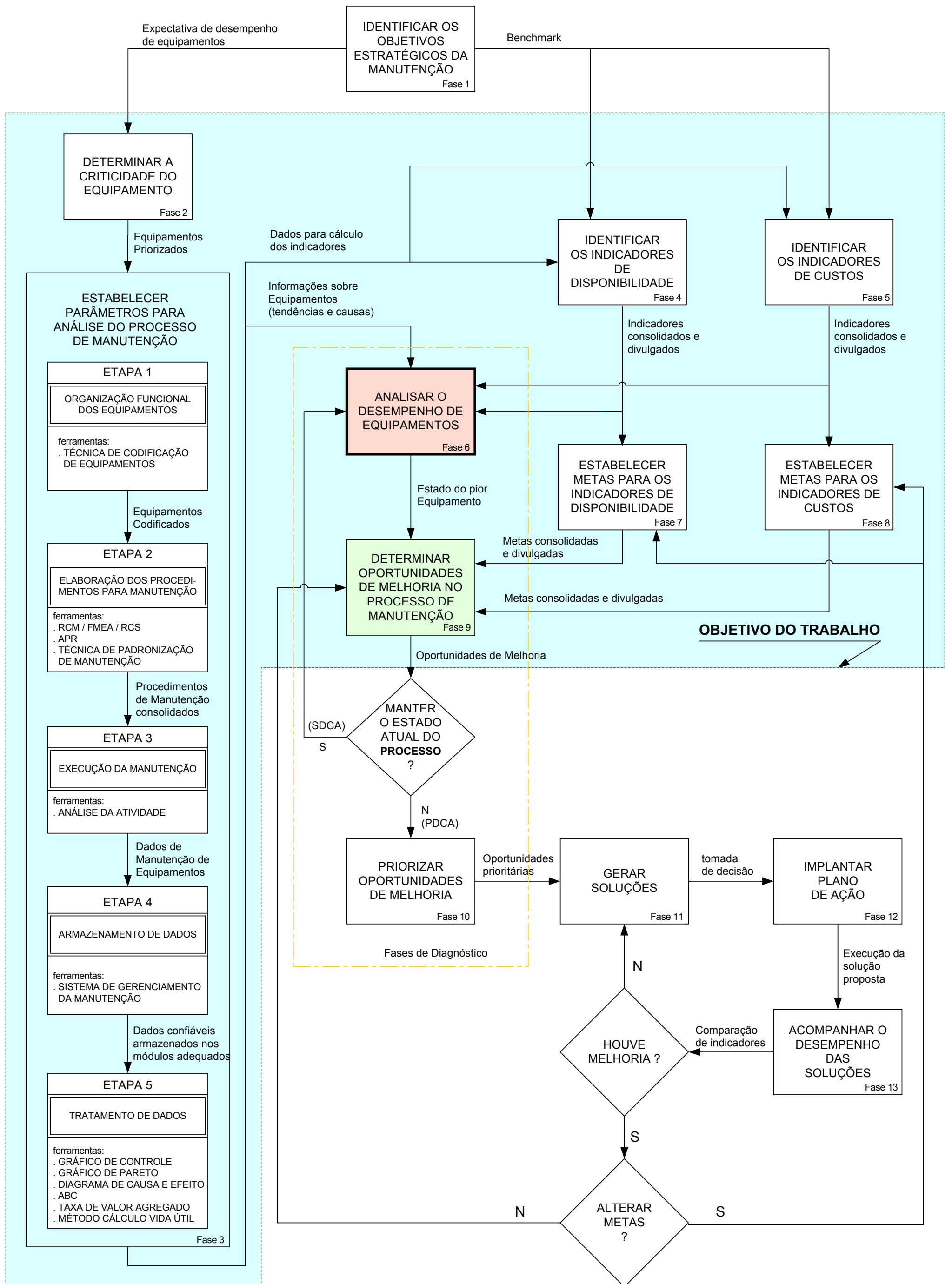


Figura 4.2 - Modelo para a Melhoria Contínua do Processo de Manutenção de Equipamentos.



#### 4.2.2 Fase 2 – Determinar a Criticidade do Equipamento

Esta fase inicia-se com a disponibilização de um equipamento para executar determinada função e uma expectativa de desempenho no cumprimento da referida função. Para que esta expectativa venha a ser satisfeita, é necessário, em primeira instância, determinar quais são os equipamentos críticos para o processo de produção. Um equipamento crítico, geralmente, é aquele que em caso de falha interrompe o processo de produção.

Conforme apresentado no item 3.1.1, o risco de falhas por equipamento pode ser obtido pelo produto dos fatores de gravidade (G), frequência (F) e detectabilidade (D). O impacto na disponibilidade operacional do equipamento, pode ser considerado como critério para a determinação do fator de gravidade, de acordo com os seguintes pesos:

- baixo, para fator  $G=1$ ;
- moderado, para fator  $G=3$ ;
- alto, para fator  $G=9$ .

O histórico de falhas e a aplicação de técnicas preditivas ou de monitoramento contínuo, podem ser considerados como critério para a determinação dos fatores de frequência e detectabilidade respectivamente, utilizando-se os mesmos pesos apresentados anteriormente.

O risco de falha ( $G \times F \times D$ ) pode ser atribuído de acordo às seguintes faixas:

- baixo, para produtos entre 1 e 9;
- moderado, para produtos entre 27 e 81;
- alto, para produtos entre 243 e 729.

O cumprimento dessa etapa fornecerá como resultado, a identificação dos equipamentos quanto ao seu grau de importância no processo produtivo (criticidade), implicando em maior precisão na definição de prioridades para ações, no destino de recursos e, inclusive, no aprofundamento da análise de desempenho.

#### 4.2.3 Fase 3 – Estabelecer Parâmetros para a Análise do Processo de Manutenção

A fase 3 estabelece quais são os parâmetros que devem ser considerados para a análise do processo de manutenção de equipamentos. Os parâmetros auxiliam tanto na estruturação da análise (roteiro sistemático), como na obtenção das informações pertinentes a cada ponto relevante de investigação. Cada parâmetro é representado por uma etapa distinta e cada etapa compõe-se da aplicação de ferramentas encadeadas numa seqüência lógica para obtenção das referidas informações. Essa fase é composta de cinco etapas, conforme descrito a seguir.

##### 4.2.3.1 Etapa 1 – Organização funcional dos equipamentos

Após a determinação da criticidade dos equipamentos para o processo produtivo, pode-se submetê-los a um esquema de organização funcional. Para verificar como se organiza ou estão organizados os equipamentos, sugere-se aplicar as técnicas de codificação de equipamentos, conforme visto no item 3.1.2.

A codificação de equipamentos influencia de forma significativa a execução da manutenção, na medida em que os equipamentos são agrupados por unidades de manutenção. A unidade de manutenção é um conjunto de equipamentos agrupados pelos critérios de interdependência operativa, similaridade de função ou proximidade física, com o intuito de racionalizar os trabalhos de manutenção, preservar a segurança pessoal e dos equipamentos, e, minimizar as indisponibilidades operacionais.

A escolha do critério de codificação depende da importância dos equipamentos para o sistema de produção. Geralmente, para equipamentos imprescindíveis à produção utiliza-se o critério de agrupamento por interdependência operativa. Para equipamentos auxiliares, geralmente utiliza-se o critério de agrupamento por similaridade de função, quando atendem a funções complexas que demandam maior especialização técnica, ou, utiliza-se o critério de agrupamento por proximidade física, quando há preferência pela agilidade no deslocamento para atendimento dos equipamentos. A figura 4.3 exemplifica as alternativas para codificação, de acordo com os critérios expostos.

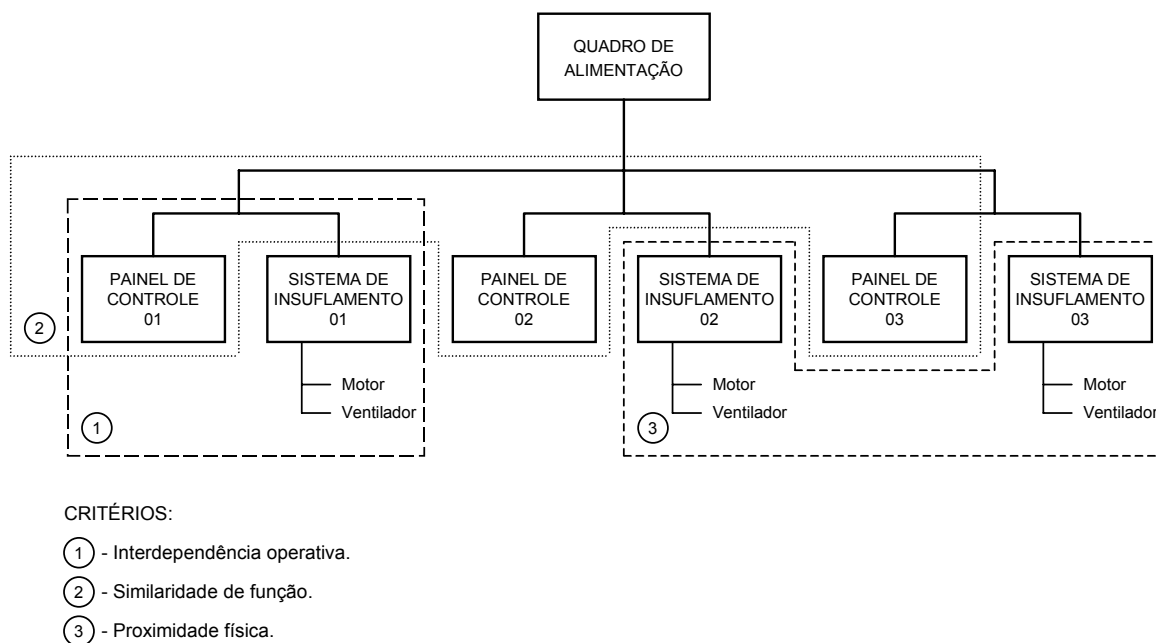


Figura 4.3 - Alternativas de Codificação.

O cumprimento dessa etapa fornecerá como resultado, equipamentos adequadamente codificados, distribuídos de forma a proporcionar programações de manutenções racionalizadas, implicando em ganho de disponibilidade operacional.

#### 4.2.3.2 Etapa 2 – Elaboração dos Procedimentos para Manutenção

Uma vez definidos quais são os equipamentos, mediante a designação da codificação, pode-se agrupá-los para compor procedimentos de manutenção ajustados à importância de cada função.

Para elaborar ou verificar a eficiência dos procedimentos de manutenção, sugere-se aplicar as ferramentas de RCM, conforme apresentada no item 3.2.1, de APR, conforme apresentada no item 3.2.2, e da técnica de padronização da manutenção, conforme apresentada no item 3.2.3, respectivamente.

Sugere-se como critério, que a aplicação das ferramentas para a obtenção ou verificação dos procedimentos de manutenção, seja realizada somente para os equipamentos com alto grau de risco de falhas, devido ao grande volume de trabalho dispendido nessa tarefa.

O cumprimento desta etapa fornecerá como resultado, procedimentos adequados à manutenção. A elaboração e aplicação de procedimentos de

manutenção, como inspeções de equipamentos e inspeções de segurança (o que, quando e quem faz), estão diretamente relacionadas com a melhoria da confiabilidade operacional dos equipamentos. Em complemento, a elaboração e aplicação de instruções de manutenção, desmontagem e montagem (como fazer) e relação de materiais sobressalentes (quais, em que quantidade e onde se localizam), estão diretamente relacionadas com a melhoria da manutenibilidade. Portanto, todos os procedimentos de manutenção estão relacionados com a disponibilidade operacional dos equipamentos.

#### 4.2.3.3 Etapa 3 – Execução da Manutenção

De posse de procedimentos de manutenção consolidados, cabe ao analista de manutenção verificar a adequabilidade desses procedimentos durante a fase de execução no campo.

Para cumprir essa etapa, sugere-se aplicar a ferramenta de análise das atividades, conforme apresentada no item 3.3. Essa aplicação depende do grau de observação exercido pelo analista de manutenção, que verifica se todos os itens previstos nos procedimentos são executados, se a execução acontece de acordo com o planejamento das tarefas e se todos os dados requisitados para a análise do desempenho dos equipamentos são registrados. Todos os desvios devem ser anotados em planilha destinada para essa finalidade, com o objetivo de proporcionar as realimentações necessárias à melhoria dos referidos procedimentos e torná-los aptos à aplicação sistemática.

O cumprimento sistemático dos procedimentos de manutenção fornecerá como resultado, parte dos dados necessários à análise de desempenho de equipamentos. Esses dados são provenientes de medições sistemáticas e do histórico textual de inspeções preventivas.

A verificação das atividades de manutenção, assim como na etapa anterior, está diretamente relacionada com a melhoria da disponibilidade operacional, uma vez que procura aprimorar os procedimentos de manutenção.

#### 4.2.3.4 Etapa 4 – Armazenamento de Dados

O armazenamento dos dados obtidos, em função da aplicação dos

procedimentos de manutenção nos equipamentos (etapa anterior), deve ser realizado com o auxílio de um Sistema de Gerenciamento da Manutenção (SGM).

O SGM também deve armazenar os dados de controle do processo de manutenção, mediante a operacionalização de ordens de serviço. Esses dados são provenientes de medições de tempo de atividades e quantificação de recursos. Portanto, recomenda-se armazenar os seguintes dados:

- dados de cadastro de equipamentos:
  - características individuais, tais como o número de série e a data de início de operação (equipamentos rotativos) ou de primeira energização (equipamentos estáticos);
  - características de grupo, tais como o nome do fabricante, modelo e principais características técnicas dos equipamentos;
  
- dados de manutenção preventiva:
  - histórico de medições sistemáticas (periódicas), tais como as medidas de folgas, desgaste, resistência de isolamento e resistência de contato;
  - histórico de inspeções detectivas, tais como os testes de simulação operacional, atuação de sinalização/alarme e giro em vazio;
  - histórico de medições preditivas (monitoramento contínuo), tais como a evolução de temperatura, vibração, entre-ferro de máquinas rotativas, tensão, corrente e gascromatografia;
  - histórico de ocorrências de defeitos e respectivas causas (registros da manutenção preventiva);
  
- dados de manutenção corretiva:
  - histórico de ocorrências de falhas e respectivas causas;
  - histórico de ocorrências de incidentes relacionados com a segurança do trabalho e meio ambiente, e respectivas causas;
  
- dados de materiais de reserva:
  - histórico de material utilizado, tais como o tipo, quantidade e frequência de uso;
  
- dados para apropriação de custos de manutenção:
  - recursos utilizados por atividades de manutenção;

- horas utilizadas por atividades de manutenção;
- dados básicos de produção:
- horas de equipamentos em serviço;
  - horas de equipamentos parados por conveniência operativa;
  - horas de indisponibilidade para manutenção preventiva;
  - horas de indisponibilidade para manutenção corretiva.

O armazenamento sistemático de dados em módulos adequados fornecerá como resultado, dados confiáveis para a etapa de tratamento. Os dados de cadastro de equipamentos, de manutenção preventiva, corretiva e de materiais de reserva serão utilizados para a definição de tendências e causas da degradação de parâmetros que se relacionam como o desempenho de equipamentos. Os dados de produção serão utilizados para compor o cálculo dos indicadores de disponibilidade e, de forma similar, os dados de controle do processo de manutenção serão utilizados para compor o cálculo dos indicadores de custos.

#### 4.2.3.5 Etapa 5 – Tratamento de Dados

De posse de dados confiáveis, torna-se necessário tratá-los para transformá-los em informações. Para elaborar o tratamento de dados, sugere-se aplicar as ferramentas apresentadas no item 3.5.

Os gráficos de controle podem ser utilizados para o tratamento dos dados de medições oriundas da manutenção preventiva, permitindo a visualização do estado de controle estatístico de um processo e o monitoramento, quanto à locação e à dispersão, de itens de medição da referida manutenção. A figura 4.4 apresenta um exemplo de aplicação.

