

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

# **Modelo de Manutenção Integrada para Equipamentos de Sistemas Elétricos e Ferramentas Computacionais de Suporte**

**Dilmar Gonçalves da Cunha**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Benjamim Rodrigues de Menezes  
Co-orientador: Prof. Renato Cardoso Mesquita

Belo Horizonte, Outubro de 2007.

## DEDICATÓRIA

À minha esposa Vanda e aos meus filhos  
Bruno e Sarah, meus eternos fãs, pelo amor,  
carinho, compreensão e incentivo de sempre.

Aos meus pais, Oromar e Sara, e aos meus  
irmãos José, Edson, Vilma e Irma que  
sempre foram uma referência em meu  
crescimento como ser humano.

### **Revolution**

*Lennon/McCartney*

*You say you want a revolution  
Well you know  
We all want to change the world  
You tell me that it's evolution  
Well you know  
We all want to change the world  
But when you talk about destruction  
Don't you know you can count me out  
Don't you know it's gonna be alright, alright, alright.*

*You say you got a real solution  
Well you know  
We'd all love to see the plan  
You ask me for a contribution  
Well you know  
We're doing what we can  
But when you want money for people with minds that hate  
All I can tell you is brother you have to wait  
Don't you know it's gonna be alright, alright, alright.*

*You say you'll change the constitution  
Well you know  
We all want to change your head  
You tell me it's the institution  
Well you know  
You better free your mind instead  
But if you go carrying pictures of Chairman Mao  
You ain't going to make it with anyone anyhow  
Don't you know it's gonna be alright, alright, alright.*

## AGRADECIMENTOS

É muito gratificante ter a oportunidade de dissertar sobre um tema de tamanha importância nos dias de hoje, onde a humanidade está cada vez mais preocupada com a preservação do meio ambiente e com o desenvolvimento sustentável das novas e complexas tecnologias. O tema é complexo e abrangente, mas me sinto confiante e motivado em enfrentar o desafio de elaborar uma dissertação tão ousada e ambiciosa, embasado nos três pré-requisitos seguintes:

- Primeiro em minha experiência profissional adquirida ao longo de anos de trabalho na área de manutenção da Companhia Energética de Minas Gerais;
- Segundo no conhecimento teórico adquirido nas disciplinas cursadas no mestrado;
- E, por fim, nos atuais recursos da tecnologia da informação que permitem romper barreiras jamais imaginadas em um passado recente.

Assim, não poderia deixar de lembrar e agradecer aos diversos colegas de trabalho da CEMIG que contribuíram direta ou indiretamente com essa experiência adquirida, os quais eu não vou enumerá-los aqui, porque são em grande número e para não cometer a injustiça de esquecer de alguém.

Como também, aos meus orientadores, professores Benjamim Rodrigues de Menezes e Renato Cardoso Mesquita, pelo empenho, atenção e auxílio durante a fase do meu desenvolvimento científico.

## RESUMO

As áreas de manutenção das concessionárias do setor elétrico brasileiro e das empresas do setor elétrico industrial vêm convivendo, e de forma cada vez mais acentuada nos últimos anos, com determinados problemas que são comuns e dentre os quais podemos enumerar:

1. Grande quantidade, diversidade e complexidade dos equipamentos;
2. Diversidade e alta complexidade dos instrumentos de testes de manutenção;
3. Escassez de mão-de-obra especializada;
4. Falta de padronização dos métodos de trabalho;
5. Informatização dos serviços de manutenção ainda incipiente;
6. Dificuldades no fluxo de informação na gestão da manutenção;
7. Terceirização dos serviços de manutenção e perda de domínio tecnológico;
8. Obsolescência e fim de vida útil de equipamentos; etc.

Essa dissertação apresenta a proposta de um modelo de manutenção suportado por ferramentas computacionais especializadas, que tem o objetivo de “suprir as necessidades e carências das áreas de manutenção dessas empresas, de forma integrada e transcendente, a fim de minimizar os riscos de apagões, tanto elétricos quanto gerenciais, e conseqüentemente contribuir para um desenvolvimento sustentável do setor elétrico”.

As ferramentas computacionais especializadas em manutenção de equipamentos de sistemas elétricos que dão suporte ao modelo proposto são compostas por três softwares independentes, mas que trocam informações entre si, a saber:

- *Aplicação web*: pelo seu poder de disponibilizar informações em intranets, extranets ou mesmo em toda a internet, quebrando assim quaisquer barreiras geográficas. O objetivo é estabelecer um padrão nos métodos de manutenção e carregar um banco de dados sistêmico da manutenção. Essa aplicação abre novas perspectivas para uma solução globalizada para os problemas comuns das áreas de manutenção.

- *Aplicação desktop*: tem o objetivo de permitir a utilização dos recursos da computação móvel, dos coletores de dados e da realização dos testes automatizados de manutenção em tempo real, hoje tão comuns na área dos equipamentos de proteção. A filosofia de projeto dessa aplicação é baseada no sistema de manutenção, chamado RME-Win®, utilizado pela CEMIG desde 2001, um caso prático de sucesso comprovado.
- *Framework de padronização*: por sua capacidade de simplificar o processo de programação, tirando dos especialistas, normalmente não programadores, a carga pesada da programação dos algoritmos de testes, deixando-os focados apenas nas regras do negócio manutenção, estabelece um formato único para a codificação das informações, viabilizando assim a aquisição do conhecimento de forma padronizada e distribuída e permitindo o intercâmbio de informações entre áreas de manutenção.

Na conclusão do trabalho são apresentados os benefícios obtidos pelas áreas de manutenção, como redução de custos, ganhos de qualidade, garantia do domínio tecnológico, etc. Além disso, oferece novas perspectivas para o compartilhamento, o intercâmbio, e até mesmo a comercialização de métodos padronizados de manutenção, fornecendo uma alternativa sistêmica e colaborativa para suprir, de forma eficaz, as necessidades básicas e carentes na maioria das áreas de manutenção.

## ABSTRACT

The maintenance areas of the concessionaires of the Brazilian electric sector and companies of the industrial electric sector are coexisting, more and more in the last years, with determined problems that are common and amongst which we can enumerate:

1. Great amount, diversity and complexity of the equipment;
2. Diversity and high complexity of the maintenance test instruments;
3. Scarceness of specialized maintenance personnel;
4. Lack of standardization of the work methods;
5. Computerization of the maintenance services still incipient;
6. Difficulties in the information flow of the maintenance management;
7. Subcontracting of the maintenance services and loss of technological domain;
8. Obsolescence and end of useful life of the equipment; etc.

This dissertation presents the proposal of a maintenance model, supported for specialized computational tools, aiming “to supply the necessities and lacks of the maintenance areas of these companies, in a integrated and transcendent way, in order to minimize the risks of blackouts, the loss of upper management support, and consequently to contribute for a sustainable development of the electric sector”.

The specialized computational tools in equipment maintenance of electrical systems that support the considered model are composed by three independent softwares, but that can change information between themselves, as it follows:

- *Web application*: due to its power of make available information on intranets, extranets or even all over the Internet, breaking any geographic barriers, it has the objective to establish a standard in the maintenance methods and also to load a systemic maintenance database. This application opens new perspectives to a global solution for the common problems of the maintenance areas.
- *Desktop application*: it aims to allow the use of the mobile computation, the data collectors and the accomplishment of the automated maintenance in real time, which today is so common in the area of the protection equipment. The project philosophy of

this application is based on the maintenance expert system, called RME-Win®, used by CEMIG since 2001, a practical case of proven success.

- *Standardization Framework:* due to its capacity to simplify the programming process, releasing the specialists, normally not programmers, from the heavy load of the programming of the test algorithms, allowing them to focus only in the rules of the maintenance business, it establishes a unique format for the information codification, thus making possible the acquisition of knowledge in a standardized and distributed way and allowing the interchange of information between maintenance areas.

In the conclusion of the work the benefits gotten for the maintenance areas are presented, as reduction of costs, quality gains, guarantee of the technological domain, etc. Moreover, it offers new perspectives for the sharing, the interchange, and even the commercialization of standardized methods of maintenance, providing a cooperative and systemic alternative to supply, in an efficient way, the basic and devoid necessities in the majority of the maintenance areas.

## ÍNDICE ANALÍTICO

1	Introdução.....	11
1.1	Blecautes no Brasil e no mundo .....	12
1.2	Apresentação do Problema.....	14
2	O Setor Elétrico Brasileiro.....	16
2.1	O Sistema Elétrico Interligado.....	16
2.2	As Concessionárias do Setor Elétrico.....	18
2.3	O Cenário Atual das Áreas de Manutenção .....	20
2.4	Estudo de Caso - CEMIG.....	23
2.4.1	Situação Atual.....	24
2.4.2	Problemas Existentes.....	25
3	Proposta de um Modelo de Manutenção Integrada.....	27
3.1	A Manutenção dos Equipamentos de Sistemas Elétricos.....	28
3.2	Elementos de uma Gestão Eficiente da Manutenção .....	32
3.3	O Processo Manutenção e o Diagrama de Causa e Efeito.....	36
3.4	Macro-estrutura da Manutenção.....	41
3.5	Execução dos Serviços e Tipos de Serviços .....	43
3.6	Índices de Manutenção Sistêmicos.....	50
4	Ferramentas Computacionais de Suporte .....	59
4.1	Sistemas Especialistas .....	60
4.2	Sistema Especialista em Manutenção .....	62
4.3	Aplicação Web: RME-Web®.....	64
4.4	Aplicação Desktop: RME-Win® e seu Módulo de Padronização.....	65
4.5	Framework para Padronização no RME-Web®.....	70
5	Aplicação e Resultados Obtidos .....	72
5.1	Padronização dos Métodos de Ensaios.....	73
5.2	Cadastramento dos Dados das Instalações e seus Equipamentos .....	77
5.3	Execução dos Serviços de Campo .....	79
5.4	Cadastramento dos Resultados de Manutenção .....	81
5.5	O Banco de Dados Sistemico .....	83
5.6	Índices Sistêmicos da Manutenção.....	85
5.7	Resultados Obtidos.....	94
6	Considerações Finais.....	97
7	Referências Bibliográficas.....	101