Gráficos de Pareto podem ser utilizados para o tratamento dos dados provenientes da manutenção corretiva, pois permitem visualizar os equipamentos causadores de falhas que necessitam ações prioritárias e a tendência à reincidência ao longo do tempo. A figura 4.5 apresenta um exemplo de aplicação.

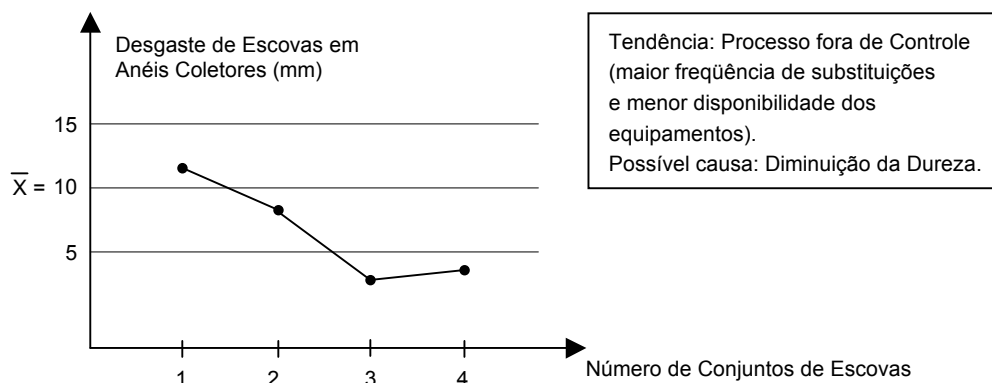


Figura 4.4 - Exemplo de Aplicação de Gráfico de Controle na Manutenção Preventiva.

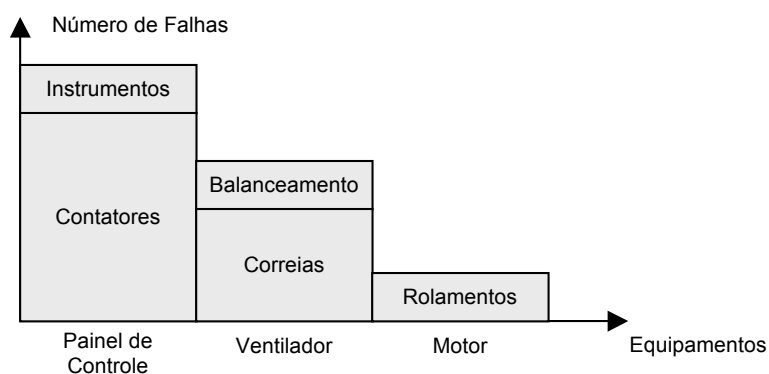


Figura 4.5 - Exemplo de Aplicação de Gráfico de Pareto na Manutenção Corretiva.

Quando a definição de causas necessitar de maior investigação, sugere-se utilizar o Diagrama de Causa e Efeito, conforme o exemplo da figura 4.6.

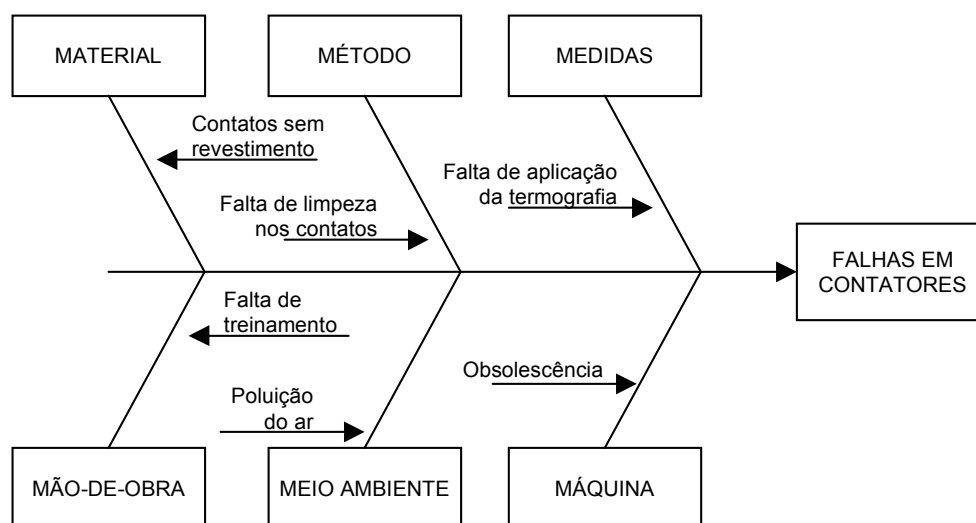


Figura 4.6 - Exemplo de Aplicação do Gráfico de Causa e Efeito.

Parece óbvia a aplicação de gráficos de Pareto e diagramas de Causa e Efeito. Talvez por essa razão, na rotina diária, acabam sendo suprimidos do roteiro de análise. Como consequência, os banco de dados de manutenção das empresas e comissões interempresariais estão repletos de causas definidas como “indeterminada”. Somente se justifica essa rotulagem quando um estudo de custo/benefício assim a determina. Nesse caso, por exemplo, é melhor substituir um equipamento ou componente do que prosseguir em busca da causa.

Os custos da manutenção preventiva e corretiva de um equipamento podem ser obtidos pelo método ABC, conforme apresentado no item 3.5.4, utilizando-se os dados básicos (recursos materiais e horas aplicadas por atividades de manutenção), de acordo com a seqüência demonstrada pela figura 4.7.

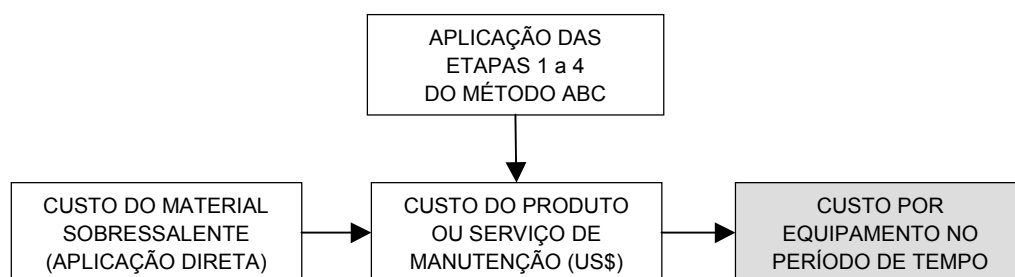


Figura 4.7 - Fluxograma Básico para Cálculo do Custo da Manutenção de um Equipamento.

Para a determinação das maiores perdas ocorridas durante a execução das atividades de manutenção de um equipamento, pode-se aplicar a técnica do levantamento da Taxa de Valor Agregado, conforme apresentado no item 3.5.5, dispondo dos dados de custo horário de cada atividade e do tempo utilizado para executá-las. Perdas elevadas, identificadas pela baixa TVA, indicam a possível necessidade de revisar a organização funcional dos equipamentos, proposta no item 4.2.3.1, para garantir a segurança pessoal, rotas otimizadas de manutenção e desburocratização do gerenciamento sistemático.

Finalmente, para determinar em que momento da vida útil de um equipamento ou componente está se realizando a análise de desempenho, pode-se aplicar o método de cálculo apresentado no item 3.5.6. Também pode-se determinar o orçamento anual admissível do equipamento, mediante a gestão dos custos diretos e indiretos da manutenção, de modo que o custo da falha fique abaixo da curva de evolução do custo médio anual de manutenção.



O tratamento sistemático de dados fornecerá como resultado, as informações básicas para o cálculo dos indicadores de disponibilidade e custos. Também fornecerá informações sobre tendências e causas que podem ser utilizadas na fase de análise de desempenho de equipamentos, como por exemplo:

- tendência de evolução dos parâmetros de controle (itens de medição);
- causas de falhas e defeitos em equipamentos ou componentes;
- tendência de bloqueio das causas de falhas e defeitos;
- tendência de evolução do processo de manutenção, mediante sistematização do levantamento de tempos, custos, perdas (atividades NAV) e gastos (materiais sobressalentes).

#### 4.2.4 Fase 4 – Identificar os Indicadores de Disponibilidade

Para a gestão do cumprimento dos objetivos estratégicos é necessário verificar constantemente a evolução dos indicadores de manutenção e detectar qualquer desvio da normalidade ou necessidade de melhoria. Para facilitar esse trabalho, a Associação Brasileira de Manutenção (2001, p. 1-20) define um elenco de indicadores utilizados universalmente e publicados regularmente em Documento Nacional. Além da identificação dos indicadores, é necessário definir os critérios para padronizar a seleção das ocorrências de manutenção que farão parte do cálculo dos indicadores, bem como da própria formulação dos respectivos indicadores.

Os principais indicadores de disponibilidade são os seguintes:

a) disponibilidade operacional

$$DO = \frac{HS + HPCO}{HP} \cdot 100 \quad (4.1)$$

sendo:

- DO - disponibilidade operacional (%);
- HS - horas em serviço (h);
- HPCO - horas paradas por conveniência operativa (h);
- HP - horas do período considerado (h);

b) indisponibilidade programada

$$IP = \frac{HMP}{HP} \cdot 100 \quad (4.2)$$

sendo:

IP - indisponibilidade programada para manutenção preventiva (%);

HMP - horas em manutenção preventiva (h);

HP - horas do período considerado (h);

c) indisponibilidade forçada

$$IF = \frac{HMC}{HP} \cdot 100 \quad (4.3)$$

sendo:

IF - indisponibilidade forçada por manutenção corretiva (%);

HMC - horas em manutenção corretiva (h);

HP - horas do período considerado (h);

d) taxa de falha

$$TF = \frac{NF}{HS} \quad (4.4)$$

sendo:

TF - taxa de falha (falhas / período);

NF - número de falhas no período considerado (falhas / período);

HS - horas de serviço no período considerado (h);

Os critérios para padronizar a seleção de ocorrências, estabelecem que serão considerados os seguintes casos:

- falhas durante a operação em vazio e carga do equipamento em análise;
- falhas na partida do equipamento em análise;
- falhas durante ensaio no equipamento em análise;
- falhas em equipamentos externos e que trazem, como consequência, falhas para o equipamento em análise;
- falhas em equipamentos auxiliares e que trazem, como consequência, falhas para o equipamento em análise;

e) tempo médio de reparo

$$\text{TMR} = \frac{\text{HMC}}{\text{NF}} \quad (4.5)$$

sendo:

TMR - tempo médio de reparo (h);

HMC - horas de manutenção corretiva (reparos) no período considerado (h);

NF - número de falhas no período considerado;

Como critério para a padronização do levantamento do tempo de reparo da função, consideram-se as seguintes atividades:

- emissão de documentos;
- preparação do material, ferramentas e dispositivos;
- deslocamento;
- isolamento do equipamento;
- reparo;
- recomposição do equipamento;
- baixa de documentos;

f) taxa de incidentes

$$\text{TI} = \frac{\text{NI}}{\text{HM}} \quad (4.6)$$

sendo:

TI - taxa de incidentes (incidentes / período);

NI - número de incidentes no período considerado (incidentes / período);

HM - horas de manutenção preventiva e corretiva no período considerado (h);

Como critério para a padronização de seleção de ocorrências, pode-se considerar os incidentes relacionados com a segurança do trabalho e meio ambiente.

Os resultados dos indicadores de disponibilidade apresentados são elementos que compõem, em conjunto com as tendências e causas, as informações necessárias para caracterizar o estado atual de um equipamento.

#### 4.2.5 Fase 5 – Identificar os Indicadores de Custos

Os indicadores de custos podem ser identificados de forma similar ao exposto no item 4.2.4. Os principais indicadores de custos são obtidos durante a aplicação do método ABC, e são os seguintes:

- custo médio anual da manutenção preventiva (US\$/ano);
- custo médio anual da manutenção corretiva (US\$/ano);
- custo acumulado de falha (US\$) – utilizado na análise da vida útil do equipamento;
- custo médio anual de exploração do equipamento (US\$/ano) – utilizado na análise da vida útil do equipamento;
- relação entre o custo médio anual de manutenção e o faturamento (%).

Os resultados dos indicadores de custos apresentados compõem, em conjunto com as tendências, causas e indicadores de disponibilidade, as informações necessárias para caracterizar o estado de um equipamento.

#### 4.2.6 Fase 6 – Analisar o Desempenho de Equipamentos

A aplicação desta fase exige capacitação técnica e criatividade por parte do analista de manutenção. Entretanto, a aplicação das fases anteriores fornecem informações que facilitam a estruturação da análise para a determinação do desempenho de um equipamento.

Os aspectos que devem ser considerados envolvem: a análise dos parâmetros apresentados na fase 3, que apresentam as tendências originadas nos itens de controle e as causas de desvios que devem ser bloqueadas; a análise dos indicadores de disponibilidade apresentados na fase 4, onde estão implícitos os aspectos de confiabilidade e manutenibilidade; a análise dos indicadores de custos apresentados na fase 5, que respaldam uma tomada de decisão quanto à ações de melhoria contínua.

A forma sugerida para agregação de todas essas informações e viabilizar uma análise consistente de desempenho, é a utilização de um quadro cognitivo que proporciona a visualização do estado de cada equipamento, bem como a comparação entre eles, com o objetivo de determinar, por comparação, o equipamento com o pior desempenho operacional. A figura 4.8 apresenta o quadro

cognitivo de apoio à análise de desempenho de equipamentos.

PARÂMETROS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS		EQUIPAMENTO			
		01	02	03	n
TENDÊNCIAS (SITUAÇÃO DOS ITENS DE CONTROLE QUE REQUEREM ATENÇÃO)					
CAUSAS (SITUAÇÃO DAS CAUSAS DE DESVIOS QUE REQUEREM BLOQUEIO)					
INDICADORES DE DISPONIBILIDADE	Disponibilidade Operacional (%)				
	Indisponibilidade Programada (%)				
	Indisponibilidade Forçada (%)				
	Taxa de Falha (falhas/ano)				
	Tempo Médio de Reparo (h)				
	Taxa de Incidentes (incidentes / ano)				
INDICADORES DE CUSTOS	Custo Médio Anual da Manutenção Preventiva (US\$/ano)				
	Custo Médio Anual da Manutenção Corretiva (US\$/ano)				
	Custo Acumulado de Falha (US\$)				
	Custo Médio Anual de Exploração (US\$/ano)				
	Custo Médio Anual de Manutenção por Faturamento (%)				
<b>CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS</b>					

Figura 4.8 - Quadro Cognitivo de Apoio à Análise de Desempenho de Equipamentos.

Para empresas de processamento contínuo do produto, pode-se utilizar como critério para definição do pior equipamento, a disponibilidade operacional. Portanto, a menor percentagem de disponibilidade define o pior equipamento. Os parâmetros de tendências, causas e indicadores de custos servirão para definir um desempate técnico entre fatores de disponibilidade operacional muito próximos.

Em empresas onde o processamento do produto é descontínuo, pode-se utilizar como critério para definição do pior equipamento, o maior custo médio anual de manutenção. Nesse caso, os parâmetros de tendências, causas e indicadores de

disponibilidade servirão para definir um desempate técnico entre valores de custo de manutenção muito próximos.

No caso de empresas onde não é evidente a utilização do critério de disponibilidade operacional ou do custo médio anual de manutenção, será necessário o emprego de uma metodologia de análise multicriterial, envolvendo critérios vinculados a benefícios esperados, redução de esforços, objetivos, requisitos ou condicionantes, mediante atribuição de pesos, aplicando-se, por exemplo, o Diagrama de Mudge (POSSAMAI, 2002, p. 4).

O cumprimento desta fase resulta na identificação do pior equipamento em análise. Esse equipamento representa o maior potencial para a determinação de oportunidades de melhoria no processo de manutenção.

#### 4.2.7 Fase 7 – Estabelecer Metas para os Indicadores de Disponibilidade

Após a identificação dos indicadores de disponibilidade, considerando os objetivos estratégicos e um trabalho de *benchmarking*, pode-se estabelecer as metas para os referidos indicadores. Entretanto, não é objetivo deste trabalho o estudo do alinhamento dos objetivos estratégicos empresariais com os objetivos da área de manutenção, muito menos o desenvolvimento do *benchmarking* como tarefa de apoio. Uma forma adequada de contornar este problema é a determinação de percentuais de melhoria dos indicadores, que definirão as metas a serem alcançadas gradualmente. Estas metas devem ser tomadas como desafio, porém, também devem ser perfeitamente exeqüíveis.

A aplicação desta fase nos fornecerá referenciais para comparação do desempenho pontual de um equipamento, com os resultados esperados durante o processo de melhoria contínua.

#### 4.2.8 Fase 8 – Estabelecer Metas para os Indicadores de Custos

A aplicação e os resultados obtidos nesta fase são análogos aos expostos no item 4.2.7.

#### 4.2.9 Fase 9 – Determinar Oportunidades de Melhoria no Processo de Manutenção

Quando os indicadores de disponibilidade e custos, utilizados na definição do pior equipamento, estiverem abaixo das respectivas metas estipuladas, haverá a necessidade de determinar as oportunidades de melhoria no processo de manutenção. Neste caso o conjunto de parâmetros utilizados na definição do pior equipamento irá compor o Diagrama Matriz. A figura 4.9 apresenta o Diagrama Matriz para o modelo proposto. Esse tipo de diagrama pode ser utilizado para a visualização de um problema como um todo, deixando claras as áreas nas quais o problema está concentrado. Essa ferramenta também permite a exploração de um problema sob mais de um ponto de vista e a construção de uma base multidimensional para sua solução, bem como a identificação de gargalos e pontos críticos (WERKEMA, 1995, p. 53). Este é o momento, diante de todas as informações estruturadas, para o analista de manutenção definir quais são as oportunidades de melhoria no processo de manutenção.

PARÂMETROS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS PARÂMETROS PARA ANÁLISE DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO	PROJEÇÃO AO FUTURO		BASE HISTÓRICA (PASSADO)		
	TENDÊNCIAS	CAUSAS	DISPONIBILIDADE		CUSTOS
			CONFIABILIDADE	MANUTENIBILIDADE	
ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
PROCEDIMENTOS PARA MANUTENÇÃO	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
EXECUÇÃO DA MANUTENÇÃO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
ARMAZENAMENTO DE DADOS	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TRATAMENTO DE DADOS	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="checkbox"/>

RELACIONAMENTO:  MUITO FORTE  
 FORTE  
 FRACO

**RELAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA:**

Figura 4.9 - Diagrama Matriz para Determinar as Oportunidades de Melhoria no Processo de Manutenção.

As linhas do Diagrama Matriz são destinadas aos cinco parâmetros para análise do processo de manutenção, apresentados na fase 3 do modelo, e as colunas são destinadas aos parâmetros para análise de desempenho de equipamentos, apresentados nas fases 3, 4, e 5 do modelo e sintetizados pelo quadro cognitivo da figura 4.8.

Além do Diagrama de Matriz, pode-se utilizar complementarmente a Taxa de Valor Agregado, dependendo do ponto do processo de manutenção em que se deseja a melhoria. Com esse aprofundamento a análise deixa de ser exclusivamente qualitativa e passa a ser, também, quantitativa.

O cumprimento desta fase apresenta como resultado uma relação de oportunidades de melhoria no processo de manutenção de equipamentos. As oportunidades de melhoria são identificadas mediante uma análise criteriosa da intensidade do relacionamento (muito forte, forte e fraco) entre os parâmetros para análise do processo de manutenção e dos parâmetros encontrados para a análise de desempenho de equipamentos. Por exemplo: um relacionamento muito forte entre os parâmetros de manutenibilidade e organização funcional, pode revelar a necessidade de deslocar o equipamento analisado para outra unidade de manutenção; entre os parâmetros de causas ou confiabilidade e procedimentos de manutenção, pode revelar a necessidade de revisar os procedimentos, incluindo novos itens de medição ou aumentando a frequência de inspeção no equipamento; entre os parâmetros de tendências ou manutenibilidade e execução da manutenção, pode revelar a necessidade de elaborar novas instruções para padronizar as tarefas de execução da manutenção.

#### 4.2.10 Fase 10 – Priorizar Oportunidades de Melhoria

A ordenação de oportunidades de melhoria no processo de manutenção pode ser realizada como o auxílio do Método GUT (Gravidade, Urgência, Tendência), desenvolvido por Kepner e Tregoe (apud POSSAMAI, 2002, p. 8), entretanto, não é objeto de estudo neste trabalho.



#### 4.2.11 Fase 11 – Gerar Soluções

Nesta etapa se sobrepõe a postura criativa à sistemática e depende fundamentalmente do analista de manutenção. Após a priorização de oportunidades de melhoria deve-se gerar soluções que supostamente estarão engajadas com a melhoria contínua do processo de manutenção e, conseqüentemente, do desempenho de equipamentos. Entretanto, não é objeto de estudo neste trabalho.

#### 4.2.12 Fase 12 – Implantar Plano de Ação

Após a definição das soluções deve-se elaborar o plano de ação, que é um conjunto de contramedidas com o objetivo de bloquear as causas fundamentais. De acordo com Werkema (1995, p. 33), para cada contramedida constante do plano de ação, pode-se utilizar a ferramenta 5W1H, que estabelece o que será feito, quando será feito, quem fará, onde será feito, por que será feito e como será feito. Entretanto, não é objeto de estudo neste trabalho.

#### 4.2.13 Fase 13 – Acompanhar o Desempenho das Soluções

Esta fase é destinada ao acompanhamento da eficiência das soluções implantadas com o objetivo de melhoria no processo de manutenção, e pode ser realizada mediante a evolução dos indicadores de disponibilidade e custos.

### 4.3 Condições para Aplicação do Modelo

A organização dos dados e a estruturação das informações são inerentes à aplicação do modelo proposto. Entretanto, para que se possa alcançar tal objetivo, será necessário o atendimento dos seguintes pré-requisitos:

- utilização de dados confiáveis, coletados sob os critérios estabelecidos pelos procedimentos de manutenção, no momento certo, nos locais pré-definidos e pelos meios adequados;
- utilização de dados padronizados, uma vez que há várias formas corretas e confiáveis para a obtenção de dados, mas somente uma delas deve ser adotada

- para que se viabilize a análise sistemática mediante a comparação;
- divulgação dos dados e do meio de obtenção, para que se tornem de conhecimento de todos envolvidos com o processo de manutenção e sejam objetos de proatividade.

O próximo capítulo será destinado à verificação da aplicabilidade do modelo proposto no item 4.1, mediante a análise dos resultados obtidos durante o cumprimento das fases consideradas como objeto deste trabalho.

## **CAPÍTULO 5 APLICAÇÃO DO MODELO**

Este capítulo tem como objetivo principal demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto diante de um caso real, direcionando as oportunidades de análise dos resultados no sentido da melhoria do processo de manutenção.

Para o cumprimento deste objetivo faz-se necessário definir um local adequado para que a aplicação seja representativa, cumprir todas as fases que têm compromisso com os objetivos do trabalho e analisar os resultados provenientes dessas fases sob distintas perspectivas, para que se possa tirar conclusões confiáveis, identificando as dificuldades e facilidades proporcionadas ao analista de manutenção.

### **5.1 Local de Aplicação**

O modelo proposto será aplicado em uma grande empresa de geração de energia elétrica, que dispõe em sua estrutura organizacional uma área de manutenção, composta com pessoal do quadro próprio, destinado tanto à execução da manutenção dos equipamentos como ao apoio de engenharia de manutenção. Essa empresa tem como objetivo a produção contínua de energia, reservando períodos programados de parada de suas unidades produtoras para executar as manutenções preventivas sistemáticas que, complementadas pelas manutenções assistemáticas (preditivas) e rondas rotineiras, são responsáveis pela garantia de cumprimento das metas de disponibilidade e confiabilidade operacionais. Como meio para alcançar tal objetivo, dispõe de um sistema de gerenciamento de manutenção que é operacionalizado com base em filosofia, diretrizes e objetivos próprios, mas que necessita ser freqüentemente dinamizado mediante a melhoria contínua do processo de manutenção de equipamentos. Portanto, será pertinente testar o modelo proposto.

### **5.2 Descrição da Aplicação**

A aplicação deverá cumprir integralmente as fases 2 a 9 do modelo proposto, utilizando as ferramentas e critérios apresentados nos capítulos anteriores.

Todas as fases deverão ser aplicadas mediante o trabalho conjunto de especialistas, como executores de manutenção, analistas de desempenho de equipamentos e sistematizadores do processo de manutenção. As fases que mais carecem de um trabalho em equipe são as destinadas à determinação da criticidade dos equipamentos e ao estabelecimento de parâmetros para a análise do processo de manutenção, para os casos da aplicação das ferramentas de riscos de falhas, manutenção centrada em confiabilidade, análise preliminar de riscos e análise das atividades.

### 5.2.1 Fase 1 – Identificar os Objetivos Estratégicos da Manutenção

Para iniciar o teste do modelo proposto é necessário um levantamento sobre os objetivos estratégicos da área de manutenção da referida empresa. Os objetivos estratégicos que foram identificados, são os seguintes:

- otimizar a disponibilidade operacional das unidades geradoras, de forma a alcançar, no mínimo, uma média de 92,0% ao longo do ano;
- otimizar os procedimentos de manutenção, consolidar as sistemáticas de tratamento e análise das informações advindas da execução das manutenções de caráter preventivo;
- identificar e definir as prioridades para um programa de treinamento operacional, objetivando capacitar o pessoal técnico com as habilidades necessárias para o desempenho de suas funções.

Pode-se notar que é atribuída grande importância à melhoria contínua dos processos de manutenção, como meio de garantir as metas de disponibilidade operacional dos equipamentos.

### 5.2.2 Fase 2 – Determinar a Criticidade de Equipamentos

A fase 2 é destinada a determinar a criticidade de equipamentos para o processo produtivo. Para determinar a criticidade faz-se uso da ferramenta que quantifica o risco de falhas, conforme os critérios estabelecidos no item 4.2.2, aplicada aos equipamentos de uma unidade geradora. A figura 5.1 apresenta o levantamento do Risco de Falha (RF) para os principais equipamentos de uma unidade geradora.

EQUIPAMENTO		FALHA	G	F	D	RF	PRIOR.
GERADOR	ROTOR	Falha para terra	3	1	9	27	2
	ESTATOR	Vazamento água pura	9	1	9	81	2
	MANCAIS	Falta de equalização de carga	9	1	1	9	3
	ANÉIS COLETORES	Curto-circuito	3	9	3	81	2
	TROCADORES CALOR	Vazamento de água	3	3	9	81	2
	SISTEMA FRENAGEM	Engripamento de macaco	1	9	9	81	2
TURBINA	ROTOR / EIXO	Desalinhamento	9	1	1	9	3
	DISTRIBUIDOR	Vazamento água retentor palheta	3	9	1	27	2
	CAIXA VEDAÇÃO	Quebra anéis de carvão	3	3	9	81	2
	TAMPA	Vazamento de água	3	9	1	27	2
	MANCAL	Falta de centragem	9	1	1	9	3
	SISTEMA AERAÇÃO	Vazamento óleo amortecedor	3	3	9	81	2
SISTEMA DE EXCITAÇÃO	EXCITAÇÃO INICIAL	Falha componente eletrônico	1	9	9	81	2
	TIRISTORES	Falta de condução	1	3	9	27	2
	EXCITAÇÃO TERMINAL	Falha componente eletrônico	1	9	9	81	2
	TROCADORES CALOR	Vazamento de água	1	3	9	27	2
	DISJUNTOR CAMPO	Falha de componente	1	9	9	81	2
	TRANSFORMADORES	Curto-circuito interno	3	1	9	27	2
REGULADOR DE VELOCIDADE	BOMBAS	Engripamento de rotores	9	3	9	243	1
	TANQUE/VÁLVULAS	Emperramento de válvulas	1	9	9	81	2
	COMPRESSORES	Quebra de anéis e válvulas	1	9	3	27	2
	ACUMULADORES	Desajuste de chaves de nível	1	9	9	81	2
	SERVOMOTORES	Vazamento óleo retentor êmbolo	9	1	9	81	2
	CUBÍCULO ELETRÔNICO	Falha de componente eletrônico	1	9	9	81	2
TOMADA D'ÁGUA	COMPORTA	Oxidação de rodas	9	9	1	81	2
	BOMBAS	Vibração excessiva	3	3	1	81	2
	SISTEMA HIDRÁULICO	Engripamento de válvulas	1	3	9	27	2
	<b>SERVOMOTOR</b>	<b>Vazamento óleo gaxeta êmbolo</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>729</b>	<b>1</b>
	QUADRO CTM	Falha componentes	1	9	9	81	2
	CONDUTO FORÇADO	Vazamento água junta expansão	9	3	1	27	2
SISTEMA DE CONTROLE	QUADRO ULP	Falha componentes	1	9	9	81	2
	ANUNCIAÇÃO	Falha componentes	1	9	9	81	2
	MEDIÇÃO	Falha componentes	1	9	9	81	2
	SINALIZAÇÃO	Falha componentes	1	9	9	81	2
	CONTROLE AUTOMÁTICO	Falha componentes	1	9	9	81	2
	RELÉS	Desajuste	1	9	9	81	2

Figura 5.1 - Risco de Falha dos Principais Equipamentos de Uma Unidade Geradora.

A unidade geradora foi dividida em seis subunidades principais e cada subunidade em seis equipamentos relevantes. Estas divisões dependem das características de cada instalação. Para cada equipamento foi selecionada a falha mais representativa, observada nos relatórios de histórico de falhas. Por comparação entre os impactos de cada falha no processo produtivo, foram determinados os pesos para os fatores de gravidade (indisponibilidade operacional causada), frequência (número de falhas ocorridas no mesmo período considerado) e

detectabilidade (existência, ou não, de sistema de monitoramento contínuo no equipamento). Exemplo:

- baixo impacto, peso = 1;
- moderado impacto, peso = 3;
- alto impacto, peso = 9.

Conclui-se que o servomotor da tomada d'água é o equipamento com o maior risco de falha (RF = 729). Portanto, este será o equipamento com o maior potencial para análise do processo de manutenção. A figura 5.2 apresenta um corte da estrutura da tomada d'água e a figura 5.3 apresenta o circuito hidráulico para controle do fechamento e abertura da comporta de serviço. Por intermédio destas figuras pode-se identificar a locação e função de um servomotor.