## LISTA DE FIGURAS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
Figura 1.1 : Composição de fotos noturnas da terra tiradas de satélites.....	11
Figura 1.2 - Blecautes no Brasil e no mundo (restritos – milhares de pessoas) .....	12
Figura 2.1 - Interligações do sistema elétrico brasileiro .....	17
Figura 2.2 - O sistema elétrico brasileiro .....	19
Figura 2.3 - Situação atual na CEMIG.....	24
Figura 3.1 - Os equipamentos da transmissão.....	29
Figura 3.2 - Avanço tecnológico dos equipamentos de proteção.....	30
Figura 3.3 - Manutenção manual e automatizada .....	30
Figura 3.4 - Processos envolvidos no ciclo de vida dos equipamentos .....	31
Figura 3.5 - O Processo Manutenção.....	37
Figura 3.6 - O Diagrama de Causa e Efeito.....	40
Figura 3.7 - Macro-estrutura da Manutenção .....	42
Figura 3.8 - Execução dos Serviços.....	44
Figura 3.9 - Tipos de Serviços de Manutenção .....	46
Figura 3.10 - Folha de Teste Padronizada.....	48
Figura 3.11 - Instrução de Manutenção .....	49
Figura 3.12 - Índices Sistêmicos .....	52
Figura 3.13 - Tempo de Execução.....	54
Figura 3.15 - Medições Realizadas .....	57
Figura 3.16 - Observações Registradas .....	58
Figura 4.1 – Ferramentas computacionais de suporte .....	63
Figura 4.2 – Menu de RME-Web®.....	64
Figura 4.3 - Padronização no RME-Win® .....	68
Figura 4.4 - Gabarito para criação de DLL de funções com o RME-Win ®.....	69
Figura 4.5 - Framework para criação de DLL de funções com o RME-Web® .....	70
Figura 5.1 - Tela de saída do Framework .....	73
Figura 5.2 - Tela de cadastramento de equipamentos.....	78
Figura 5.3 - Tela de cadastramento de ajustes .....	79
Figura 5.4 - Tela da folha de testes .....	80
Figura 5.5 - Tela de cadastramento de manutenção .....	82
Figura 5.6 - Tela de cadastramento de medições .....	83
Figura 5.7 - Modelagem de dados e projeto físico do banco de dados .....	85
Figura 5.8 - Critérios de Seleção e Totalização de Dados .....	86
Figura 5.9 - Quantidade de modelos padronizados.....	88
Figura 5.10 - Quantidade de equipamentos cadastrados .....	88
Figura 5.11 - Índice Mão-de-Obra.....	89
Figura 5.12 - Índice Tempo de Execução .....	90
Figura 5.13 - Índice Frequência de Manutenção.....	92
Figura 5.14 : Índice Medições Realizadas .....	92
Figura 5.15 - Índice de Observações Registradas .....	94
Figura 6.1 - Proposta de um modelo de manutenção integrada em nível nacional.....	98

## LISTA DE TABELAS E PROGRAMAS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
Tabela 1.1 - Blecautes no Brasil (Generalizados – milhões de pessoas atingidas).....	13
Tabela 1.2 - Blecautes no mundo (Generalizados – milhões de pessoas atingidas) .....	14
Tabela 2.1 - Equipamentos padronizados e cadastrados pela CEMIG.....	25
Programa 5.1 : Código fonte em C++ de padronização de um relé no framework.....	74

GLOSSÁRIO de termos E definições de manutenção [13]

**Manutenção:** Todas as ações apropriadas para a conservação ou restauração de um equipamento/item em uma dada condição.

**Engenharia de manutenção:** A atividade de manutenção em equipamento/item que desenvolve conceitos, critérios, e requerimentos técnicos em fases conceituais e de aquisição de dados para serem usados e mantidos em um estado corrente durante a fase de operação para assegurar um eficiente suporte à manutenção do equipamento.

**Manutenção preventiva:** Todas as ações realizadas em uma programação planejada, periódica e específica para manter um equipamento/item em condições estáveis de trabalho, através do processo de verificação e recondicionamento. Essas ações são precauções tomadas para prevenir ou minimizar a probabilidade de falhas ou um inaceitável nível de degradação em um serviço de manutenção posterior, ao invés de corrigi-los depois de sua ocorrência.

**Manutenção corretiva:** A manutenção não programada ou reparo para retornar um equipamento/item para um estado definido, a qual foi realizada porque as equipes de manutenção ou usuários perceberam deficiências ou falhas.

**Manutenção preditiva:** O uso de modernos métodos de medição e processamento de sinal para diagnosticar com exatidão as condições do equipamento/item durante a operação.

**Política de manutenção:** Uma declaração do conceito global de uma especificação ou política que controla o tipo da ação de manutenção a ser empregada para o equipamento/item sob consideração.

**Plano de manutenção:** Um documento que delinea o gerenciamento e o procedimento técnico a ser empregado para manter um equipamento/item; usualmente descreve as facilidades, ferramentas, programação e recursos.

**Confiabilidade:** A probabilidade que um equipamento/item realizará suas determinadas funções satisfatoriamente para o período desejado, quando usado conforme condições especificadas.

**Mantenabilidade / Manutenibilidade:** A probabilidade que um equipamento/item com falha será recuperado para a condição de serviço adequadamente.

**Tempo de reparo ativo ou tempo de execução:** A componente do tempo de manutenção em que o pessoal de reparo está ativamente efetuando um reparo.

**Tempo médio para reparo (MTTR – mean time to repair):** Uma figura de mérito dependente do item manutenibilidade, que é igual à média do tempo de reparo do item. Nos casos dos tempos de reparo distribuídos exponencialmente, o MTTR é o recíproco da taxa de reparo.

**Revisão:** Uma compreensiva inspeção ou restauração de um item ou parte de um equipamento para um nível aceitável em um tempo de durabilidade ou limite de uso.

**Qualidade:** O grau em que um item, função, ou processo satisfaz as exigências dos clientes e usuários.

**Equipe de manutenção:** Técnicos que realizam manutenções preventivas e corretivas em um equipamento/item.

**Inspeção:** A observação qualitativa do desempenho ou condição de um equipamento/item.

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b><i>FM</i></b>	Frequência de manutenção.
<b><i>H</i></b>	Número de técnicos da equipe de manutenção.
<b><i>H</i></b>	Tempo gasto em horas.
<b><i>Hxh</i></b>	Mão-de-obra expressa em número de homens (e mulheres) vezes tempo gasto em horas.
<b><i>KDD</i></b>	Knowledge Discovery in Database (Descoberta de conhecimento em banco de dados)
<b><i>M</i></b>	Tempo gasto em minutos.
<b><i>MBC</i></b>	Manutenção Baseada em Confiabilidade (o mesmo que RCM)
<b><i>MC</i></b>	Manutenção corretiva.
<b><i>MP</i></b>	Manutenção preventiva.
<b><i>MR</i></b>	Medições realizadas.
<b><i>MS</i></b>	Medições significativas.
<b><i>Ne</i></b>	Número de equipamentos instalados.
<b><i>Nm</i></b>	Número de equipamentos submetidos à manutenção.
<b><i>OR</i></b>	Observações registradas.
<b><i>RCM</i></b>	Reliability Centered Maintenance (o mesmo que MBC)
<b><i>TF</i></b>	Taxa de falhas.
<b><i>TME</i></b>	Tempo médio de execução.
<b><i>TMEF</i></b>	Tempo médio entre falhas.
<b><i>TMPR</i></b>	Tempo médio para reparo.
<b><i>TPC</i></b>	Total Productivity Control (Controle de produtividade total)
<b><i>TQC</i></b>	Total Quality Control (Controle de Qualidade Total)
<b><i>VD</i></b>	Valor deixado.
<b><i>VE</i></b>	Valor encontrado.

## *Capítulo 1*

### **1 Introdução**

Um tema recorrente na mídia tem sido o desenvolvimento sustentável das complexas tecnologias utilizadas atualmente. Toda revolução tecnológica que tem sido presenciada teve início com a disseminação do uso da energia elétrica a partir do final do século XIX. A dependência atual da humanidade em relação à energia elétrica está bem caracterizada pela figura 1.1. Essa imagem é uma montagem feita pela NASA de diversas fotos de satélites tiradas no momento em que cada continente se encontrava no escuro.



Figura 1.1 : Composição de fotos noturnas da terra tiradas de satélites.

Observa-se claramente que a dependência por energia elétrica é diretamente proporcional ao grau de desenvolvimento da região. Assim, pode-se notar que o leste dos Estados Unidos, a Europa Ocidental e o Japão são as regiões do planeta que mais demandam por eletricidade. No Brasil, em menor escala que nas regiões de primeiro mundo, observa-se que a dependência é maior na região sudeste. O desenvolvimento de uma nação acarreta uma demanda crescente por energia elétrica. Quanto maior a demanda, maior tem que ser a capacidade instalada, exigindo a execução de novos projetos e a interligação dos sistemas elétricos, tornando-os cada vez mais complexos. Já o desenvolvimento sustentável sob o prisma da energia elétrica deve ser traduzido pela garantia da disponibilidade dos sistemas elétricos com segurança e custos adequados.

### 1.1 Blecautes no Brasil e no mundo

Uma forma simples, porém eficaz, de avaliar a disponibilidade dos sistemas elétricos, em suma sua “sustentabilidade”, é de realizar o levantamento dos blecautes ou apagões mais importantes que têm ocorrido ao longo dos anos.

Blecautes ou apagões são interrupções não programadas do fornecimento de energia elétrica. Dependendo de dimensão podem gerar crises sociais, políticas e econômicas similares a que os países em guerra enfrentam. Por isso, na pesquisa realizada os blecautes foram divididos em duas categorias: a “restrita” e a “generalizada”.

Na categoria restrita, o número de pessoas atingidas se situa na casa dos milhares ou menos, e a área atingida é bem delimitada. Por serem mais freqüentes e com menor duração os dados são apresentados pela média anual das horas sem luz por domicílio. É normal que blecautes desse tipo aconteçam desde que sejam pouco freqüentes e de curtíssima duração.

Na categoria generalizada, o número de atingidos se encontra na casa dos milhões, e a área atingida é bem ampla, características dos desligamentos em cascata. Esses são os mais graves e com maior duração. Pela filosofia de projeto dos sistemas elétricos, blecautes desse tipo nunca deveriam acontecer e se acontecem é sinal de que existem problemas nas instalações. Justificativas para essa afirmação serão apresentadas no capítulo 2.

Outra separação feita foram os blecautes ocorridos no Brasil e ocorridos mundo, afim de permitir que comparações possam ser realizadas. A figura 1.2 sumariza o resultado da pesquisa realizada para os blecautes do tipo “restrito”.



Figura 1.2 - Blecautes no Brasil e no mundo (restritos – milhares de pessoas)

No Brasil, o pior caso encontrado foi no Rio de Janeiro. Observa-se que a média anual de horas sem luz por domicílio do Rio de Janeiro é bem superior aos valores da Europa e dos Estados Unidos. Esse é o primeiro indicativo de que existe algum problema com causas ainda não identificadas, fato que será explorado mais adiante nessa dissertação. Os blecautes dessa categoria restrita, por serem de poucas proporções, se limitam ao âmbito das empresas e normalmente não são divulgados pela mídia.