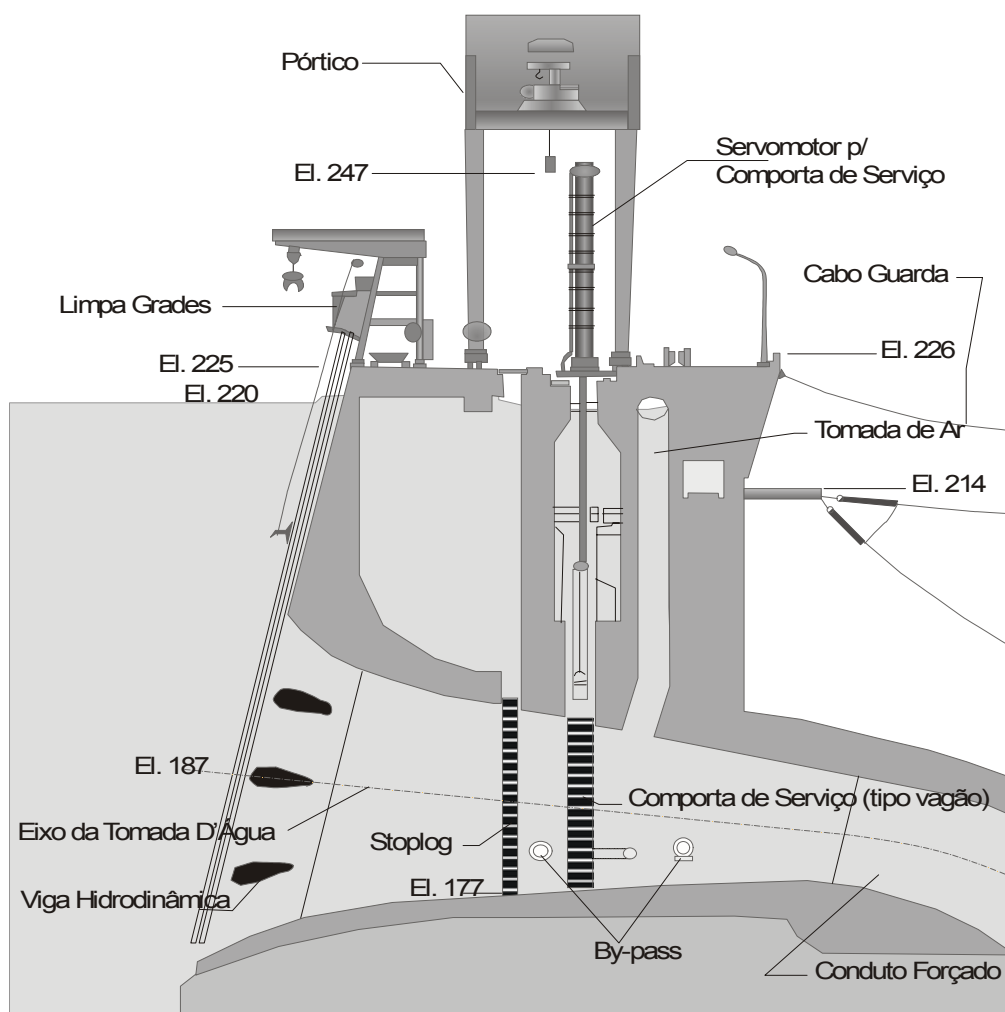


Figura 5.2 - Corte da Estrutura da Tomada D'Água. (ITAIPU BINACIONAL, 1994, p. 10.8)

É necessário considerar que o risco de falha de um equipamento se altera ao longo do tempo, por influência de fatores como vida útil, regime de trabalho ou da melhoria do processo de manutenção.

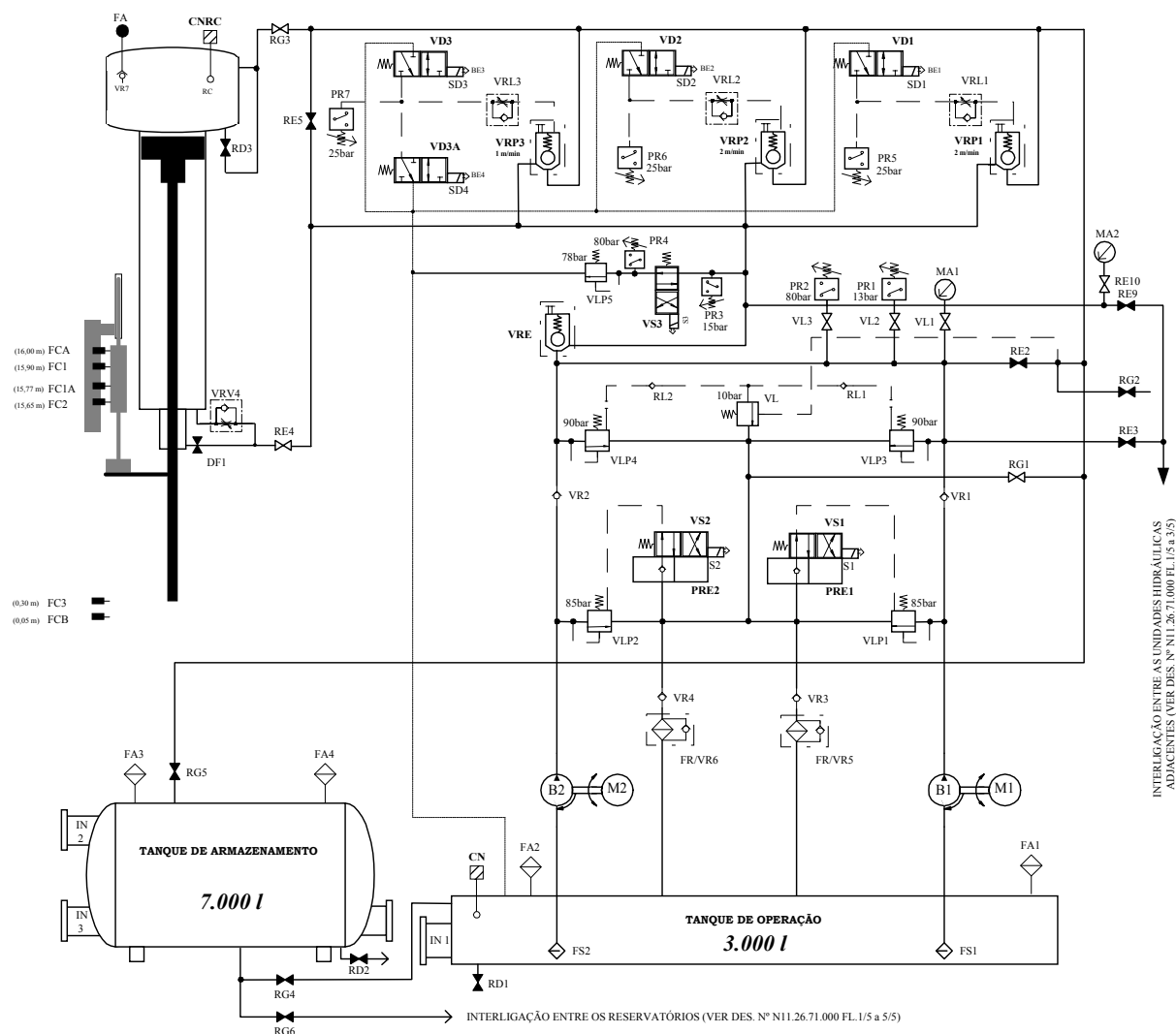


Figura 5.3 - Circuito Hidráulico da Comporta de Serviço. (ITAIPU BINACIONAL, 1994, p. 10.19).

Outros equipamentos (RF = 243) também poderiam ser priorizados para realizar a análise do processo de manutenção. Cada analista de manutenção é responsável por uma fração dos equipamentos de uma unidade geradora. Isso permite que cada um analise os riscos dos equipamentos sob sua responsabilidade, possibilitando a abertura de várias frentes de análise de desempenho e dos respectivos processos de manutenção.

### 5.2.3 Fase 3 – Estabelecimento de Parâmetros para a Análise do Processo de Manutenção

Para uma análise detalhada sobre o servomotor da tomada d'água, é necessário considerar os parâmetros propostos pelas cinco etapas do processo de manutenção.

#### 5.2.3.1 Etapa 1 – Organização Funcional dos Equipamentos

Não há outra alternativa de codificação do servomotor da tomada d'água senão aquela pautada pelo critério de interdependência operativa de equipamentos. A figura 5.4 representa esquematicamente a árvore de interdependência dos equipamentos reunidos sob este critério.

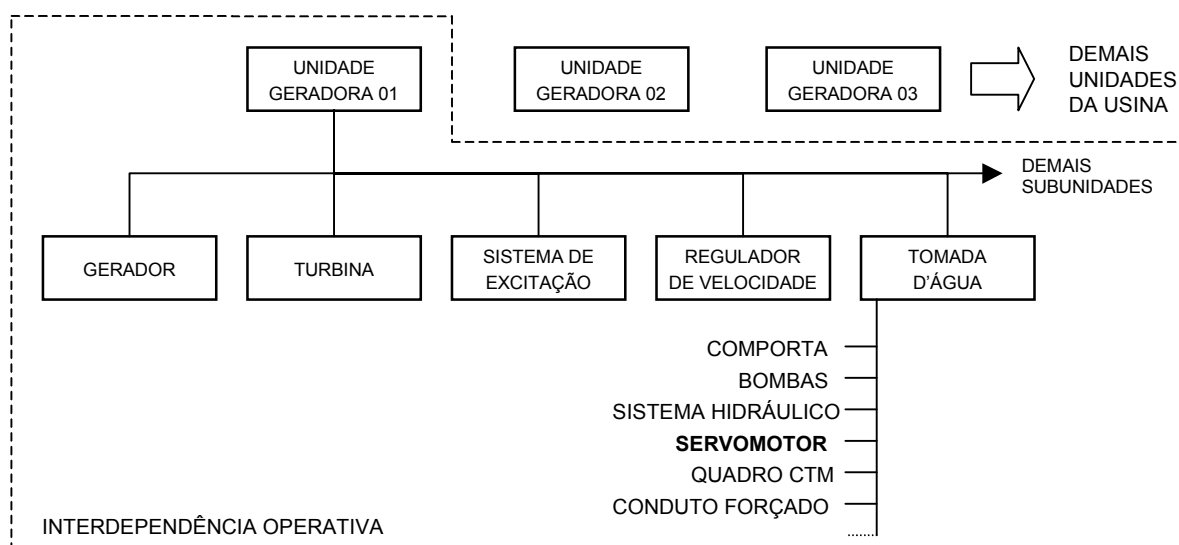


Figura 5.4 - Locação do Servomotor da Tomada D'Água no Grupo de Interdependência Operativa.

Conclui-se que a melhor forma de otimizar o processo de manutenção dos servomotores, será mediante a retirada de serviço em conjunto com os demais equipamentos da unidade geradora a que pertence. O conjunto destes equipamentos define uma unidade de manutenção. Isso significa que não é viável executar a manutenção somente do servomotor ou, muito menos viável, executar a manutenção de todos os servomotores ao mesmo tempo, por razões de programação da produção, dos recursos humanos e suprimento de materiais. No



caso dos servomotores esta conclusão parece óbvia, entretanto, nem sempre a alternativa é tão clara para todos os tipos de equipamentos e suas funções.

### 5.2.3.2 Etapa 2 – Elaboração dos Procedimentos de Manutenção

Nesse momento deve-se elaborar ou verificar a adequabilidade dos procedimentos de manutenção destinados ao servomotor da tomada d'água, com apoio das ferramentas de RCM, APR e das técnicas de padronização de atividades de manutenção.

Inicialmente, é necessário definir as funções que o equipamento exerce e na seqüência, para cada função, quais são os modos de falha que o equipamento pode apresentar. A planilha da figura 5.5 auxilia a estruturação de tal tarefa.

<b>MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE</b>		
EQUIPAMENTO: Servomotor da tomada d'água		
FUNÇÃO: Movimentar comporta de serviço durante as manobras de fechamento e abertura		
COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSAS DA FALHA
Cilindro	Oxidação da superfície.	Falta de pintura de conservação.
	Deslocamento durante manobras da comporta.	Afrouxamento das vigas suportes.
Reservatório de Compensação	Emperramento da válvula de retenção VR7.	Impurezas presentes no óleo ou ar atmosférico.
	Saturação do filtro de ar FA.	Poluição do ar atmosférico.
Tampa Inferior do Servomotor	Vazamento de óleo (efeito: fechamento descontrolado da comporta).	Deterioração de gaxetas ou anéis de vedação inferiores.
Haste do Servomotor/Êmbolo.	Vazamento de óleo para o reservatório de compensação (efeito: fechamento descontrolado da comporta).	Deterioração de gaxetas ou anéis de vedação.
	Danos na superfície da haste.	Deterioração das gaxetas inferiores.
	Trincas na extremidade inferior da haste.	Fadiga do material.
	Destravamento da haste com o garfo de suspensão	Afrouxamento dos pinos.

Figura 5.5 - Planilha para Determinação dos Modos de Falha.

A elaboração do procedimento de manutenção para o servomotor da tomada d'água pode ser viabilizada com o apoio da planilha apresentada pela figura 5.6.

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE													
EQUIPAMENTO: Servomotor da Tomada D'Água													
FUNÇÃO : Movimentar a comporta de serviço durante as manobras de fechamento e abertura													
MODO DE FALHA	ANÁLISE DE CRITICIDADE				GUIA DE SELEÇÃO							TAREFA SELECIONADA	FREQÜÊNCIA ESTIMADA
	EVID	SEG	OPER	CAT	1	2	3	4	5	6	7		
Oxidação da superfície.	S	N	N	C	S	S	N	N	-	S	-	Inspeccionar o estado da pintura.	1 ano
Deslocamento durante manobras da comporta.	N	-	-	D	S	S	N	S	N	S	-	Inspeccionar a fixação das vigas suportes.	1 ano
Emperramento da válvula de retenção VR7.	S	S	-	A	S	S	N	N	-	S	-	Inspeccionar a mangueira de recuperação do óleo em vazamento.	1 ano
Saturação do filtro de ar FA.	N	-	-	D	S	S	N	S	N	S	-	Trocar o elemento filtrante.	1 ano
Vazamento de óleo pela tampa inferior.	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	Trocar as gaxetas e anéis de vedação.	6 anos
Vazamento de óleo pela haste/êmbolo.	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	Trocar as gaxetas, anéis de vedação e anel raspador.	6 anos
Danos na superfície da haste.	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	Trocar as gaxetas inferiores.	6 anos
Trincas na extremidade inferior da haste.	N	-	-	D	S	S	N	S	S	S	-	Inspeccionar a extremidade com líquido penetrante.	4 anos
Destravamento da haste com o garfo de suspensão.	N	-	-	D	S	S	N	S	N	5	-	Inspeccionar a fixação da haste com o garfo.	1 ano

Figura 5.6 - Planilha Para Determinação do Procedimento de Manutenção.

A deterioração das gaxetas é causada pelo ataque químico proporcionado pelo próprio óleo do circuito hidráulico. A vida útil aproximada das gaxetas, para o lote em uso nesse ambiente, é de sete anos, sendo estimada pelo tempo médio entre falhas.

A verificação dos procedimentos de manutenção com base na RCM pode instituir novas tarefas de manutenção, alterar a freqüência de execução dessas tarefas ou, ainda, excluir alguma tarefa que não guarde coerência com a metodologia e seja dispensável por não alcançar os resultados esperados. Desta forma, os procedimentos estarão ajustados para prevenir falhas e maximizar a disponibilidade operacional do equipamento.

Com o procedimento de manutenção elaborado ou revisado, pode-se facilmente organizar uma relação confiável de materiais sobressalentes que serão utilizados durante as manutenções dos equipamentos. Essa relação poderá informar as quantidades e a previsão de uso de materiais sobressalentes ao longo do tempo, auxiliando a cadeia de suprimentos.

Para garantir a manutenibilidade em níveis desejados, recomenda-se, para o caso de servomotores da tomada d'água, a elaboração de procedimento para desmontagem e montagem, visando a troca das gaxetas e anéis de vedação. Nesse procedimento deverá constar:

- macroatividades;
- equipe básica;
- tempo estimado;
- recursos materiais (ferramentas, dispositivos, olhais, cabos, manilhas e materiais de consumo comum);
- equipamentos de elevação e transporte;
- relação ordenada de procedimentos para desmontagem e montagem;
- bibliografia;
- anexos (figuras sobre desmontagem e montagem das peças, conforme o exemplo do Anexo A).

Instruções de manutenção também devem ser elaboradas visando facilitar a execução das tarefas. Como exemplo, a tarefa de inspeção da pintura deve ter seu detalhamento, técnicas e critérios padronizados.

Vistos os procedimentos que garantem os aspectos de confiabilidade e manutenibilidade, torna-se necessário elaborar ou revisar os procedimentos de segurança, mediante aplicação da APR, para garantir a integridade das equipes de manutenção. O procedimento de desmontagem e montagem pode ser utilizado como referência para esta tarefa.

A elaboração da análise preliminar de risco para as atividades no servomotor da tomada d'água pode ser viabilizada com o auxílio da planilha apresentada pela figura 5.7.

Observa-se que os maiores riscos estão relacionados com os deslocamentos dentro do vão da comporta.

<b>ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS</b>				
<b>EQUIPAMENTO: Servomotor da tomada d'água</b>				
<b>RISCO</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>EFEITOS</b>	<b>CAT</b>	<b>INSPEÇÕES DE SEGURANÇA / RECOMENDAÇÕES</b>
Queda durante a estocagem da comporta.	Manuseio errado dos dispositivos; Falta de limpeza de superfícies normalmente submersas.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Limpar previamente o local; Utilizar dispositivos previstos pelo procedimento; Utilizar EPIs adequados.
Sistema pressurizado.	Manobra de despressurização errada; Falha do instrumento de supervisão.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Cumprir procedimento de despressurização; Supervisionar a tarefa.
Sistema energizado.	Utilização de bornes errados para desenergização.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Cumprir procedimento de desenergização; Supervisionar a tarefa.
Queda durante a retirada de eletrodutos.	Posicionamento errado do guindaste com gaiola.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Cumprir procedimento de desmontagem; Utilizar EPIs adequados.
Queda durante a montagem de plataformas no vão da comporta.	Posicionamento errado do guindaste.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Utilizar EPIs adequados.
Queda durante desacoplamento/acoplamento a haste.	Falta de montagem da plataforma.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Montagem de plataformas; Utilizar EPIs adequados.
Queda durante abertura da válvula RD3.	Posicionamento errado do guindaste com gaiola.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Cumprir procedimento de drenagem do óleo; Utilizar EPIs adequados.
Queda durante desmontagem de tubulações de óleo.	Posicionamento errado do guindaste com gaiolas.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Cumprir procedimento de desmontagem das seções; Utilizar EPIs adequados.
Queda durante içamento e traslado do servomotor.	Posicionamento errado do guindaste com gaiola.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Cumprir procedimento de içamento e traslado; Utilizar EPIs adequados.
Queda durante a montagem de guarda-corpos.	Posicionamento errado do guindaste; Superfícies escorregadias.	Lesão; Fratura; Morte.	IV	Utilizar sinalização visual; Limpar previamente o local; Utilizar EPIs adequados.

Figura 5.7 - Planilha de Elaboração da Análise Preliminar de Risco.

No caso do servomotor não há necessidade de aplicar a técnica de padronização de atividades de manutenção, por ser um equipamento com componentes totalmente atípicos, ou seja, não há outros com características iguais ou semelhantes.

#### 5.2.3.3 Etapa 3 – Execução da Manutenção

Concluídos ou revisados os procedimentos de manutenção (inspeções e controle, instruções de manutenção, desmontagem, montagem e inspeções de segurança) recomenda-se utilizá-los inicialmente com a aplicação da técnica de análise da atividade. A aplicação exigiu a presença do analista de manutenção no campo, durante a execução das atividades que foram realizadas na tomada d'água das unidades geradoras U05, no período de 23/07/02 a 09/08/02, e U07, no período de 06/08/02 a 23/08/02, conforme o exemplo do Anexo B.

A elaboração da análise das atividades no servomotor da tomada d'água pode ser viabilizada com o auxílio da planilha apresentada pela figura 5.8, permitindo o aprimoramento do processo de manutenção e da melhoria contínua da disponibilidade operacional dos equipamentos.

#### 5.2.3.4 Etapa 4 – Armazenamento de Dados

Para viabilizar a análise de desempenho do servomotor da tomada d'água, os seguintes dados básicos de manutenção devem ser armazenados:

- dados de cadastro do servomotor (assistemáticos):
  - número de série: V2 03 (U05) e V2 09 (U07);
  - ano de fabricação: 09/07/1987 (U05) e 04/01/1988 (U07);
  - fabricante: Bardella SA Indústrias Mecânicas;
  - capacidade máxima: 8.650 kN;
  - capacidade nominal: 6.500 kN;
  - comprimento: 16.510 mm;
  - curso: 16.185 mm;
  - peso (sem óleo): 38.529 kg;
  - diâmetro da haste: 250 mm;
  - diâmetro do cilindro/êmbolo: 900 mm;

<b>ANÁLISE DA ATIVIDADE</b>			
<b>EQUIPAMENTO: Servomotor da tomada d'água – U05 e U07</b>			
<b>MANUTENÇÃO: Preventiva Quadrienal</b>			
<b>TAREFAS PRESCRITAS (VIGENTES)</b>	<b>CONDIÇÕES DE TRABALHO</b>	<b>ATIVIDADES EXECUTADAS</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>
<p><b>ANUAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar o servomotor quanto a:           <ul style="list-style-type: none"> <li>• oxidação e/ou riscos na haste;</li> <li>• estado geral de conservação e a fixação da haste e garfo de suspensão;</li> <li>• fixação e estado geral de conservação das vigas suportes;</li> <li>• estado geral da pintura (utilizar instrução de manutenção);</li> <li>• desmontar e efetuar manutenção da válvula VR7, purgador de ar e do filtro de ar FA;</li> <li>• verificar o estado da mangueira de retorno de óleo. Trocar se necessário.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>QUADRIENAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumprir inspeção anual e adicionalmente:           <ul style="list-style-type: none"> <li>• desmontar o servomotor para inspeção e verificar a bucha guia do êmbolo e bucha guia da haste. Trocar se necessário;</li> <li>• trocar as gaxetas superiores;</li> <li>• trocar as gaxetas inferiores;</li> <li>• trocar o anel raspador;</li> <li>• trocar todos os anéis de vedação;</li> <li>• inspecionar a extremidade inferior da haste do servomotor, com líquido penetrante (utilizar instrução de manutenção).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipe utilizada conforme previsto no procedimento;</li> <li>- Regime normal de trabalho;</li> <li>- Serviço sujeito a intempéries (clima);</li> <li>- Plataformas originais de trabalho não satisfazem as condições de segurança para o trabalho;</li> <li>- Utilização de <i>poka-yokes</i> para detecção de partida de bombas do circuito hidráulico;</li> <li>- Nem todos os procedimentos estavam disponíveis no campo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas as atividades foram executadas conforme o planejamento;</li> <li>- Todos os registros textuais foram elaborados;</li> <li>- Não houve necessidade de registros de medições sistemáticas (não há prescrição de tarefa com esta finalidade – este fato não ocorre com a maioria dos equipamentos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar as novas plataformas de manutenção e guarda-corpos;</li> <li>- Estudar a possibilidade de revisar os procedimentos de manutenção, alterando a frequência de troca preventiva das gaxetas do servomotor, para cada seis ou oito anos.</li> </ul>

Figura 5.8 - Planilha de Elaboração da Análise da Atividade.

- pressão de trabalho: 113 kg/cm<sup>2</sup>;
  - velocidade: 0,7 m/min (abertura) e 3,0 m/min (fechamento);
- dados da manutenção preventiva:
- para o caso do servomotor, os procedimentos não solicitam armazenamento sistemático de dados;
- dados na manutenção corretiva:
- durante a realização da manutenção do servomotor, não foi necessário armazenar nenhum dado no histórico da manutenção corretiva;
- materiais de reserva utilizados:
- 05 (cinco) anéis de vedação 183,5 x 1/4" (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (um) anel de vedação 56,5 x 3/16" (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (um) anel de vedação 80,8 x 3,5 mm (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (um) anel de vedação 135,9 x 1/4" (borracha sintética shore A-90);
  - 02 (dois) anéis de vedação 142,2 x 1/4" (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (um) anel de vedação 771,5 x 1/4" (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (um) anel de vedação 788,5 x 1/4" (borracha sintética shore A-90);
  - 02 (dois) anéis de vedação 281,2 x 3/16" (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (um) anel de vedação 888,5 x 1/4" (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (um) anel de vedação 1000,5 x 1/4" (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (um) anel de vedação 1040 x 1/4" (borracha sintética shore A-90);
  - 01 (uma) gaxeta tipo "U" 850,00 x 900,00 mm (poliuretano);
  - 01 (uma) gaxeta tipo "U" 250,00 x 270,00 mm (poliuretano);
  - 01 (um) anel raspador 270 x 290 x 8 mm (borracha nitrílica shore A-80-95 GA230);
- dados para apropriação de custos de manutenção:
- equipe de trabalho
    - 01 (um) técnico mecânico especializado;
    - 02 (dois) técnicos mecânicos;
    - 03 (três) mecânicos;
    - 01 (um) operador de pórtico rolante;

- 01 (um) operador de guindaste de pneus;
- horas utilizadas por atividades de manutenção
  - atividades de apoio: 4,0 h (U05) / 4,0 h (U07);
  - desmontagem do servomotor: 11,0 h (U05) / 11,0 h (U07);
  - transporte para a câmara de estocagem: 2,5 h (U05) / 2,5 h (U07);
  - desmontagem interna: 16,0 h (U05) / 16,0 h (U07);
  - troca de gaxetas: 8,0 h (U05) / 4,0 h (U07);
  - montagem interna: 16,0 h (U05) / 16,0 h (U05);
  - transporte para o vão da comporta: 2,5 h (U05) / 2,5 h (U07);
  - montagem do servomotor: 12,0 h (U05) / 12,0 h (U07);
- dados básicos de produção:
  - horas anuais do servomotor em serviço: 8692 h (U05) / 8696 h (U07);
  - horas anuais do servomotor parado por conveniência operativa: 0 (zero) h (U05) / 0 (zero) h (U07);
  - horas anuais de indisponibilidade para manutenção preventiva: 68 h (U05) / 64 h (U07);
  - horas anuais de indisponibilidade para manutenção corretiva: 0 (zero) h (U05) / 0 (zero) h (U07) – ocorreu uma falha no servomotor da U05, em 1993.

#### 5.2.3.5 Etapa 5 – Tratamento de Dados

O armazenamento sistemático de dados de manutenção permitirá efetuar, com auxílio das ferramentas ordenadas no item 4.2.3.5, um tratamento adequado à obtenção de informações destinadas à análise de desempenho de equipamentos e à melhoria contínua do processo de manutenção. Portanto, nesse momento não é suficiente contar apenas com os dados de uma aplicação de manutenção, mas com todo o conjunto da base de dados disponíveis.

O tratamento de dados do servomotor inicia-se pelo histórico da manutenção corretiva, considerando-se que neste caso não há registro sistemático de dados da manutenção preventiva. A figura 5.9 apresenta o número de falhas por equipamentos da tomada d'água, no período entre 1992 e 2002.

Observa-se que ocorreu uma falha causada pelas gaxetas do servomotor da unidade gerador 05, enquanto que na unidade 07 não ocorreu nenhuma falha. A



falha de uma gaxeta é causada pelo ataque químico proporcionado pelo próprio óleo do circuito hidráulico.

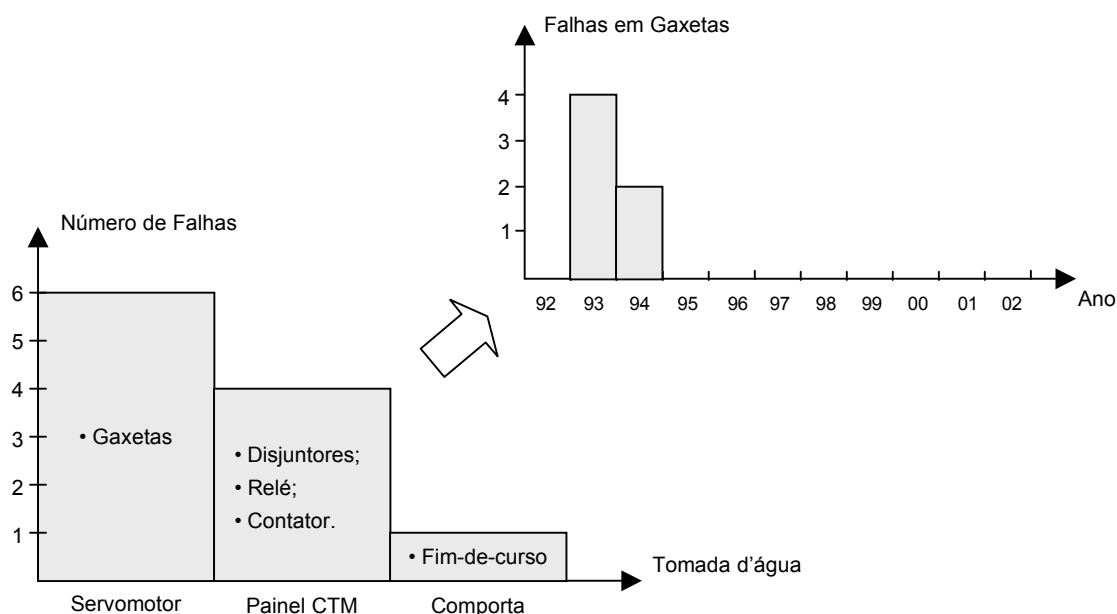


Figura 5.9 - Falhas em Equipamentos da Tomada D'Água.

O sistema de gerenciamento da manutenção poderá proporcionar um automatismo na montagem dos Gráficos de Controle e de Pareto, mediante a utilização da codificação de equipamentos, facilitando a análise sistemática pelo analista de manutenção.

O método de Custeio Baseado em Atividades, apresentado no item 3.5.4 e 4.2.3.5, permite calcular os custos médios anuais da manutenção preventiva do servomotor (US\$ 10,718.95) e da manutenção corretiva (US\$ 351.59). Estes valores incorporam os custos diretos de manutenção (mão-de-obra e materiais sobressalentes), bem como os custos indiretos de manutenção (atividades de apoio, atividades de programação, materiais de consumo comum e treinamento). Observa-se que não estão incluídos os custos de apoio relativos às atividades de engenharia de manutenção.

Os dados básicos, como recursos (principalmente pessoal e materiais de consumo geral) e horas consumidos por atividade de manutenção, bem como os materiais sobressalentes (aplicação direta), utilizados no cálculo dos custos de manutenção que estão sendo apresentados nesta aplicação, foram totalmente fornecidos pelo sistema de gerenciamento da manutenção da empresa.

Percebe-se que a atividade preventiva de troca das gaxetas dos servomotores, consome muitos recursos. A técnica de levantamento da Taxa de Valor Agregado (TVA) permite aprimorar a análise sobre esta atividade que se apresenta significativa para o processo de manutenção das tomadas d'água e, por conseqüência, para as unidades geradoras como um todo. A figura 5.10 apresenta a TVA do processo de manutenção preventiva do servomotor da U05.

SERVIÇO DE MANUTENÇÃO	ATIVIDADE	CUSTO (US\$)			TEMPO (h)		
		AV	NAV	ACUMULADO	AV	NAV	ACUMULADO
TROCA DE GAXETAS DO SERVOMOTOR (U05)	Emissão de Documentos	-	19,70	19,70	-	0,5	0,5
	Análise e Programação	-	19,70	39,40	-	0,5	1,0
	Preparação de Ferramental	-	39,43	78,83	-	1,0	2,0
	Isolação do Equipamento	-	19,70	98,53	-	0,5	2,5
	Deslocamento de Pessoal	-	19,70	118,23	-	0,5	3,0
	Desmontagem do Servomotor no Vão da Comporta	1.716,89	-	1.835,12	11,0	-	14,0
	Transporte para a Câmara de Estocagem	390,20	-	2.225,32	2,5	-	16,5
	Desmontagem Interna	2.497,30	-	4.722,62	16,0	-	32,5
	Troca das Gaxetas	1.248,33	-	5.970,95	8,0	-	40,5
	Montagem Interna	2.497,30	-	8.468,25	16,0	-	56,5
	Transporte para o Vão da Comporta	390,20	-	8.858,45	2,5	-	59,0
	Montagem do Servomotor no Vão da Comporta	1.794,93	-	10.653,38	11,5	-	70,5
	Ajustes	78,04	-	10.731,41	0,5	-	71,0
	Baixa de Documentos	-	19,70	10.751,12	-	0,5	71,5
	Registro de Informações	-	19,70	10.770,82	-	0,5	72,0
<b>TOTAL</b>		10.613,19	157,63	10.770,82	68,0	4,0	72,0
<b>TVA (%)</b>		98,5	1,5	100,0	94,4	5,6	100,0

Figura 5.10 - TVA do Processo de Troca Preventiva das Gaxetas do Servomotor da U05.

A figura 5.11 apresenta a TVA do processo de manutenção preventiva do servomotor da U07.