As tabelas 1.1 e 1.2 mostram os maiores blecautes da história noticiados no Brasil e no mundo, obtidos através de uma compilação dos resultados de diversas pesquisas realizadas em diversos endereços eletrônicos da internet. Esses blecautes são os classificados na categoria “generalizados”. Por serem de grandes proporções, transcendem o âmbito das empresas e envolvem órgãos governamentais, além de serem amplamente divulgados pela mídia. Em uma primeira observação das tabelas, tanto no Brasil quanto no mundo, constata-se que as datas das ocorrências dos blecautes estão com intervalos cada vez menores.

Tabela 1.1 - Blecautes no Brasil (Generalizados – milhões de pessoas atingidas)

<i><b>Data</b></i>	<i><b>Local</b></i>	<i><b>Duração</b></i>	<i><b>Atingidos</b></i>	<i><b>Causa noticiada</b></i>
14/11/2006	BRASIL : Maranhão	0,5 hora	60% estado	Problema em subestação
06/11/2006	BRASIL : MT	1 hora	2 milhões	Descarga atmosférica
21/01/2002	BRASIL : sudeste, sul e centro-oeste	5 horas	76 milhões	Queda de LT: parafuso solto
11/03/1999	BRASIL : sudeste, sul e centro-oeste	4 horas	60 milhões	Raio na subestação de Bauru, SP
24/04/1997	BRASIL : sudeste, sul e centro-oeste	1,5 horas	20 milhões	Defeito na subestação de Ibiúna – Furnas (SP)
26/03/1996	BRASIL : MG, GO, MT, TO e DF	1,25 horas	20 milhões	Falha de manutenção na usina de Furnas (MG)
30/06/1992	BRASIL : GO, MT, TO e DF	? horas	9 milhões	Curto-circuito na SE Itumbiara (GO), do sistema Furnas
17/09/1985	BRASIL : SP, RJ, ES, MG, MS, GO, RS	3 horas	12 milhões	Queda acidental de um elo na subestação de Santo Ângelo, (SP)..
18/04/1984	BRASIL : SP, RJ, MG, ES, MS e GO.	? horas	12 milhões	Queima de transformador na usina de Jaguará (MG).

Outra constatação é que as causas noticiadas dos problemas são sempre aparentemente naturais e justificáveis. Basicamente as causas apresentadas podem ser resumidas em quatro tipos: sobrecarga, descargas atmosféricas, falhas dos equipamentos e falhas humanas.

Tabela 1.2 - Blecautes no mundo (Generalizados – milhões de pessoas atingidas)

<i>Data</i>	<i>Local</i>	<i>Duração</i>	<i>Atingidos</i>	<i>Causa noticiada.</i>
15/11/2006	URUGUAI	1 hora	2 milhões	Raio em LT.
04/11/2006	EUROPA (7 países)	1 hora	10 milhões	Falha humana
28/09/2003	ITÁLIA	18 horas	57 milhões	Inquérito para apurar as causas.
23/09/2003	SUÉCIA DINAMARCA	3 horas	4 milhões	Falha em uma LT
14/08/2003	USA : 8 estados CANADA:1 estado	24 horas	50 milhões	Raio em uma usina / sobrecarga na transmissão
11/08/1996	USA : 3 estados MÉXICO: parcial	10 horas	4 milhões	Uso excessivo de aparelhos de ar-condicionado
14/07/1977	USA :Nova York	25 horas	9 milhões	Raio destruiu uma rede
09/11/1965	USA : 8 estados	12 horas	30 milhões	Queda de LT

## 1.2 Apresentação do Problema

Mais do que fatos isolados, os blecautes e colapsos no abastecimento de energia elétrica revelam as deficiências existentes nos sistemas elétricos brasileiros e mundiais. As justificativas apresentadas para os problemas na maioria das vezes têm se limitado à falta de investimento em novos projetos e à crescente demanda por energia elétrica. Por isso, aqui no Brasil, as medidas adotadas pelo governo e divulgadas pela mídia são normalmente de natureza econômica, como investimentos em novos projetos e racionamentos de energia. É correto que as sobrecargas são, em princípio, conseqüências diretas da demanda crescente versus a capacidade instalada, e como não se tem controle sobre a demanda, a solução passa realmente por investimentos em ampliação da capacidade das instalações. Mas, os outros três tipos de causas atribuídas aos blecautes não podem ser solucionadas apenas com medidas econômicas, e sim, cumulativamente, com estudos técnicos bem refinados.

As grandes questões que se apresentam atualmente e que ainda não foram respondidas são: Os blecautes são evitáveis?; Por que acontecem?; Qual é a tendência?.

Para responder a primeira questão é necessário discorrer sobre a filosofia de projeto das instalações. A segunda questão será respondida quando for identificada a existência de causas ocultas nas áreas de manutenção dos sistemas elétricos. A resposta à terceira questão pode ser estimada inicialmente a partir de uma extrapolação dos dados obtidos no levantamento dos blecautes ocorridos até o presente momento. Os dados apresentados sugerem que a tendência é o agravamento da situação, mas isso só poderá ser comprovado

através de estudos específicos e criteriosos no banco de dados com os resultados obtidos nas manutenções dos equipamentos. Será mostrado que essa tendência será corroborada com o envelhecimento dos equipamentos existentes, complexidade da nova tecnologia, escassez de mão de obra especializada, dentre outras. Essa tendência associada a esses fatores agravantes não são exclusivos apenas do setor elétrico, e evidências disso já estão surgindo, por exemplo, no setor aéreo brasileiro.

Em síntese, as informações noticiadas pela imprensa não são, na realidade, as causas reais dos eventos ocorridos, pois elas não justificam satisfatoriamente os desligamentos em cascata que caracterizam os blecautes generalizados. As causas divulgadas são apenas estopins de problemas muito mais sérios normalmente não identificados. Dentro desse espírito, essa dissertação apresenta uma proposta para a identificação dos problemas existentes, com as suas causas e efeitos, e alternativas para a sua eliminação, senão, pelo menos, a sua minimização. Consiste em um “*modelo de manutenção integrada*” que utiliza um “*sistema especializado em manutenção de equipamentos de sistemas elétricos*” como ferramenta de suporte.

## *Capítulo 2*

### **2 O Setor Elétrico Brasileiro**

Classicamente, os sistemas elétricos são divididos em *geração*, *transmissão* e *distribuição*. A geração, composta de usinas e subestações elevadoras, se localiza normalmente afastada dos grandes centros consumidores, onde se encontram os recursos hídricos.

A transmissão, que se compõe de linhas de transmissão (LT) e subestações de transmissão, é responsável pelo transporte de energia das usinas aos grandes centros consumidores. E a distribuição, compreendendo as subestações de distribuição e redes de distribuição urbanas e rurais, tem a função de fazer a energia chegar aos consumidores finais.

O setor elétrico brasileiro pode ser dividido em duas eras bem definidas: antes e depois de 1998. Nesse marco se deu a mudança do modelo do setor elétrico. O antigo modelo existente antes de 1998 era caracterizado por empresas estatais responsáveis pelo planejamento, projeto, construção, operação e manutenção de suas instalações elétricas. Devido às dificuldades econômicas do governo e a necessidade de investimentos na expansão do sistema elétrico para atender à demanda crescente por energia elétrica, ocorreu em 1998 uma alteração do modelo existente para um novo modelo, caracterizado por um processo de privatizações, de onde se esperava a entrada de capital privado para os investimentos exigidos. Hoje é sabido que os investimentos esperados não ocorreram como o previsto pelo governo. Além das privatizações, o novo modelo trouxe também a competitividade pelo mercado de energia elétrica. Agora os grandes consumidores não são mais cativos das empresas, podem escolher de que fornecedor comprar sua energia elétrica. Houve também a criação da ANEEL, a Agência Nacional de Energia Elétrica, que é um órgão governamental responsável pela regulação do setor elétrico em suas áreas de geração, transmissão e distribuição. É importante ressaltar que uma das atribuições da ANEEL é fiscalizar as concessionárias do setor elétrico e punir com a aplicação de multas quando da negligência e má qualidade no fornecimento de energia elétrica.

#### **2.1 O Sistema Elétrico Interligado**

Uma característica interessante a ser observada é que o sistema elétrico brasileiro é interligado na área da transmissão da energia (figura 2.1). Isto acontece para otimizar os recursos disponíveis e atender de forma mais eficiente à solicitação da demanda.