SERVIÇO DE MANUTENÇÃO	ATIVIDADE	CUSTO (US\$)			TEMPO (h)		
		AV	NAV	ACUMULADO	AV	NAV	ACUMULADO
TROCA DE GAXETAS DO SERVOMOTOR (U07)	Emissão de Documentos	-	19,70	19,70	-	0,5	0,5
	Análise e Programação	-	19,70	39,40	-	0,5	1,0
	Preparação de Ferramental	-	39,43	78,83	-	1,0	2,0
	Isolação do Equipamento	-	19,70	98,53	-	0,5	2,5
	Deslocamento de Pessoal	-	19,70	118,23	-	0,5	3,0
	Desmontagem do Servomotor no Vão da Comporta	1.716,89	-	1.835,12	11,0	-	14,0
	Transporte para a Câmara de Estocagem	390,20	-	2.225,32	2,5	-	16,5
	Desmontagem Interna	2.497,30	-	4.722,62	16,0	-	32,5
	Troca das Gaxetas	624,33	-	5.346,95	4,0	-	36,5
	Montagem Interna	2.497,30	-	7.844,25	16,0	-	52,5
	Transporte para o Vão da Comporta	390,20	-	8.234,45	2,5	-	55,0
	Montagem do Servomotor no Vão da Comporta	1.794,93	-	10.029,38	11,5	-	66,5
	Ajustes	78,04	-	10.107,42	0,5	-	67,0
	Baixa de Documentos	-	19,70	10.127,12	-	0,5	67,5
	Registro de Informações	-	19,70	10.146,82	-	0,5	68,0
<b>TOTAL</b>		9.989,20	157,63	10.146,82	64,0	4,0	68,0
<b>TVA (%)</b>		98,4	1,6	100,0	94,0	6,0	100,0

Figura 5.11 - TVA do Processo de Troca Preventiva das Gaxetas do Servomotor da U07.

A TVA da troca das gaxetas de servomotores apresenta alto valor agregado (AV), pelo motivo de utilizar muitos homens-hora com atividades vinculadas diretamente ao processo de substituição. Isso não ocorre nos processos em que o tempo das atividades de apoio (NAV) se aproxima do tempo das atividades fim. Os tempos e custos das atividades realizadas no servomotor da U07, comparados com os da U05, estão mais próximos dos padrões de referência.

Para determinar em que momento da vida útil se situa o servomotor da U05, basta aplicar o método de cálculo baseado no custo médio anual de exploração (Cme), apresentado no item 3.5.6, sendo:

- Va - valor de aquisição de um servomotor = US\$ 1.321.638,13  
(este valor abrange o custo do equipamento, montagem, transporte e serviços de consultoria);
- Rv - valor de revenda (despresível);
- Cd - custo da falha = US\$ 15.289,62 (este valor abrange o custo de todas manutenções corretivas, desde o início de operação, inclusive uma por falha de gaxetas);
- n - número de anos em operação = 13 (dado disponível no cadastro de equipamentos).

Resulta que  $Cme \gg Cd$ , concluindo-se que o servomotor da U05, nas condições atuais de operação e manutenção, possui previsão de vida útil longa. Esta conclusão também é válida para o servomotor da U07.

#### 5.2.4 Fase 4 – Identificação dos Indicadores de Disponibilidade

Após a aplicação da Etapa 4 do modelo proposto, é possível obter os indicadores de disponibilidade apresentados no item 4.2.4, para os servomotores da tomada d'água, sendo:

- disponibilidade operacional = 99,22% (U05) e 99,26% (U07);
- indisponibilidade programada = 0,77% (U05) e 0,73% (U07);
- indisponibilidade forçada = 0,0% (U05) e 0,0% (U07);
- taxa de falha = 0,0 falhas/ano (U05) e 0,0 falhas/ano (U07);
- tempo médio de reparo = 0,0 h (U05) e 0,0 h (U07);
- taxa de incidentes = 0,0 incidentes / ano (U05) e 44,97 incidentes / ano (U07), neste caso, são os maiores valores dos últimos três anos.

Os resultados obtidos são os indicadores mais importantes no processo de análise de desempenho dos servomotores. A taxa de falha e a taxa de incidentes normalmente são multiplicadas por 8760 h para a obtenção de um valor relativo ao período de um ano e facilitar comparações entre empresas.

### 5.2.5 Fase 5 – Identificação dos Indicadores de Custos

A aplicação das Etapas 4 e 5 do modelo proposto, permite a obtenção dos indicadores de custo apresentados no item 4.2.5, para os servomotores da tomada d'água, sendo:

- custo anual da manutenção preventiva (diretos e indiretos)
  - U05 → 10.772,82 (pessoal) + 572,12 (material) = US\$ 11.342,94;
  - U07 → 10.146,82 (pessoal) + 572,12 (material) = US\$ 10.718,95.
  
- custo médio anual da manutenção corretiva (diretos e indiretos)
  - U05 → US\$ 351,59;
  - U07 → US\$ 351,59.
  
- custo acumulado de falha (em 13 anos)
  - U05 → Cd = US\$ 15.289,62;
  - U07 → Cd = US\$ 4.570,67.
  
- custo médio anual de exploração (em 13 anos)
  - U05 → Cme = US\$ 102.840,60;
  - U07 → Cme = US\$ 102.016,06.
  
- relação entre o custo médio anual de manutenção e o faturamento empresarial (faturamento médio anual de uma unidade geradora = US\$ 122.222.220,00)
  - U05 → 0,01%;
  - U07 → 0,009%.

### 5.2.6 Fase 6 – Analisar o Desempenho de Equipamentos

Para analisar o desempenho dos servomotores das comportas da tomada d'água, é conveniente reunir todas as informações obtidas, preenchendo o quadro cognitivo sugerido no item 4.2.6. A figura 5.12 apresenta o quadro de apoio à análise de desempenho dos servomotores das unidades geradoras U05 e U07.

Portanto, o pior equipamento em análise é o servomotor U05, representando o maior potencial para identificação de oportunidades de melhoria no respectivo processo de manutenção.

### 5.2.7 Fase 7 – Estabelecimento de Metas para os Indicadores de Disponibilidade

A empresa geradora de energia, onde está se aplicando o modelo para melhoria contínua do processo de manutenção, estipula como meta para unidades geradoras, uma disponibilidade operacional mínima de 92%. Os demais 8% podem ser consumidos com a manutenção preventiva e corretiva de todos os equipamentos. Para o caso do servomotor, a indisponibilidade operacional máxima será de 8/36%, entendendo-se que a unidade geradora possui um total de 36 principais equipamentos. Portanto, os servomotores terão como meta, uma disponibilidade mínima de 99,78%.

Comparando o valor de 99,78% com os da figura 5.12, percebe-se que os resultados obtidos estão abaixo da meta, caracterizando a necessidade de determinar oportunidades de melhoria no processo de manutenção.

PARÂMETROS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO		SERVOMOTOR	U05	U07
TENDÊNCIAS			Não há item de controle prescrito	Não há item de controle prescrito
CAUSAS			Causa da falha de gaxetas está bloqueada com MP.	Causa da falha de gaxetas está bloqueada com MP.
INDICADORES DE DISPONIBILIDADE	Disponibilidade Operacional (%)		99,22	99,26
	Indisponibilidade Programada (%)		0,77	0,73
	Indisponibilidade Forçada (%)		0,00	0,00
	Taxa de Falha (falhas/ano)		0,00	0,00
	Tempo Médio de Reparo (h)		0,00	0,00
	Taxa de Incidentes (incidentes / ano)		0,00	44,97
INDICADORES DE CUSTOS	Custo Anual da Manutenção Preventiva (US\$/ano)		11.342,94	10.718,95
	Custo Médio Anual da Manutenção Corretiva (US\$/ano)		351,59	351,59
	Custo Acumulado de Falha (US\$/ano)		15.289,62	4.570,67
	Custo Médio Anual de Exploração (US\$/ano)		102.840,60	102.016,06
	Custo Médio Anual de Manutenção por Faturamento (%)		0,01	0,009
CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS			PRIMEIRO	SEGUNDO

Figura 5.12 - Quadro de Apoio à Análise de Desempenho dos Servomotores da U05 e U07.

### 5.2.8 Fase 8 – Estabelecimento de Metas para os Indicadores de Custos

Averiguando os objetivos estratégicos da empresa, percebe-se que não há metas designadas para a melhoria dos custos no processo de manutenção, talvez devido a relação, entre o custo médio anual de manutenção e o faturamento, ser muito pequena. Este fato não encerra a questão, pois as metas de disponibilidade também refletem nos custos de manutenção, considerando que os maiores esforços são sempre de mão-de-obra e em horário normal de trabalho. Adicionalmente, poder-se-ia tomar percentuais gradativos de redução de custos, visando a melhoria contínua destes indicadores.

### 5.2.9 Fase 9 – Determinação das Oportunidades de Melhoria no Processo de Manutenção

Com a verificação de que os indicadores de disponibilidade e custos estão abaixo das metas estipuladas, consta-se que há necessidade de determinar oportunidades de melhoria no processo de manutenção dos servomotores da tomada d'água.

Para facilitar a determinação das oportunidades de melhoria, é recomendado utilizar o diagrama matriz apresentado no item 4.2.9, tomando-se como referência os dados do pior equipamento identificado no item 5.2.4. A figura 5.13 apresenta o diagrama matriz com os parâmetros significativos de desempenho obtidos mediante a análise do servomotor da U05.

Observa-se que não foram estabelecidas as correlações para tendências, devido a não existência de prescrições para registro sistemático de informações (pelo menos até o momento de viabilizar o contador de partidas de bombas), e para confiabilidade, devido a não existência momentânea de falhas no servomotor (esta situação poderá alterar-se com o decorrer do tempo).

### 5.2.10 Considerações Sobre as Demais Fases

As fases de priorização de oportunidades de melhoria, geração de soluções, implantação de planos de ação e acompanhamento do desempenho das soluções implantadas, não fazem parte do escopo deste trabalho. Entretanto, observa-se que

a determinação de oportunidades de melhoria mediante a identificação da intensidade do relacionamento (muito forte, forte e fraco), pré-estabelece algumas prioridades a serem seguidas.

Outro fato relevante é que as informações, até o momento obtidas, são suficientes para a elaboração sistemática de relatórios técnicos sobre o desempenho do equipamento e das possibilidades de melhoria do processo de manutenção, tomando como base as figuras 5.12 e 5.13, sendo atendida a recomendação de Mills (1994, p. 267), citada no item 2.3.4 deste trabalho.

PARÂMETROS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SERVOMOTOR  PARÂMETROS PARA ANÁLISE DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DO SERVOMOTOR U05	PROJEÇÃO AO FUTURO		BASE HISTÓRICA (PASSADO)		
	TENDÊNCIAS	CAUSAS	DISPONIBILIDADE		CUSTOS
			CONFIABILIDADE	MANUTENIBILIDADE	
ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL	—	<input type="checkbox"/>	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PROCEDIMENTOS PARA MANUTENÇÃO	—	● (a)	—	● (b)	● (d)
EXECUÇÃO DA MANUTENÇÃO	—	○	—	● (c)	● (e)
ARMAZENAMENTO DE DADOS	—	○	—	○	○
TRATAMENTO DE DADOS	—	○	—	○	○

RELACIONAMENTO: ● MUITO FORTE  
○ FORTE  
□ FRACO

**RELAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA:**

a) Determinar a vida útil de gaxetas de novos tipos, lotes e fabricantes;

b) Estudar a possibilidade de determinar o momento de troca de gaxetas mediante a análise do número de partidas das bombas que repõem o óleo no servomotor, mantendo a posição da comporta da tomada d'água;

c) Utilizar novas plataformas de manutenção e guarda-corpos;

d) Reduzir os custos da manutenção preventiva que determina a troca de gaxetas a cada seis anos, elaborando o estudo para determinar a substituição mediante a análise do número de partidas das bombas de reposição de óleo;

e) Reduzir o número de homens-horas utilizados mediante o uso sistemático das novas plataformas e guarda-corpos.

Figura 5.13 - Determinação das Oportunidades de Melhoria no Processo de Manutenção do Servomotor U05.

### 5.3 Considerações Sobre a Aplicação

A aplicação do modelo para o caso dos servomotores da tomada d'água proporcionou as seguintes considerações:

- a causa da falha de gaxetas está bloqueada, porém, ao contrário do que se



- pensava, continua comprometendo periodicamente a disponibilidade operacional, em razão da duração das manutenções preventivas com substituições de gaxetas;
- os procedimentos de manutenção podem ser continuamente melhorados, enfocando a disponibilidade operacional;
  - o custo da manutenção (preventiva e corretiva) é insignificante quando comparado com a perda de faturamento, em momento propício para a produção;
  - a atividade de troca de gaxetas (maior agregadora de valor) não é aquela que apresenta os maiores custos;
  - uma análise efetiva de desempenho de equipamentos exige a presença do analista no campo, para comprovar a eficiência dos procedimentos de manutenção;
  - possibilidade de utilização de sistema de monitoramento contínuo do estado das gaxetas, mediante o controle do número de partidas das bombas de reposição de óleo no servomotor.

A aplicabilidade do modelo proposto pode ser considerada comprovada com os seguintes comentários:

- a aplicação deve ser sistemática, portanto demanda de grande organização inicial;
- os parâmetros estabelecidos foram considerados os mais adequados, porém, não são os únicos que poderiam ser adotados;
- a aplicação é relativamente simples, porém, demanda de grande volume de trabalho;
- poderá ser aplicado em qualquer tipo de empresa, com um sistema de gerenciamento de manutenção implantado, ou não;
- orienta os analistas de manutenção mediante uma proposta de uso ordenado de ferramentas;
- padroniza o processo de melhoria contínua da manutenção e de análise de desempenho de equipamentos
- poderá ser aplicado para um conjunto de equipamentos, opção que reduz o volume de trabalho.

O próximo capítulo será destinado às conclusões finais sobre o desenvolvimento do trabalho e ao estabelecimento de sugestões para futuros trabalhos relacionados com o tema.

## **CAPÍTULO 6 CONCLUSÃO**

Constatou-se que o desenvolvimento de um modelo para sistematizar a melhoria contínua do processo de manutenção, a partir da análise de desempenho de equipamentos, tornou-se um desafio factível na medida em que foram estipuladas algumas delimitações de escopo do trabalho, visando identificar o enfoque mais adequado e direcionado para um objetivo estratégico significativo. A solução proposta foi pautada pela utilização de ferramentas amplamente divulgadas e de resultados comprovadamente reconhecidos, mas que revelaram grande eficiência na aplicação conjunta, pelo fato de buscarem a integração e estarem dispostas em seqüência lógica com relação ao desenvolvimento do processo de manutenção, proporcionando relativa facilidade de uso pelo analista de manutenção.

### **6.1 Conclusões**

A revisão bibliográfica que deu suporte ao desenvolvimento deste trabalho pode ser dividida em três grupos principais. O primeiro foi destinado à conceituação de manutenção, processos, informação, documentação, qualidade implícita e custos envolvidos. O segundo grupo, foi destinado a identificar quais são as principais iniciativas empresariais no sentido de resolver o problema, bem como as principais características que pudessem ser exploradas no desenvolvimento de um modelo para sistematizar a melhoria contínua dos processos de manutenção. O terceiro grupo, foi destinado à seleção de ferramentas adequadas para a tarefa de melhoria contínua do processo de manutenção de equipamentos. Esta metodologia de pesquisa viabilizou a elaboração deste trabalho.

Os objetivos específicos do trabalho foram atendidos com o estabelecimento de parâmetros qualitativos para a análise do processo de manutenção (item 5.2.3 referente à organização dos equipamentos, procedimentos e execução da manutenção, armazenamento e tratamento de dados); de parâmetros quantitativos para análise de desempenho de equipamentos (itens 5.2.3, 5.2.4 e 5.2.5 referentes às tendências, causas e valor dos indicadores); com a identificação dos indicadores de disponibilidade e custos mais representativos e usuais (itens 4.2.4 e 4.2.5); com o estabelecimento dos meios para a obtenção de informações (ferramental adequado

ao tratamento de dados apresentado no Capítulo 3); e com a determinação de um mecanismo para identificar as oportunidades de melhoria no processo de manutenção (diagrama matriz apresentado no item 5.2.9).