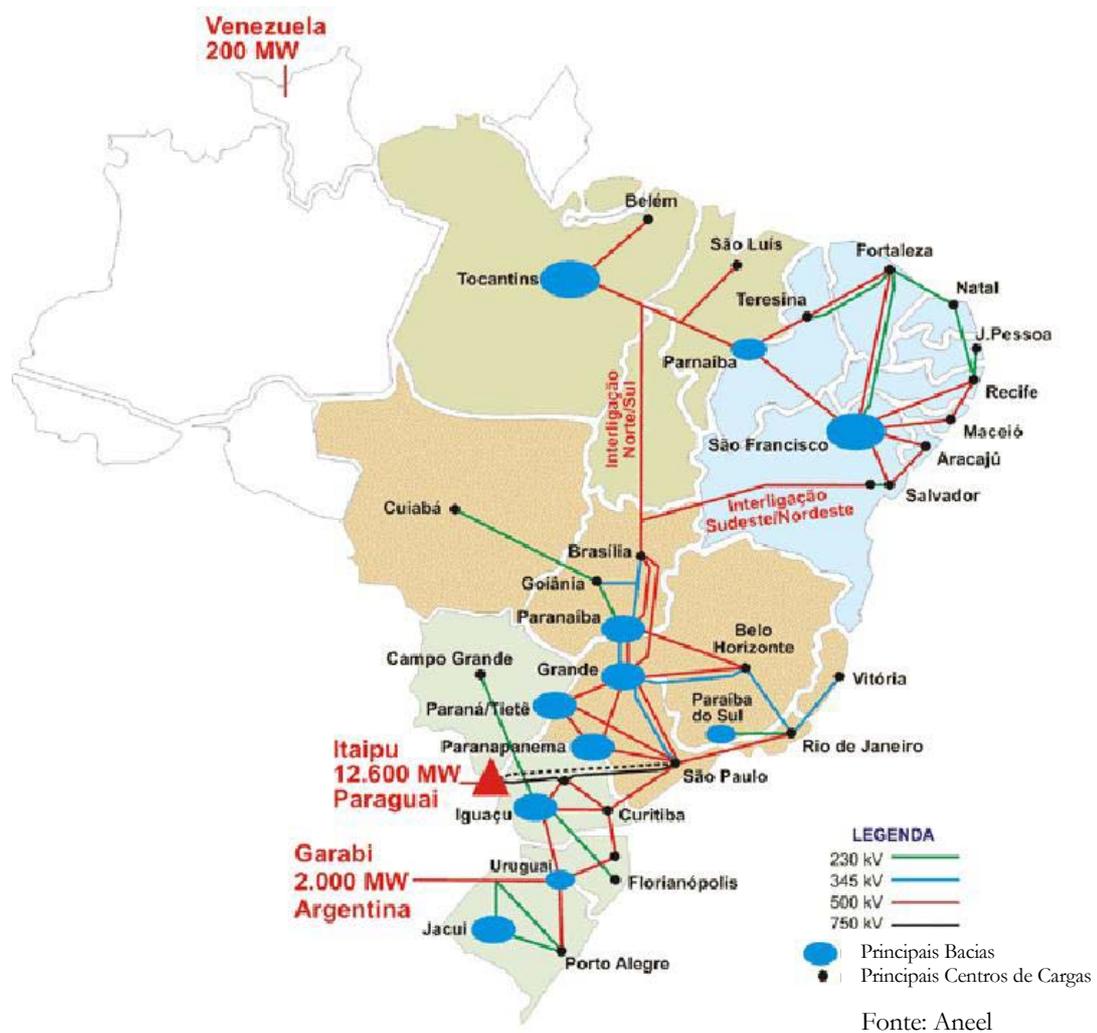


Figura 2.1 - Interligações do sistema elétrico brasileiro

Por outro lado, essas interligações fazem com que defeitos no sistema de uma empresa possam ser propagados para os sistemas adjacentes, o que pode até mesmo causar blecautes de nível continental. É importante salientar que esta é a grande diferença entre um sistema elétrico industrial qualquer e o sistema elétrico brasileiro interligado, principalmente no que tange à operação e à manutenção desses sistemas. Por ser fisicamente isolado, no caso do sistema industrial a redução de custos pode ser colocada como prioritária em relação à confiabilidade e à disponibilidade, a fim de se aumentar o lucro e os riscos assumidos pela própria empresa. Já no sistema interligado, a confiabilidade e a disponibilidade devem ser prioritárias em relação aos custos, já que a interligação e inerente difusão de problemas em cascata afetam os sistemas adjacentes. Devem ser estabelecidos índices de segurança, que devem ser atingidos a qualquer custo. Trata-se de uma questão social, política e de desenvolvimento sustentável do sistema interligado.

Devido a essas interligações há a necessidade da existência de um órgão para coordenar a operação da geração e da transmissão do sistema como um todo, a partir dos diversos sistemas elétricos das diversas empresas.

No antigo modelo esse órgão era o GCOI – Grupo Coordenador da Operação Interligada, que por estar em um ambiente estatal, visava a colaboração e o intercâmbio de experiências entre as empresas participantes, as quais aconteciam em reuniões periódicas. No novo modelo esse órgão veio a ser substituído pelo ONS - Operador Nacional do Sistema. Porém, por estar agora em um ambiente privado, sujeito à concorrência em um mercado cada vez mais competitivo, o ONS perdeu inicialmente o foco na colaboração e na troca de experiências entre as suas concessionárias filiadas. Agora, passados quase dez anos da entrada em vigor do novo modelo, parece que está havendo uma mudança de postura por parte do ONS. Atualmente o ONS possui mais de sessenta empresas filiadas que são chamadas de “agentes da geração e da transmissão”. A fim de coordenar a operação dos sistemas elétricos de todos esses agentes, foram estabelecidos os chamados “procedimentos de rede” com o objetivo de estabelecer um padrão de trabalho. Os procedimentos de rede são compostos de 23 módulos. No contexto dessa dissertação, o módulo de interesse é o de número 16 relativo ao acompanhamento da manutenção. Seu objetivo é estabelecer os requisitos mínimos de manutenção a serem exigidos das concessionárias, isto é, o “que fazer” e o “como fazer” os serviços de manutenção. Porém, por dificuldades técnicas de implementação, devido principalmente ao grande volume de informações e à grande diversidade de equipamentos instalados no parque elétrico brasileiro, o ONS delegou aos seus agentes a incumbência de definir quais seriam os seus requisitos mínimos de manutenção. Com isso, cada empresa continuou utilizando os mesmos processos que já vinham utilizando e não foi estabelecido um padrão de manutenção.

## **2.2 As Concessionárias do Setor Elétrico**

A despeito das estruturas organizacionais das empresas brasileiras de energia elétrica serem bastante diversificadas, seus processos são basicamente os mesmos sob um ponto de vista sistêmico. Esses processos podem ser divididos, genericamente, em planejamento, projeto, construção, operação e manutenção.

Na figura 2.2 está apresentado um planejamento feito em 2005 com um horizonte para 2007 do sistema elétrico brasileiro.



Fonte: Aneel

Figura 2.2 - O sistema elétrico brasileiro

O planejamento contempla a expansão necessária do sistema elétrico para atender o crescimento previsto da demanda.

No projeto e na construção dos sistemas elétricos são implementados circuitos redundantes e sistemas de proteção de forma a garantir a continuidade do fornecimento de energia, mesmo quando da ocorrência de desligamentos.

Nas áreas de operação dos sistemas elétricos são elaborados estudos de coordenação dos equipamentos de proteção a fim garantir a sensibilidade, seletividade e rapidez nos circuitos para a correta eliminação de distúrbios como curtos-circuitos, sobrecargas, erros humanos, defeitos em equipamentos, descargas atmosféricas, etc. Além disso, existem também os esquemas de alívio de carga e planos de contingência, que não serão considerados aqui.

Todo esse arsenal de recursos é planejado, projetado, construído e operado de forma a minimizar, isolando em áreas restritas, os efeitos das falhas, que são inevitáveis. Assim, do ponto de vista da filosofia de projeto do sistema elétrico, conclui-se que é inadmissível a ocorrência dos grandes blecautes generalizados apresentados anteriormente! Mas, então por que eles acontecem?

### **2.3 O Cenário Atual das Áreas de Manutenção**

Como já mencionado anteriormente no item ‘apresentação do problema’ do capítulo 1, mais do que fatos isolados, os blecautes e colapsos no abastecimento de energia elétrica revelam as deficiências existentes nos sistemas elétricos brasileiros e mundiais. As justificativas apresentadas para os problemas, na maioria das vezes, têm se limitado à falta de investimento em novos projetos e à crescente demanda por energia elétrica. Por isso, aqui no Brasil, as medidas adotadas pelo governo são normalmente de natureza econômica, como investimentos em novos projetos e, paliativa e emergencialmente, o racionamento de energia. Mas outros tipos de causas atribuídas aos blecautes não podem ser solucionadas apenas com medidas econômicas, e sim, cumulativamente, com estudos técnicos especializados e bem refinados.

Muitos especialistas das áreas de manutenção acreditam na existência de outras causas ainda obscuras para os problemas apresentados. Para que possam ser identificados é preciso primeiro que se faça uma análise da situação atual dos equipamentos das instalações e das áreas de manutenção responsáveis por suas manutenções.

O parque instalado do sistema elétrico brasileiro é constituído de uma imensa quantidade de equipamentos, com dezenas de milhares de unidades por empresa, os quais remontam desde a década de 50 até aos dias atuais. São equipamentos dos mais diversos fabricantes, normalmente empresas multinacionais, que vão desde os tipos mais simples até os mais complexos, dos mais velhos e obsoletos equipamentos eletromecânicos, passando pelos ultrapassados equipamentos eletrônicos estáticos (analógicos), aos novos equipamentos da atual tecnologia digital.

Esse conjunto diversificado de equipamentos é dividido em famílias ou áreas de especialização a saber: *Área de proteção*, compondose dos diversos tipos de relés de proteção; *Área de manobra*, composta por disjuntores, chaves, pára-raios, religadores, etc.; *Área de transformação*, contendo os transformadores de força, de potencial, de corrente, banco de

capacitores, etc.; *Área de linhas de transmissão*, com suas torres, cabos, isoladores, etc.; *Área de geração* com os geradores, turbinas, reguladores de tensão, de velocidade, etc.

Dentre essas áreas de especialização acima mencionadas, a área de proteção merece uma atenção especial, porque seus equipamentos protegem os equipamentos das demais áreas, inclusive a si próprios. É função dos equipamentos de proteção garantir a sensibilidade, seletividade e rapidez na eliminação, ou pelo menos no isolamento, de distúrbios que ocorrem frequentemente nos equipamentos e circuitos do sistema, de forma a minimizar os seus danos e prejuízos. Ou seja, é função primordial dos equipamentos de proteção não permitir que os distúrbios ocorridos se propaguem por efeito cascata para os circuitos em sua vizinhança. Então, quando há a ocorrência de um blecaute de grandes dimensões a primeira pergunta que deveria surgir seria: “*por que o sistema de proteção não funcionou e não isolou o distúrbio?*”. O que se pode concluir de imediato é que se há a ocorrência de um blecaute de grandes dimensões implica em falha no sistema de proteção. Essa falha na proteção pode ser por *operação indevida*, isto é, não deveria haver a operação da proteção, mas ela operou indevidamente, ou por *ausência de operação*, isto é, deveria haver a operação da proteção, mas ela não operou. No primeiro caso, pode-se nem mesmo ter havido um distúrbio no sistema e a operação indevida se deveu a erro acidental causado por ser humano ou animal, erro nos ajustes implementados, erro nos cálculos de ajustes, etc. No segundo caso, houve mesmo um distúrbio no sistema e a ausência de atuação da proteção se deveu a alguma falha oculta no sistema de proteção, a qual apenas se manifestou quando a proteção foi solicitada a atuar para eliminar o distúrbio ocorrido. Essa falha da proteção por ausência de operação se dá devido a circuitos interrompidos, sujeiras em contatos de relés, “bugs” em software de relés digitais, como também, erro nos ajustes implementados nos relés, e erro nos cálculos de ajustes.

Pelo exposto acima, em ambos os tipos de falhas em equipamentos da área de proteção, isto é, falha por atuação indevida e por ausência de atuação, observa-se que as suas causas, às vezes ainda ocultas, só são possíveis de ser identificadas através do processo de manutenção. O mesmo pode-se afirmar para os equipamentos das demais áreas de especialização. A manutenção está na linha de frente da pesquisa e solução de problemas nos equipamentos dos sistemas elétricos [19].

Outra característica do parque de instalações do sistema elétrico brasileiro é a distribuição geográfica de suas usinas e subestações. Essa característica é um fator determinante na escolha da política de manutenção adotada para cada empresa. Dependendo da distribuição

geográfica de suas instalações cada empresa tem adotado uma política de manutenção, que pode ser basicamente classificada em “centralizada”, “descentralizada” ou “terceirizada”, a fim de minimizar custos e racionalizar os recursos humanos e materiais disponíveis. Essa distribuição geográfica também tem muita influência na estrutura organizacional das áreas técnicas de manutenção das empresas, que na maioria delas são constituídas por diversos órgãos regionais, estrategicamente localizados nas proximidades das instalações de determinadas regiões, e responsáveis pela execução dos serviços de manutenção em seus equipamentos. Com o objetivo de fornecer metodologia padronizada de manutenção e de possuir coordenação e controle sobre os órgãos regionalizados, muitas empresas possuem um órgão central de engenharia de manutenção.

É neste contexto tão adverso que estão inseridas as áreas de manutenção das empresas de energia elétrica, as quais sempre foram relegadas a plano secundário, mas que agora passam a ter um foco de maior evidência por estarem sendo cada vez mais exigidas a enfrentar os desafios que se apresentam.

Porém, a grande maioria das áreas de manutenção dessas empresas não está preparada para solucionar, nem mesmo satisfatoriamente, os problemas que se apresentam. Os fatores enumerados a seguir são dificuldades normalmente encontradas na maioria das áreas técnicas responsáveis pela execução dos serviços de manutenção das concessionárias:

1. O conhecimento e a experiência estão nas cabeças dos especialistas;
2. Falta de métodos padronizados do “que fazer” e de “como fazer”;
3. O processo manutenção ainda é manual na maioria das empresas;
4. Os resultados obtidos nas manutenções são predominantemente arquivados em papel;
5. As informações arquivadas não são padronizadas e são, na maioria das vezes, incompletas, imprecisas ou mesmo inexistentes.

Já as áreas técnicas de engenharia de manutenção possuem as dificuldades listadas a seguir:

1. Poucas empresas fazem análise sistêmica, e mesmo assim de forma ainda incipiente;
2. Inexistência de itens de controle consolidados, como MTBF (tempo médio entre falhas) e MTTR (tempo médio para reparo).
3. As decisões gerenciais são tomadas pelo sentimento e experiência, e não por fatos e dados;
4. Perda de domínio tecnológico face à terceirização da manutenção e da perda de mão-de-obra especializada;
5. Comprometimento da qualidade e dos custos de manutenção.

Esse diagnóstico foi obtido através de questionário enviado às grandes concessionárias do setor elétrico brasileiro no fim da década de 90 [15], os quais continuam válidos até os dias de hoje [1].

Devido ao fato do sistema elétrico ser interligado, problemas de abastecimento de energia em uma empresa são propagados para as demais, o que torna a sua solução desses de interesse comum às empresas, à despeito da competitividade de mercado e privatizações trazidas pelo novo modelo do setor elétrico, vigente desde 1998.

Além disso, como os equipamentos dos sistemas elétricos são os mesmos para a maioria das empresas, seria também de interesse geral, se possível, que a solução para esses problemas fosse a mesma para todas as empresas do sistema elétrico interligado, pois permitiria o intercâmbio de informações e evitaria um trabalho repetitivo de “reinvenção da roda” nos serviços de manutenção.

#### **2.4 Estudo de Caso - CEMIG**

Buscando soluções internas para esses antigos problemas, a CEMIG iniciou em 1988 o desenvolvimento de um sistema de manutenção, chamado Sistema RME, e que foi implantado em 1992 para os equipamentos de proteção e em 1994 para os equipamentos de manobra e transformação. Assim, todos os órgãos regionais de manutenção da CEMIG dentro do estado de Minas Gerais passaram a ser usuários desse software. A figura 2.3 apresenta a distribuição geográfica desses órgãos regionais, e fornece uma idéia de sua abrangência.

Porém, o hardware disponível naquela época eram microcomputadores PC-XT (10Mb de HD, 640Kb de memória, sistema operacional DOS, disquete flexível) e o programa foi desenvolvido em linguagem Clipper Summer'87 e em linguagem C. Obviamente, esse sistema tornou-se precocemente obsoleto devido à limitação dos recursos tecnológicos dessa época, principalmente no que tangia à limitação de memória.

Mesmo dentro desse ambiente tecnológico extremamente limitado, a filosofia desse projeto foi um marco histórico na área de manutenção de equipamentos do sistema elétrico CEMIG. Esse acontecimento foi devido ao fato de ter sido *pioneiro* ao abrir caminho através de uma mal conhecida área de manutenção, por ser um software *original* que possui características próprias e sem semelhante no mercado. Uma dessas características é ser um “sistema especialista em manutenção” porque emula as habilidades dos especialistas da manutenção

na solução de problemas em equipamentos do sistema elétrico. Essas habilidades, arduamente adquirida por meio de treinamento especializado e da experiência ao longo de vários anos de serviço, são expressas através de regras que são incorporadas na base de conhecimento do sistema.



Figura 2.3 - Situação atual na CEMIG

Essa experiência da CEMIG já foi referenciada em duas dissertações de mestrado [1; 15] e em uma monografia de pós-graduação [3]. Vários trabalhos técnicos já foram apresentados sobre o Sistema RME em diversos eventos do setor elétrico mundial, de onde foi constatado o seu ineditismo. Em diversos eventos foram levantadas e colocadas questões sobre a transcendência do sistema e o compartilhamento de suas informações técnicas de manutenção entre as empresas do sistema elétrico interligado.

#### 2.4.1 Situação Atual

Sustentado principalmente pela sua evidenciada importância e aceitação pelos usuários, esse software foi substituído em janeiro de 2001 por uma nova versão para ambiente “Windows”, mas ainda consistindo-se de uma aplicação isolada, como também foi realizada a migração da base de conhecimento e dos dados históricos do sistema legado para essa nova

plataforma. Essa versão é a que está sendo atualmente utilizada na execução dos serviços manutenção de praticamente todos os equipamentos do sistema elétrico CEMIG.

A versão para ambiente Windows trouxe melhorias significativas como tornar o software único para a manutenção de todos os equipamentos das áreas de transmissão, distribuição e geração, oferecer os recursos de coletores de dados e computação móvel, além de otimizar os testes automatizados em tempo real nos equipamentos de proteção. Esses recursos, que impõem a utilização de uma aplicação isolada de forma inevitável, serão explicados mais à frente no tópico sobre as ferramentas computacionais de suporte a serem utilizadas.

Tabela 2.1 - Equipamentos padronizados e cadastrados pela CEMIG

<i>Equipamentos</i>	<i>Padronizados</i>	<i>Cadastrados</i>	<i>% estimado</i>
<i>Proteção</i>	<i>815</i>	<i>14.038</i>	<i>90 %</i>
<i>Manobra</i>	<i>451</i>	<i>6.914</i>	<i>93 %</i>
<i>Transformação</i>	<i>90</i>	<i>1.002</i>	<i>90 %</i>

A tabela 2.1 mostra a quantidade de equipamentos padronizados e cadastrados pela CEMIG no período de 1992 a 2005 para cada família de equipamentos. Padronizar um modelo de equipamento significa definir “o que fazer” e “como fazer” os serviços de manutenção. Os equipamentos de proteção foram padronizados em 815 modelos diferentes, o que permitiu o cadastramento de 14.048 dos equipamentos existentes. Estima-se que esses equipamentos de proteção já cadastrados representam 90% de todo o universo dos equipamentos de proteção instalados em toda a CEMIG. A tabela apresenta também os números para os equipamentos de manobra e transformação.

#### 2.4.2 Problemas Existentes

Apesar do grande sucesso do sistema RME na CEMIG, existem sérios problemas que precisam ser solucionados urgentemente. O primeiro deles é a dificuldade na transmissão de dados dos diversos órgãos regionais para o órgão central de engenharia de manutenção. No passado, devido à limitação dos recursos tecnológicos da época, essa transmissão de dados era feita através de disquetes flexíveis de 5¼”. À medida que os meios de comunicação foram melhorando passou-se utilizar CD-ROM, cabo, modem, rede discada e rede corporativa, mas sempre de forma manual o que exige a presença humana intermediando o

processo de transferência de dados. Essa deficiência na transmissão de dados traz sérias dificuldades para os processos de gerenciamento do banco de dados central e de gestão sistêmica da manutenção, caracterizada pelo cálculo dos índices de manutenção e pela realização de estudos específicos da engenharia de manutenção.

Como já mencionado, apesar de necessária e extremamente útil, apenas utilização de uma aplicação isolada traz essa dificuldade, que para ser solucionada exige também a utilização de uma aplicação em rede.

Assim, fazendo uma comparação do caso CEMIG com as demais empresas do setor elétrico, observa-se que a CEMIG está à frente, ou melhor, a meio caminho andado, nas soluções dos problemas que são comuns às áreas de manutenção. Enquanto as demais empresas têm as dificuldades e necessidades de execução dos serviços e de engenharia de manutenção apenas levantadas, a CEMIG utilizando-se do Sistema RME já está conseguindo solucionar os seus problemas das áreas de execução dos serviços em seus órgãos regionais [1], porém ainda continua com dificuldades na área central de engenharia de manutenção.

## Capítulo 3

### 3 Proposta de um Modelo de Manutenção Integrada

Nos capítulos anteriores foram apresentados os alicerces sobre os quais está fundamentada a solução proposta nessa dissertação para os problemas existentes na quase totalidade das áreas de manutenção do setor elétrico.

No capítulo 1 foram mostrados os resultados da pesquisa realizada sobre a ocorrência de blecautes no Brasil e no mundo e ressaltado que os blecautes restritos e de curta duração são inevitáveis e toleráveis em qualquer sistema elétrico, e que os blecautes generalizados e/ou de longa duração nunca deveriam acontecer por filosofia de projeto, mas foi constatado que eles têm acontecido periodicamente aqui no Brasil, como também nos países de primeiro mundo, numa frequência cada vez maior.

No capítulo 2 foi feita uma abordagem sobre o setor elétrico brasileiro, as interligações de seus sistemas, suas concessionárias e sobre as dificuldades e necessidades de suas áreas de manutenção. Foi também apresentado o estudo de caso da CEMIG, focando a situação atual e as dificuldades e necessidades relativas às suas áreas de manutenção. O caso CEMIG foi tomado como referência por ser uma empresa pioneira e de vanguarda na solução dos problemas comuns e existentes nas demais empresas do setor elétrico brasileiro.