O modelo proposto apresenta maior facilidade para aplicação quando a empresa possui um sistema de gerenciamento de manutenção integrado, com a função de fornecer os dados sistematicamente armazenados. Também auxilia na abertura de novas perspectivas de melhoria do processo de manutenção (melhorias estas não vislumbradas no momento que antecede à sua aplicação) e propicia a preservação do conhecimento técnico, uma vez que utiliza ferramentas alinhadas com a gestão do conhecimento.

Este modelo não possui características prescritivas, mas sim construtivas. Significa que é um modelo aberto à adaptações estimuladas pelos objetivos empresariais, local de aplicação, tipo de equipamento e disponibilidade do analista de manutenção. Portanto, auxilia no conhecimento gradual dos processos e atividades, na padronização dos documentos e tarefas, e no domínio sobre os equipamentos. Novas ferramentas podem ser agregadas na medida em que se atinge um determinado nível de conhecimento sobre o desempenho de um equipamento.

Desta forma, considera-se que o trabalho apresentado atingiu os objetivos geral e específicos inicialmente propostos, demonstrando resultados satisfatórios, contribuindo com a melhoria contínua do processo de manutenção e com a sistematização da análise de desempenho de equipamentos, constituindo-se em ferramenta importante para o desempenho das atividades da área de engenharia de manutenção e dos analistas de manutenção.

## **6.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros**

As sugestões apresentadas a seguir estão relacionadas com a continuidade e a ampliação do modelo sob novas perspectivas:

- incorporar ao modelo proposto os custos da área de engenharia de manutenção e verificar o respectivo valor agregado;
- incorporar ao modelo proposto os métodos de análise financeira, destinados à gestão econômica do ciclo de vida dos equipamentos;
- ampliar o modelo proposto com mecanismos para estimular a criatividade do

analista de manutenção no momento da análise de desempenho de equipamentos e do estabelecimento de soluções para a melhoria contínua do processo de manutenção.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. T., WAJSMAN, D. Engenharia de Manutenção: visão conceitual da Chesf e Furnas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, IV, 1989, São Paulo. **Trabalhos Técnicos**. 18 p.

ALVAREZ, O. **Método Para Análise de Características de Projeto para Manutenibilidade**: determinação de um índice de manutenibilidade em projeto de produtos/sistemas. Florianópolis, 2001. 233 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **A Situação da Manutenção no Brasil no Ano de 2001**: documento nacional. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br>>. Acesso em: 17 jun. 2002.

AZEVEDO, C. Gestão de Ativos Industriais: o dia seguinte da otimização da manutenção. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE CONFIABILIDADE NA MANUTENÇÃO, IV, 2001, São Paulo. **Trabalhos Técnicos**. 11 p.

BESTERFIELD, D. H. **Quality Control**. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.

BLANCHARD, B. et al. **Maintainability**: a key to effective serviceability maintenance management. New York: John Wiley & Sons, 1995.

CAMPBELL, J. D. **Uptime**:strategies for excellence in maintenance management. Portland: Productivity Press, 1995.

CASTELLA, M. C. **Análise Crítica da Área de Manutenção em Uma Empresa Brasileira de Geração de Energia Elétrica**: estudo de caso. Florianópolis, 2001. 152 p. Dissertação ( Mestrado em Engenharia de Produção ) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

CONTADOR, J. C. **Modelo para Aumentar a Competitividade Industrial: a transição para a gestão participativa.** São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

CONTADOR, J. C. et al. **Gestões de Operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1998.

DECORTIS, F. **Cognitive Ergonomics Methodology To Apprehend Cooperative Activities And Interactions.** University of Liège, 1994. 8 p. Disponível em: <<http://www-sv.cict.fr/cotcos/pjs/MethodologicalApproaches/CogErgandEngme.../CogergpaperDecortis.ht>>. Acesso em: 24 jun. 2002.

DAVENPORT, T. H. **Process Innovation.** Boston: Harvard Business School Press, 1993.

DRUCKER, P. F. **Administrando em Tempos de Grandes Mudanças.** São Paulo: Pioneira, 1995.

DUNN, S. **A Framework for Achieving Best Practices Maintenance.** Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 10 mar. 2002.

EBELING, C. E. **Reliability and Maintainability Engineering.** New York: McGraw-Hill Companies, 1997.

FISCHMANN, A. A., ALMEIDA, M. I. R. **Planejamento Estratégico na Prática.** São Paulo: Atlas, 1991.

FLEMING, P. V. Implementando a MCC em Um Ambiente de TPM. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE CONFIABILIDADE NA MANUTENÇÃO, III, 2000, São Paulo. **Trabalhos Técnicos.** 11 p.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Política de Manutenção.** Rio de Janeiro: EM.O – Superintendência de Engenharia de Manutenção, APM.O – Assessoria de Programas e Métodos de Manutenção, 2001.

GONTIJO, L. A. **Engenharia Ergonômica do Trabalho**. Florianópolis, 2000. 41 p. Apostila da Disciplina EPS 3670 – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

GRUPO COORDENADOR PARA A OPERAÇÃO INTERLIGADA. **RT.SCM.CDE.024**: relatório técnico anual da comissão de desempenho de equipamentos e instalações. São Paulo:1998.

HARRINGTON, J. **Aperfeiçoando Processos Empresariais**. São Paulo: Makron Books, 1993.

HRONEC, S. M. **Vital Signs**. New York: American Management Association, 1993.

ISHIKAWA, K. **Controle de Qualidade Total**: à maneira japonesa. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu Hydroelectric Project**. Curitiba: Itaipu Binacional, 1994.

ITAIPU BINACIONAL. **Sistema de Operação e Manutenção**. Manual G01 – Descrição Geral do SOM. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 1995.

ITAIPU BINACIONAL. **Sistema de Operação e Manutenção**. Manual G03 – Procedimentos Operacionais do SOM. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2000.

JONES, R. B. **Risk-Based Management**: a reliability-centered approach. Houston: Gulf Publishing Company, 1995.

JURAN, J. M. **Juran na Liderança pela Qualidade**: um guia para executivos. São Paulo: Pioneira, 1989.

JURAN, J. M. **Juran Planejando Para a Qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1990.

JURAN, J. M., GRYNA, F. M. **Controle da Qualidade**: conceitos, políticas e filosofia da qualidade. São Paulo: Makron, Mc Graw-Hill, 1991.

KAPLAN, R. S., NORTON, D. P. **The Balanced Scorecard**. Boston: Harvard Business School Press, 1996.

KAPLAN, R. S., COOPER, R. **Cost and Effect**. Boston: Harvard Business School Press, 1998.

KELLY, A. **Maintenance Planning and Control**. Kent: Butterworth & Co. Ltd, 1984.

LAUDON, K. C., LAUDON, J. P. **Management Information Systems**: organization and technology . New Jersey: Prentice-Hall, 1996.

LEVITT, J. **The Handbook of Maintenance Management**. New York: Industrial Press. 1997.

MILLS, C.A. A **Auditoria da Qualidade**: uma ferramenta para avaliação constante e sistemática da manutenção da qualidade. São Paulo: Makron Books, 1994.

MONCHY, F. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1989.

MOREIRA, E. et al. O Desafio de Transformar Dados em Informações: o método abc como ferramenta de apoio gerencial na área de manutenção da Itaipu Binacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, VIII, 2001, São Leopoldo. **Custos e Tomada de Decisão**. 16 p.

MOSTIA JR, B. **Design for Maintainability**: take a technician's point of view to minimize risks, costs and production losses due to service and repairs. Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 10 mar. 2002.

MOUBRAY, J. **Reliability – Centered Maintenance**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.



NAGAO, S. K., SIMIONI, A. Engenharia de Manutenção: fator de desenvolvimento técnico da manutenção – Rhodia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, IV, 1989, São Paulo. **Trabalhos Técnicos** .15 p.

NAGAO, S. K. **Manutenção Industrial**: análise, diagnóstico e propostas de melhoria de performance em indústrias de processo. São Paulo, 1998. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

NAKAGAWA, M. **ABC**: custeio baseado em atividades. São Paulo: Atlas, 1994.

OHNO, T. **Toyota Production System**: beyond large-scale production. Portland: Productivity Press, 1988.

OLIVEIRA, L. F. S. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Rio de Janeiro, 2001. 79p. Apostila do Curso para Itaipu Binacional, DNV Principia.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Acompanhamento da Manutenção**: Submódulo 16.1. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 30 abr. 2001.

PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade no Processo**: a qualidade na produção de bens e serviços. São Paulo: Atlas, 1995.

PALADINI, E. P. **Gestão Pela Qualidade**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2000.

PALADY, P. **FMEA**: análise dos modos de falha e efeitos. São Paulo: Imam, 1997.

PINTO, A. K., XAVIER, J. N. **Manutenção**: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PORTER, M. E. **Competitive Advantage**. New York: The Free Press, 1985.

POSSAMAI, O. **Qualidade do Projeto ao Produto**. Florianópolis,1999. 44 p. Apostila do Curso de Especialização em Gestão de Processos e Serviços, Universidade Federal de Santa Catarina.

POSSAMAI, O. **Tomada de Decisão nos Dias de Hoje**. Florianópolis, 2002. 10 p. Apostila do Curso para Itaipu Binacional, Universidade Federal de Santa Catarina.

REGONHA A. L. Manutenção em Geradores e Distribuição de Energia – ABB Service. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PREVENÇÃO E CONTROLE DE PERDAS NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA, 2000, Foz do Iguaçu. 16 p.

REZENDE, D. A., ABREU, A. F. **Tecnologia da Informação**: aplicada a sistemas de informações empresariais. São Paulo: Atlas, 2000.

SALIBA FILHO, A. **Gerência de Riscos**. São Paulo,2001. 21 p. Apostila do Curso para Itaipu Binacional, ITSEMAP do Brasil.

SCAPIN, C.A. **Análise Sistêmica de Falhas**. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SINK, D. S., TUTTLE, T. C. **Planejamento e Medição Para a Performance**. Rio de Janeiro: Qualitymark,1993.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1999.

SMITH, A. M. **Reliability – Centered Maintenance**. New York: McGraw-Hill, 1993.

SROUR, R. H. **Poder, Cultura e Ética nas Organizações**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

TAKAHASHI, Y., OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: Imam,1993.

WERKEMA, M. C. C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

WILLIAMSON, R. M. **So What Do You Know About Your Overall Equipment Effectiveness?** Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 19 mar. 2002.

WOODHOUSE, J. **Asset Management: strategy and practice.** Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 19 mar. 2002.

WOODHOUSE, J. **Performance Indicators & Performance Measurement.** Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 19 mar. 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade.** Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1998.

## BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: numeração progressiva das seções de um documento. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027**: sumário. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro, 2001.

AZEVEDO, C. Gestão de Ativos Industriais: novas oportunidades para a manutenção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, XVI, 2001, Florianópolis. **Trabalhos Técnicos**. 24 p.

BASADUR, M. et al. **A New Methodology for Formulating III – Structured Problems**. Great Britain: Elsevier Science Ltd, 1994. p.627-646.

BECKMAN, O. R., COSTA NETO, P. L. **Análise Estatística da Decisão**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

BETING, J. **Faróis de Neblina – Tendências, Cenários e Previsões**: engenharia de musculação. Disponível em: <<http://www.redeglobo5.globo.com/joelmirbeting>>. Acesso em: 14 abr. 2001.

BORNIA, A.C. **Análise Gerencial de Custos**: aplicação em empresas modernas. Porto Alegre: Bookman, 2002.

COHEN, A. R. et al. **MBA**: curso prático de administração: lições dos especialistas das melhores escolas de negócios. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

CSILLAG, J. M. **Análise do Valor**: metodologia do valor. São Paulo: Atlas, 1991.

DEMING, W. E. **A Nova Economia para Indústria, o Governo e a Educação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

DRUCKER, P. **Administrando para Obter Resultados**. São Paulo: Pioneira, 1998.

DUNN, S. **Plant Maintenance Resource Center**: maintenance terminology. Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com/terminology.shtml>>. Acesso em: 20 mar. 2002.

ECO, U. **Como se Faz Uma Tese**. São Paulo: Perspectiva, 1997.

FIALHO, F., SANTOS, N. **Manual de Análise Ergonômica do Trabalho**. Curitiba: Genesis, 1995.

FISHER, J. G. **Benchmarking para Otimizar o Desempenho**. São Paulo: Clio, 1996.

GUÉRIN, F. et al. **Comprendre le Travail Pour le Transformer**: a pratique de l'ergonomie. Montrouge: ANACT, 1997.

GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia**: adaptando o trabalho ao homem. Porto Alegre: Bookman, 1998.

HARRINGTON, J. **CEOs e Pesquisas**. Disponível na Internet. <http://groups.yahoo.com/group/rhlista>, 2000.

HARVARD BUSINESS REVIEW. **Medindo o Desempenho Empresarial**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

JACOBSEN, P. **Otimização de Custos e Recursos**. Rio de Janeiro: COP, 1993.

KUME, H. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**. São Paulo: Gente, 1993.

LAFRIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001.

LEVITT, J. **Maintenance Resources**: glossary of terms. Disponível em: <<http://www.maintenanceresources.com/referencelibrary/cmms/maintglossary.htm>>. Acesso em: 19 mar.2002.

LONGMAN, G. L. **Dictionary of Contemporary English**. 3.ed. Essex: Clays,1995.

MINTZBERG, H. et al. **Safari de Estratégia**: um roteiro pela selva do planejamento estratégico. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MOOS, A. M. **Designing for a Minimal Maintenance Expense**: the practical application of reliability and maintainability. New York: Marcel Dekker, 1985 .

MOREIRA, D. A. **Dimensões do Desempenho em Manufatura e Serviços**. São Paulo: Pioneira, 1996.

MOURA, E. **As Sete Ferramentas Gerenciais da Qualidade**: implementando a melhoria contínua com maior eficácia. São Paulo: Makron Books, 1994.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Maintainability Program Management Considerations**. Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em 19 mar. 2002.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Preventive Maintenance Strategies Using Reliability Centered Maintenance (RCM)**. Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 19 mar. 2002.

PIDD, M. **Tools for Thinking**: modelling in management science. New York: John Wiley & Sons, 1996.

RUMMLER, G. A., BRACHE, A. P. **Melhores Desempenhos das Empresas**: uma abordagem prática para transformar as organizações através da reengenharia. São Paulo: Makron Books, 1994.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Cortez, 1996.

SHINGO, S. **A Study Of Toyota Production System From An Industrial Engineering Viewpoint**. Portland: Productivity Press, 1989.

SILVA, E. L. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2000. 118 p.

SPRINGFIELD RESOURCES INC. **Death of Maintenance Department and What You Can Do About It**. Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 19 mar. 2002.

TAVARES, L. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Polo, 1999.

VAN RIJN, F. H. **Asset Management at the Millenium**. Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 19 mar. 2002.