A idéia subjacente à solução aqui proposta é bem simples: *“Como o sistema elétrico brasileiro é todo interligado, os equipamentos instalados são praticamente os mesmos em todas as empresas, os processos de manutenção bastante semelhantes e com problemas e necessidades similares, uma solução comum, se possível, seria mais viável técnica e economicamente de ser implementada, porque se daria através de um mutirão e evitaria muito trabalho redundante de uma mão-de-obra especializada cada vez mais escassa.”*

Para que seja possível implementar uma solução comum a toda empresa do setor elétrico é necessário que a filosofia de projeto do modelo proposto seja *transcendente* a elas. Isso quer dizer que o modelo proposto deve ter um grau de abstração sistêmico, isto é, deve abstrair-se dos detalhes e nuances administrativos das empresas e concentrar-se no que há de comum entre os seus processos de manutenção.

Essa transcendência pode ser alcançada se adotadas as *premissas* sumarizadas nos sete itens a seguir:

1. *Independência da estrutura organizacional:*
2. *Aderente à política de manutenção adotada (QTC, MBC, TPC, KDD);*

3. *Independência dos sistemas de gerenciamento da manutenção das empresas;*
4. *Solução única para a manutenção de qualquer tipo de equipamento;*
5. *Métodos de ensaios padronizados e informatizados (garantia de domínio tecnológico);*
6. *Independência dos instrumentos de testes utilizados;*
7. *Execução de testes manuais e automatizados.*

O restante desse capítulo tratará do detalhamento da proposta de um modelo de manutenção integrado. Nesse detalhamento as premissas acima irão surgir naturalmente, não necessariamente na ordem apresentada, e serão então oportunamente caracterizadas.

No capítulo seguinte serão abordadas as ferramentas que dão suporte ao modelo proposto, as quais são em última análise três softwares independentes, mas que trocam informações entre si, e que juntos compõem um sistema de manutenção especializada, a saber:

1. *Aplicação web*: pelo seu poder de disponibilizar informações em intranets, extranets ou mesmo em toda a internet, quebrando assim quaisquer barreiras geográficas. O objetivo último é estabelecer um padrão único nos métodos de manutenção e também carregar um banco de dados sistêmico da manutenção.
2. *Aplicação desktop*: tem o objetivo de permitir a utilização dos recursos da computação móvel, dos coletores de dados e da realização dos testes automatizados de manutenção em tempo real, hoje tão comuns na área dos equipamentos de proteção.
3. *Framework de padronização*: por sua capacidade de simplificar o processo de programação tirando dos especialistas, normalmente não programadores, a carga pesada da programação dos algoritmos de testes e deixando-os focados apenas nas regras do negócio manutenção, estabelece um formato único para a codificação das informações, viabilizando assim a aquisição do conhecimento de forma padronizada e distribuída e permitindo o intercâmbio de informações entre as empresas.

### **3.1 A Manutenção dos Equipamentos de Sistemas Elétricos**

Apesar do modelo aqui proposto poder ser aplicado a qualquer área de qualquer sistema elétrico, isto é, geração, transmissão e distribuição tanto do sistema interligado, como também de sistemas isolados e de sistemas industriais, a ênfase será a área de transmissão do sistema interligado por estarem aí localizadas as causas ocultas dos blecautes generalizados.

A figura 3.1 mostra uma composição de fotografias das principais famílias de equipamentos utilizados na área de transmissão de energia elétrica, que são divididos basicamente em equipamentos de proteção (1), manobra (2), transformação (3) e linhas de transmissão (4).

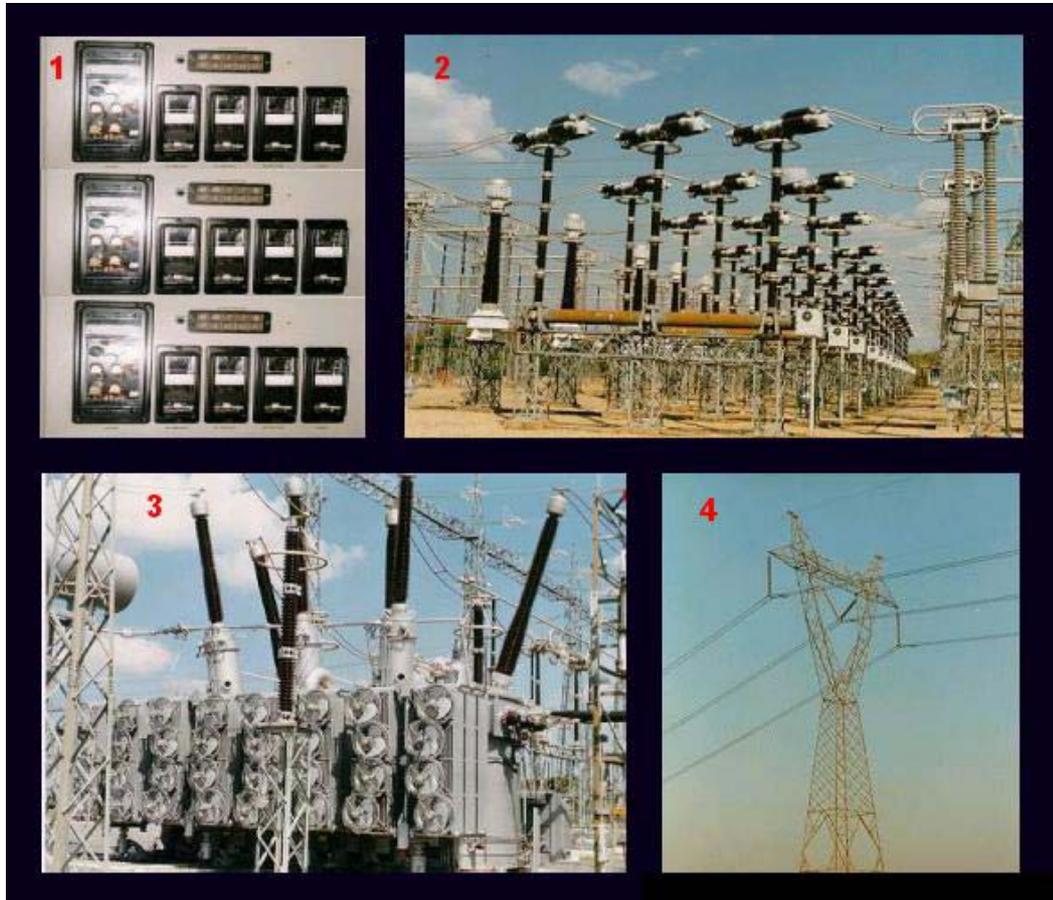


Figura 3.1 - Os equipamentos da transmissão

Considerando-se milhares de equipamentos existentes nas instalações de cada empresa do setor elétrico, as centenas de modelos diferentes de equipamentos e as dezenas de métodos de ensaios utilizados nos serviços de manutenção de cada um desses modelos de equipamentos, podem ser estimadas a grande quantidade e a diversidade de equipamentos envolvidos.

Outros problemas que são encontrados no parque instalado atual é o envelhecimento dos equipamentos existentes, que datam desde a década de 50, e a miscelânea de equipamentos obsoletos com os modernos equipamentos da nova tecnologia.

Como mostrado na figura 3.2, os equipamentos de proteção foram os que sofreram maior influência do atual desenvolvimento tecnológico, isto é, evoluíram de equipamentos eletromecânicos (1), para os estáticos (2) e posteriormente para os digitais (3). Esse processo de digitalização nos equipamentos de proteção aumentou enormemente o volume de

informações contidos nesses equipamentos e paralelamente, para enfrentar esse novo problema criado, surgiram os instrumentos de testes inteligentes que permitem realizar testes de manutenção totalmente automatizados, conforme mostrado na figura 3.3-(2).

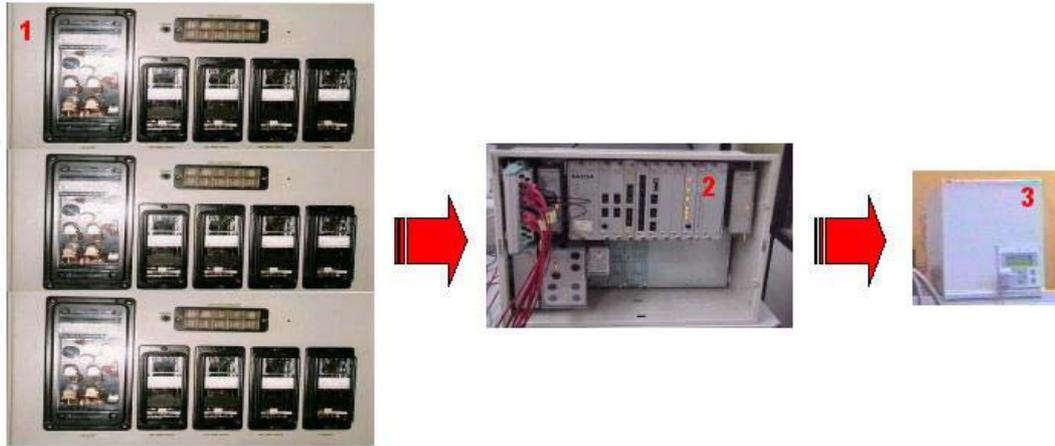


Figura 3.2 - Avanço tecnológico dos equipamentos de proteção

A complexidade dessa nova tecnologia, principalmente a digital, é um complicador maior para o treinamento das equipes de manutenção por exigir um alto grau de especialização que não se dá da noite para o dia, mas sim após três anos de serviço, no mínimo.

A figura 3.3-(1) mostra um serviço rotineiro de manutenção executado de forma manual por pessoal especializado e que as questões de confiabilidade e segurança envolvidas nesse processo são comparáveis às exigidas no setor de aviação.

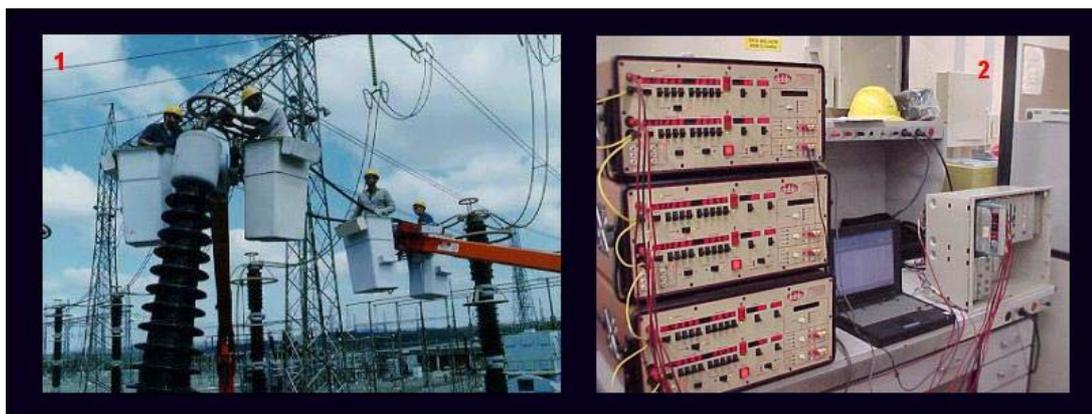


Figura 3.3 - Manutenção manual e automatizada

Assim, pode-se concluir que a premissa de uma “*Solução única para a manutenção de qualquer tipo de equipamento*” não é uma tarefa fácil dentro dessa variedade de equipamentos e somente um modelo bem consistente pode atingir esse objetivo.

Antes de iniciar o detalhamento do modelo de manutenção integrada proposta nessa dissertação, é necessário contextualizá-lo em relação aos outros processos envolvidos. Conforme mostrado na figura 3.4, os processos envolvidos no ciclo de vida dos equipamentos podem ser categorizados em planejamento, projeto, construção, operação e manutenção. Do ponto de vista sistêmico, esses processos são basicamente os mesmos na grande maioria das empresas, a despeito de suas estruturas organizacionais serem bastante diversificadas. Essa abordagem pelos processos envolvidos no ciclo de vida dos equipamentos nos permite atender a premissa de *independência da estrutura organizacional*.

O processo manutenção se inicia nos serviços de recepção dos equipamentos, que podem ser considerados como a primeira manutenção dos mesmos. Nessa oportunidade, à medida que a obra vai sendo concluída, são realizados os primeiros ajustes e ensaios nos equipamentos e testes na fiação, de maneira a garantir a correta montagem de acordo com a especificação do projeto. Uma vez concluída a obra pela construção e os testes de recepção pela manutenção, dá-se início aos testes de comissionamento, executados por uma equipe composta por engenheiros das áreas de projeto, construção, operação e manutenção, com a missão de realizar os testes finais, energizar os circuitos e equipamentos e liberá-los para a operação. Uma vez em operação qualquer equipamento ou circuito tem que ser liberado pela operação para a manutenção realizar manutenções preventivas ou corretivas, após as quais são retornados à operação. Esse ciclo continua até que haja o ‘descomissionamento’, isto é, a substituição do equipamento e/ou circuito por ter atingido o seu fim de vida útil.



Figura 3.4 - Processos envolvidos no ciclo de vida dos equipamentos

### 3.2 Elementos de uma Gestão Eficiente da Manutenção

Há vários elementos em uma gestão eficiente da manutenção, dos quais a eficácia é a chave para um sucesso global da atividade de manutenção. Muitos desses elementos são descritos abaixo [13; 18].

***Política de Manutenção:*** é um dos mais importantes elementos para uma gestão eficiente da manutenção. É essencial para a continuidade de operação e para um claro entendimento do programa de gerenciamento da manutenção, independente do tamanho dos órgãos de manutenção. Usualmente, os órgãos de manutenção possuem manuais contendo itens tais como políticas, programas, objetivos, responsabilidades, e atribuições para todos os níveis de supervisão, exigências de relatórios, métodos e técnicas convenientes, e índices de medida de desempenho. Inexistindo tais documentos, isto é, um manual de política, um documento de política deve ser desenvolvido contendo as informações de todas as políticas essenciais.

***Controle de Material:*** Experiências passadas indicam que, em média, custos materiais contabilizam aproximadamente 30 a 40% do total dos custos diretos de manutenção. Utilização eficiente de pessoal depende amplamente da eficiência da coordenação de materiais. Problemas com materiais podem gerar falsos deslocamentos, excesso no tempo de viagem, atrasos, desencontros devidos a datas, etc. Passos tais como planejamento de tarefas, coordenação com compras, com almoxarifado, com a remessa de materiais, e a revisão de tarefas concluídas, pode ajudar a reduzir problemas relacionados com materiais. A decisão de quando manter reservas em estoque é um dos mais importantes problemas do controle de materiais.

***Sistema de Ordem de Serviço:*** Uma ordem de serviço autoriza e direciona um indivíduo ou uma equipe para realizar uma dada tarefa. Um sistema de ordem de serviço bem definido deveria cobrir todas as tarefas de manutenção solicitadas e realizadas, quer repetitivas ou realizadas uma única vez. O sistema de ordem de serviço é útil para o gerenciamento no controle de custos e avaliação de desempenho das tarefas. Apesar do tipo e do tamanho da ordem de serviço poder variar de um órgão de manutenção para outro, uma ordem de serviço deveria conter no mínimo informações tais como data da solicitação e de conclusão planejada, descrição dos serviços e suas razões, data de início planejada, custos de mão-de-obra e de materiais, itens afetados, tipo do serviço (manutenção preventiva, reparo, instalação, etc.) e assinaturas de aprovação apropriadas.

***Planejamento e Programação de Serviços:*** Planejamento dos serviços é um elemento essencial do gerenciamento eficiente da manutenção. Várias tarefas têm que ser realizadas

antes do início de um serviço de manutenção, por exemplo, obtenção de peças, ferramentas e materiais, coordenação e expedição dessas peças, ferramentas e materiais, identificação de métodos e procedimentos, coordenação com outros departamentos, permissões de segurança ou liberação de equipamentos.

Apesar do grau de planejamento requerido variar com os profissionais envolvidos e com os métodos utilizados, experiências anteriores indicam que em média um planejador é requerido para cada vinte profissionais. Rigorosamente, o planejamento formal deveria cobrir 100% da carga de trabalho da manutenção, mas serviços de emergência e designação de pequenos trabalhos diretamente são realizados em um ambiente menos formal. Assim, na maioria dos órgãos de manutenção 80 a 85% da cobertura do planejamento é atingível. A programação da manutenção é tão importante quanto o planejamento dos serviços. A eficiência da programação é baseada na confiabilidade da função planejamento. Para grandes serviços, em particular aqueles requerendo coordenação de múltiplos profissionais, devem ser considerados seriamente o uso de métodos tais como “PERT” (Program Evaluation and Review Technique) e “CPM” (Critical Path Method) para assegurar um controle global eficaz.

***Sistema de Prioridades e Controle de ‘backlog’ (atrasos):*** A quantidade de ‘backlogs’ (tarefas atrasadas ou em espera) dentro de um órgão de manutenção é um dos fatores determinantes da eficiência do gerenciamento da manutenção. A identificação de ‘backlogs’ é importante para balancear os requisitos de mão-de-obra com a carga de trabalho. Além disso, decisões relativas a horas-extras, contratação, terceirização, compra, etc., são amplamente baseadas em informações de ‘backlog’. O gerenciamento faz uso de vários índices para tomar decisões relacionadas com ‘backlog’. A determinação de prioridade de serviço em um órgão de manutenção é necessária quando não é possível atender a todos os serviços requeridos no dia. Na designação das prioridades dos serviços, é importante considerar fatores tais como importância do equipamento, item ou sistema, o tipo de manutenção, requisitos devido a datas, e a quantidade de tempo que o serviço aguardando programação irá levar.

***Medidas de Desempenho:*** Órgãos de manutenção bem sucedidos regularmente medem seu desempenho através de várias formas. Análise de desempenho contribui para a eficiência do departamento de manutenção e são essenciais para revelar o tempo de manutenção do equipamento, peculiaridades no comportamento operacional do órgão em questão, desenvolvimento de planos para manutenções futuras, e assim por diante.

**Manutenção Preventiva (MP):** A manutenção preventiva é um importante componente da atividade de manutenção. A MP pode ser descrita como o cuidado e os serviços de indivíduos envolvidos com a manutenção para manter equipamentos e instalações em estado operacional satisfatório pelo provimento sistemático de inspeções, detecção e correção de falhas incipientes. Três fatores principais formam o requisito e escopo dos esforços da MP: confiabilidade do processo, economia, e conformidade com padrões. Dentro de uma organização, a MP contabiliza usualmente pela maior parte do total dos esforços da manutenção. Alguns dos principais objetivos da MP são: melhorar a vida produtiva do ativo de equipamentos; reduzir as falhas em equipamentos críticos; permitir melhor planejamento e programação dos serviços de manutenções necessárias; minimizar a produção de perdas devido à falhas em equipamentos; e promover saúde e segurança ao pessoal da manutenção.

De tempos em tempos os programas de MP em órgãos de manutenção acabam em falhas (isto é, perdem o suporte gerencial superior) porque seus custos são injustificáveis ou levam um tempo significativo para mostrar resultados. Isso enfatiza porque toda MP tem que ter um custo efetivo. O mais importante princípio para manter um contínuo suporte gerencial é: “Se não for economizar dinheiro, não faça!”.

São sete os elementos da MP e cada elemento é discutido abaixo:

1. *Inspeção:* Vistoria periódica em equipamentos ou itens para determinar suas condições de serviço pela comparação de suas características físicas, elétricas, mecânicas, etc., (quando aplicável) com padrões esperados;
2. *Conservação (Servicing):* Limpeza, lubrificação, carga, abastecimento, etc., de equipamentos ou itens periodicamente para prevenir a ocorrência de falhas incipientes;
3. *Aferição ou Calibração:* Determinação periódica de valores de características de um equipamento ou item pela comparação com um padrão; consiste da comparação de dois instrumentos, um dos quais é um padrão com exatidão conhecida, para detectar e ajustar qualquer discrepância na exatidão dos parâmetros do equipamento/item sendo comparados com os valores estabelecidos pelo padrão;
4. *Testes ou Ensaios:* Exames periódicos para determinar as condições de serviço e detectar degradações de naturezas elétricas e mecânicas;
5. *Alinhamento:* Execução de mudanças em elementos variáveis específicos do equipamento ou item com propósitos de atingir o desempenho ótimo do sistema.
6. *Ajustagem:* Regulagem periódica em elementos variáveis específicos do equipamento ou item com propósitos de atingir a performance ótima do sistema;

7. *Instalação*: Substituições periódicas de equipamentos ou itens com vida limitada ou experimentando degradação por uso ou tempo, para manter a tolerância especificada para o sistema.

**Manutenção Corretiva (MC)**: Apesar de todos os esforços feitos para fazer os sistemas de engenharia tão confiáveis quanto possíveis, através de projetos, de MP, etc., de tempos em tempos eles falham e conseqüentemente são reparados para o seu estado operacional. Assim, reparos ou manutenções corretivas (MC) são outros importantes componentes da atividade de manutenção. MC pode ser definida como uma ação remediadora realizada, devido à falha ocorrida ou deficiências descobertas durante uma MP, para reparar um equipamento ou item para seu estado normal de operação. Usualmente, MC é uma ação de manutenção não programada, basicamente composta de manutenções não preditivas necessárias, que não podem ser planejadas nem programadas com base na sua ocorrência em um determinado tempo. A ação requer atenção urgente que tem que ser adicionada, integrada com, ou em substituição a serviços programados previamente. Isso incorpora a conformidade com mudanças no campo das “ações de prontidão”, a retificação de deficiências encontradas durante a operação do equipamento ou item, e o desempenho de ações de reparos devidos a incidentes ou acidentes. Uma parte substancial dos esforços globais da manutenção é gasta com a MC, e por isso é um importante fator na eficiência do órgão de manutenção.