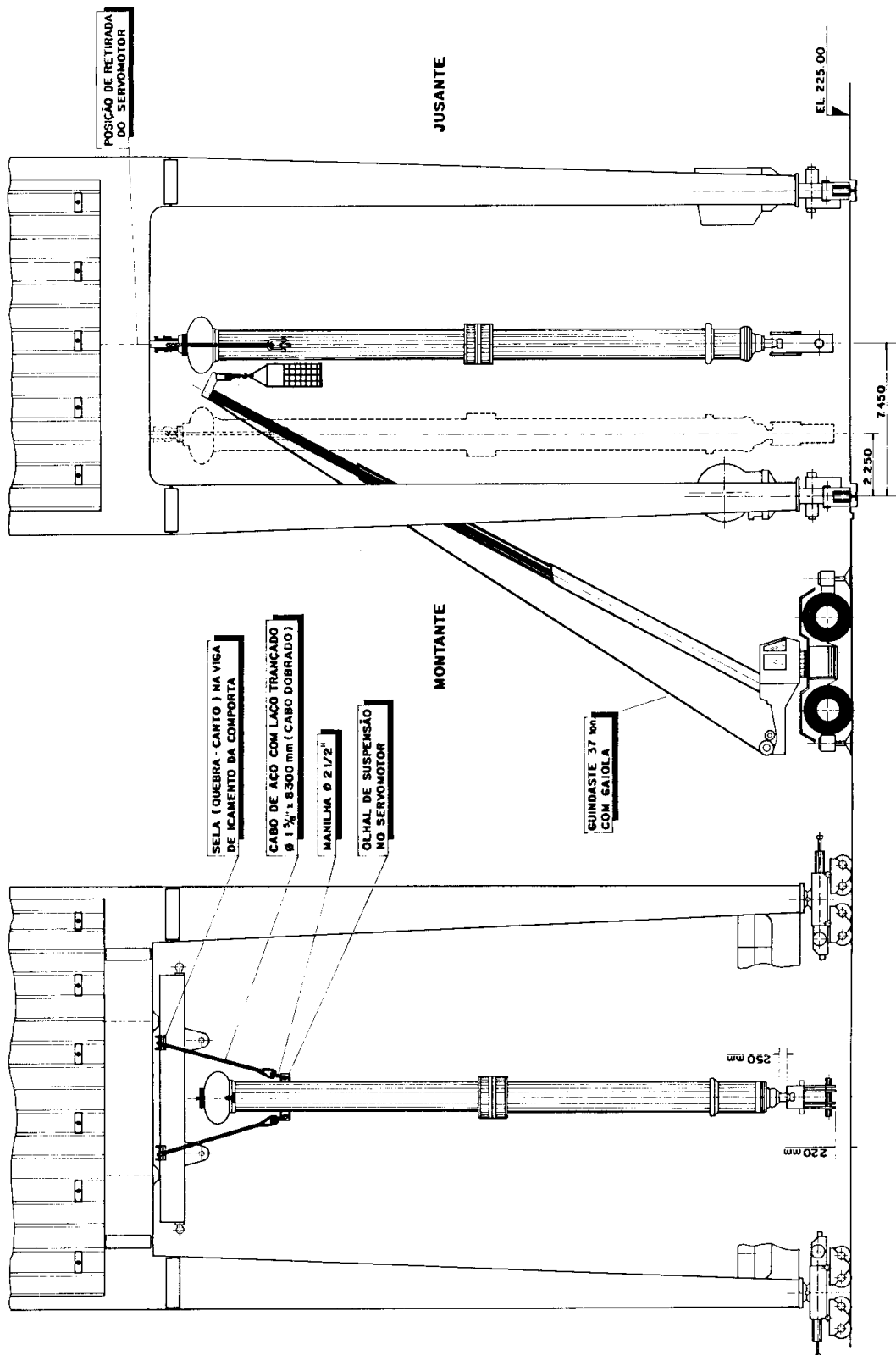
WILLIAMSON, R. M. **Data...Data...Data**. Disponível em: <<http://www.plant-maintenance.com>>. Acesso em: 19 mar. 2002.

WOOD JR, T. et al. **Mudança Organizacional**: aprofundando temas atuais em administração de empresas. São Paulo: Atlas, 1995.

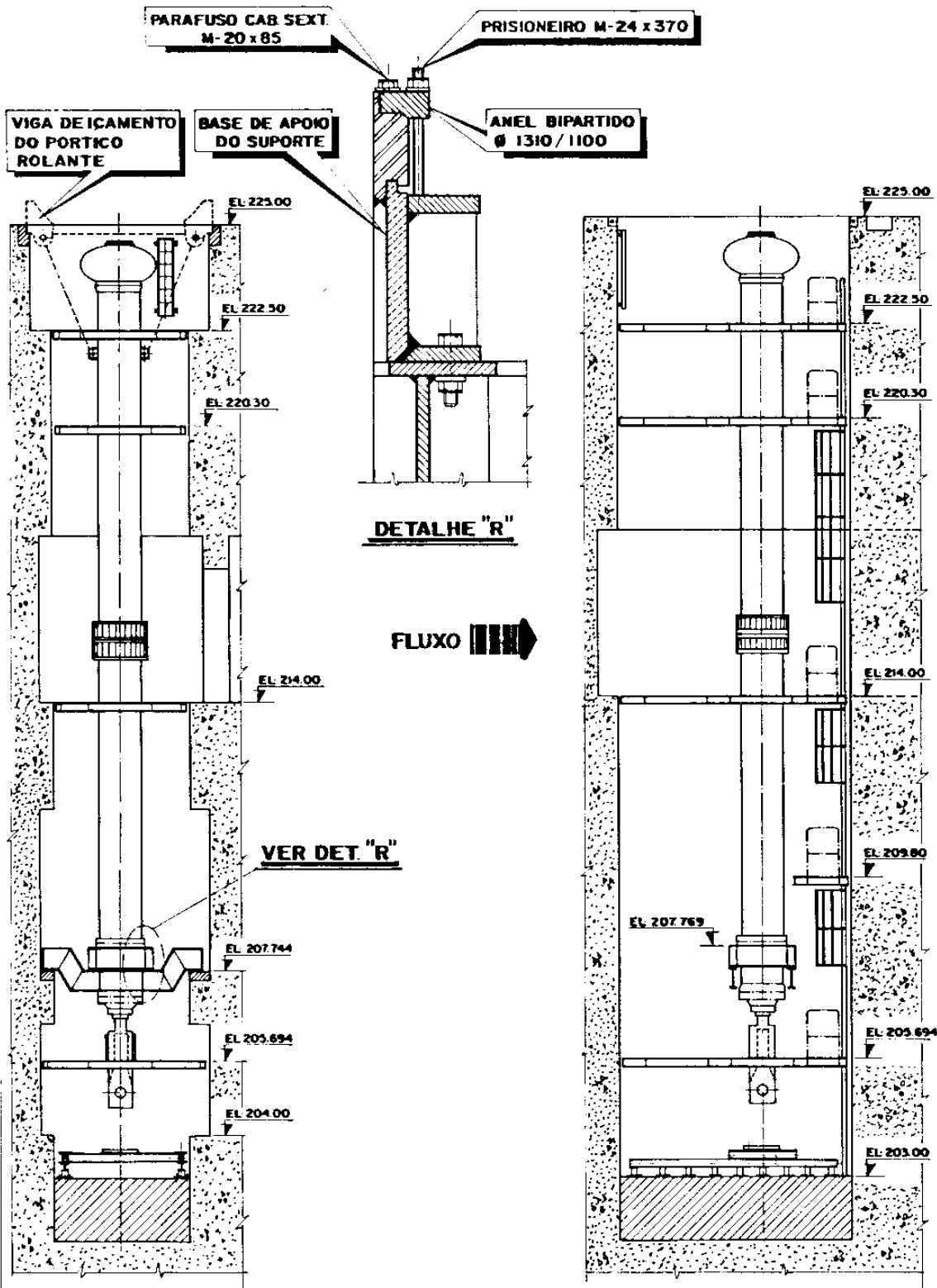




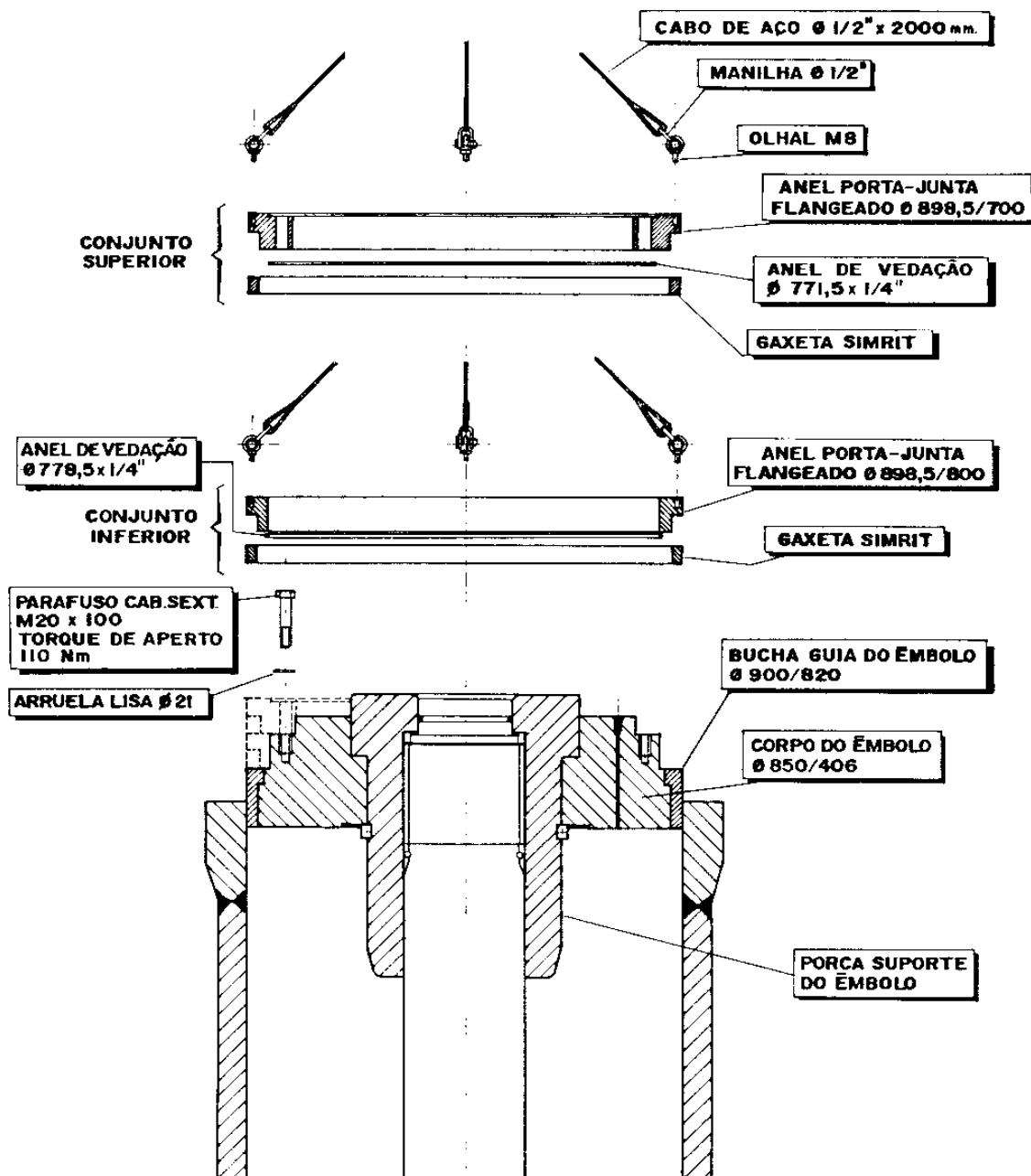
# ICAMENTO DO SERVOMOTOR



### POÇO DE MANUTENÇÃO DO SERVOMOTOR



## COMPONENTES DO ÊMBOLO



ANEXO B - Inspeção anual da U05 (linha crítica).

ANEXO B - Inspección anual da U05 (linha crítica)

Nº	Actividad	Plazo	INICIO	FIN	RESPONSABLE	21 Jul 02					28 Jul 02					04 Ago 02									
						T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S		
1	PD 200/02- INSPECCION ANUAL U.05	14 d	23/07/02	09/08/02	GPCM																				
2	Drenar conducto forzado	0 d	23/07/02	23/07/02	OPUO																				
3	Drenar sistema refrigeración unidad	4,5 h	23/07/02	23/07/02	OPUO																				
4	Inspección moluscos bivalvos	5 d	23/07/02	29/07/02	SMMU/A/C/T																				
5	Abrir tapas/Instalar escalera	2 h	23/07/02	23/07/02	SMMU																				
6	Instalar STOP LOG aguas arriba	3 h	23/07/02	23/07/02	SMMA																				
7	ULP/EC/TGC-Ejecutar PIC	5 d	23/07/02	29/07/02	SMME																				
8	Drenar vano de la toma de agua	1 h	23/07/02	23/07/02	OPUO																				
9	Instalar STOP LOG aguas abajo	2,5 h	23/07/02	23/07/02	SMMA																				
10	Desarmar 50% guias de aire	6 h	23/07/02	23/07/02	SMMU																				
11	Efectuar limpieza general GENERADOR	3 d	23/07/02	26/07/02	SMMU;SMMG																				
12	Instal.sist.antincendio suplementario(CO2)	3,5 d	23/07/02	26/07/02	SOCM.DT																				
13	Iluminar/lavar la caja espiral	2 h	23/07/02	23/07/02	SMMG;SMMU																				
14	AGUA PURA-Ejecutar PIC	7 d	23/07/02	01/08/02	SMMU;SMMG																				
15	Drenar tubo de succión	3,5 h	23/07/02	23/07/02	OPUO																				
16	TOMA AGUA-Sust.retenes servomotor	12 d	23/07/02	08/08/02	SMMU																				
17	Rescatar peces del vano(válv.by pass)	1,5 h	23/07/02	23/07/02	Medio amb.																				
18	TOMA AGUA-Ejecutar PIC	10 d	23/07/02	06/08/02	SMMU;SMMG																				
19	TURBINA-Sust.oring paletas moviles	4 d	24/07/02	29/07/02	MMU2																				
20	Instalar iluminación tubo de succión	1 h	24/07/02	24/07/02	SMMG																				
21	TURBINA-Ejecutar PIC	8 d	24/07/02	02/08/02	SMMU;SMMG																				
22	GENERADOR-Ejecutar PIC	8 d	24/07/02	02/08/02	SMMU;SMMG																				
23	UMCC- Ejecutar PIC	3 d	24/07/02	26/07/02	SMMG																				
24	Rescate de peces tubo succión	3 h	24/07/02	24/07/02	Medio amb.																				
25	Válvulas 19AI y 20AD-Inspección	3 d	24/07/02	29/07/02	SMMU																				
26	TU/KT-Ejecutar PIC	5 d	29/07/02	02/08/02	SMMT																				
27	TU-Ensayo sistema antincendio	3 h	01/08/02	01/08/02	SMMA/T/OPUO																				
28	Válvula aireación-Sustituir	1 d	01/08/02	01/08/02	SMMU																				
29	Armar guias se aire superior/inferior	8 h	05/08/02	05/08/02	SMMU																				
30	GFP(CO2)-Ensayo funcional	2,5 h	06/08/02	06/08/02	SMMG/U/E																				
31	Llenado TOTAL tubo de succión	4 h	06/08/02	06/08/02	OPUO																				
32	Inspección FINAL generador	1 d	06/08/02	06/08/02	SMMU;SMMG																				
33	Regulador Velocidad-Operacionales	1,5 d	06/08/02	07/08/02	SMMU/G/OPUO																				
34	Retirar STOP LOG aguas abajo	3 h	07/08/02	07/08/02	SMMA																				
35	Concluir DISPOSITIVOS PRIMARIOS	0 d	08/08/02	08/08/02	SMME/G/T																				
36	Retirar STOP LOG aguas arriba	3 h	08/08/02	08/08/02	SMMA																				
37	Simulación: partida y parada unidad	1 h	08/08/02	08/08/02	SCADA																				
38	Llenado conducto forzado	2 h	09/08/02	09/08/02	OPUO																				
39	Ensayo de AGUA MUERTA	1 h	09/08/02	09/08/02	SMMU;SMMG																				
40	Giro paso a paso+Lijar anillo colector	1 h	09/08/02	09/08/02	SMMU;SMMG																				
41	Conectar escobillas	0,5 h	09/08/02	09/08/02	SMMG																				
42	Ensayo relé tierra rotor	0,5 h	09/08/02	09/08/02	SMME																				
43	Partir unidad (Automático)	1 h	09/08/02	09/08/02	SCADA																				
44	Ensayo DAT	0,5 h	09/08/02	09/08/02	SMME																				
45	Sincronización Unidad/Sistema	1 h	09/08/02	09/08/02	OPUO																				