A MC pode ser classificada em cinco grandes categorias, a saber:

1. *Reparos*: O equipamento ou item com falha é restaurado para seu estado normal de operação;
2. *Reconstrução*: está concentrado na restauração de um item para um padrão tão próximo quanto possível ao estado original em desempenho, expectativa de vida, e aparência. Isso é conseguido através de desmontagem completa, exame de todos os componentes, reparos e substituições de partes gastas ou inutilizadas conforme a especificação original e tolerâncias de fabricação, e remontagem e testes segundo normas de procedimento da produção original;
3. *Revisão*: Restauração de um item para o seu estado útil total, conforme os padrões de uso da manutenção;
4. *Salvamento*: Esse elemento de MC se refere ao descarte de material não reparável e ao uso de material salvado de equipamentos ou itens não reparáveis em futuros programas de reparos, revisões, ou de reconstruções.

5. *Conservação (Servicing)*: pode ser necessário por causa da MC, por exemplo, reparo de máquina pode levar a reenchimento do carter, soldagem, etc. Um outro exemplo poderia ser que a substituição de um cilindro de ar possa requerer recarga do sistema.

**Registros dos Equipamentos:** desempenham um papel crítico na eficácia e eficiência do órgão de manutenção. Usualmente, os registros de equipamentos são agrupados sob quatro classificações: serviços de manutenção realizados, custos de manutenção, inventário, e arquivos. A categoria dos serviços de manutenção realizados contém a documentação cronológica de todos os reparos e manutenções preventivas realizadas durante a vida em serviço do item até o presente. A categoria dos custos de manutenção contém perfis históricos e acumulação de mão-de-obra e materiais por itens. Usualmente, as informações do inventário são fornecidas por almoxarifados e departamentos de contabilidade. A categoria do inventário contém informações tais como número de patrimônio, tamanho e tipo, custo de compra, data de fabricação ou aquisição, fabricante, e localização do equipamento ou item. A categoria dos arquivos inclui manuais de serviço e operação, garantias, desenhos, e assim por diante. Registros dos equipamentos são úteis na procura de novos equipamentos ou itens para determinar tendências de desempenho operativo, diagnosticar falhas, tomada de decisão entre substituições ou modificações, investigação de ocorrências, identificação de áreas de interesse, realização de estudos de confiabilidade e manutenibilidade, e condução de estudos de projeto e custo de ciclo de vida

### **3.3 O Processo Manutenção e o Diagrama de Causa e Efeito**

O ponto crucial da proposta dessa dissertação é sua transcendência às empresas, isto é, o modelo deve ser aderente à estrutura organizacional de qualquer empresa. Para atender esse quesito o modelo deve contemplar apenas o que há de comum entre os processos de manutenção e desconsiderar as suas diferenças e peculiaridades.

A figura 3.5 apresenta o mais alto nível de abstração do *processo de manutenção*. É interessante observar que esse nível de abstração é relativo, pois ele pode ser aplicado desde a um órgão regional de manutenção de uma determinada empresa, como à manutenção de uma empresa como um todo e até mesmo ao conjunto de todas as áreas manutenção das empresas do sistema elétrico interligado. Essa relatividade é importante porque é o primeiro passo para se atingir a transcendência do modelo.

Observam-se na figura 3.5 que as entradas do *processo manutenção* são os insumos entregues pelos fornecedores, e as saídas são os serviços prestados ao cliente.

Como fornecedores tem-se o projeto, que disponibiliza à manutenção os desenhos esquemáticos das instalações, os catálogos dos equipamentos projetados, protótipo de equipamentos para testes em laboratório, peças reservas e sobressalentes, e também treinamento das equipes de manutenção nos fabricantes dos equipamentos. Esses insumos são pré-requisitos essenciais para a manutenção desempenhar sua função. Outro fornecedor é a construção que entrega a obra para a manutenção realizar os testes de recepção. A qualidade desses insumos influi significativamente na qualidade da manutenção.

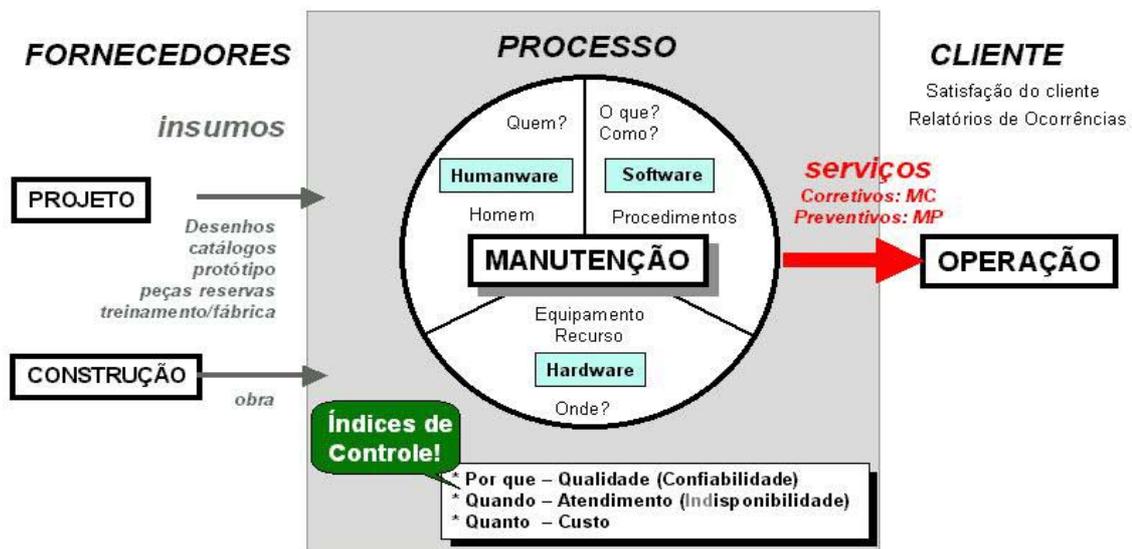


Figura 3.5 - O Processo Manutenção

O cliente do *processo manutenção* é a área de operação que recebe fundamentalmente os serviços de manutenção preventiva e corretiva. Uma boa medida da satisfação do cliente pode ser obtida pelos seus relatórios de ocorrência emitidos pelos órgãos de operação do sistema elétrico.

O objetivo fundamental do *processo manutenção* é atender bem o seu cliente – a operação – que necessita de máxima confiabilidade e disponibilidade de equipamentos e instalações. Essas necessidades são supridas pelas saídas do processo manutenção que são os serviços de manutenção preventiva e corretiva.

Conforme mostrado na figura 3.5, o *porquê* do processo manutenção é otimizar a confiabilidade dos equipamentos; o *quando* executar a manutenção tem o objetivo de reduzir

a indisponibilidade dos mesmos e , evidentemente, o *quanto* se refere a realizar os serviços de manutenção pelo menor custo possível.

Para avaliar esses conceitos é necessário medi-los de forma direta ou indireta. Assim, faz-se então necessário estabelecer itens de controle que forneçam medidas, em valores numéricos, para expressar essas grandezas, o que será apresentado mais à frente nesse capítulo.

Ainda na figura 3.5 observa-se que o processo manutenção é constituído de três elementos básicos:

1. *Hardware*: representado pelos equipamentos e recursos materiais, caracterizando onde serão realizados os serviços de manutenção;
2. *Software*: representado pelos procedimentos, também entendidos como os métodos, ou a maneira de fazer os serviços de manutenção, e caracterizando o “que fazer” e o “como fazer” esses serviços;
3. *Humanware*: representado pelos homens ou pessoas, caracterizando quem executará os serviços de manutenção.

Então, para melhorar a qualidade intrínseca ao processo manutenção, tem-se que melhorar o *hardware*, o *software* e o *humanware*.

Para melhorar o ‘hardware’ é necessário fazer ‘aporte de capital’. Havendo capital, pode-se realizar melhorias ou substituir qualquer equipamento do sistema e com isso inegavelmente manter a qualidade da manutenção e confiabilidade do sistema elétrico. Mesmo que só se intervenha no hardware, sem se preocupar com o *software* e o *humanware*, consegue-se atingir os objetivos, obviamente a um custo maior. O problema é que atualmente os recursos financeiros estão cada vez mais escassos, e fazer melhorias e substituições em equipamentos à revelia de uma análise minuciosa do *software* e do *humanware* não é mais aceitável.

Para melhorar o ‘humanware’, isto é, o ser humano é necessário fazer ‘aporte de conhecimento’. O conhecimento pode, convencionalmente, ser levado às organizações de várias maneiras: pelo recrutamento de pessoal especializado, pelo treinamento no trabalho, pelo auto-aprendizado, pela assistência técnica de outras empresas, pelo auxílio de consultores, etc. Mas, ‘o aporte’ de conhecimento feito por quaisquer destas maneiras é pontual, individual e ineficaz do ponto de vista sistêmico. Como garantir que um mesmo conhecimento de manutenção chegue igualmente a todo pessoal técnico das empresas? A proposta dessa dissertação é compartilhar o conhecimento através de uma “Rede de Manutenção Especializada na Web”.

Como melhorar o ‘software’, isto é, os procedimentos e os métodos de manutenção? O significado de ‘software’, usado aqui, pode também ter o sentido de programa de computador, mas neste caso a ênfase é dada ao seu ‘conteúdo’, isto é, ao ‘que fazer’ e ao ‘como fazer’ contido dentro dele. Os procedimentos e métodos de manutenção só podem ser melhorados através do intercâmbio de experiências entre pessoal técnico. Esse pessoal técnico pode absorver ou desenvolver novos métodos ou procedimentos. Não é possível simplesmente comprar procedimentos, métodos e em última análise ‘software’ prontos e acabados. Portanto, o desenvolvimento do ‘software’ depende do desenvolvimento do ‘humanware’. Aqui também o processo é pontual, individual e ineficaz do ponto de vista sistêmico. A solução adotada nesta proposta é o acúmulo das experiências individuais em uma base informatizada de conhecimentos para compartilhamento entre o pessoal técnico de manutenção através de um sistema integrado de manutenção [18].

A partir do conceito de que um “processo pode ser definido como um conjunto de causas que provoca um ou mais efeitos (produtos e/ou serviços)” [2], existe outra forma de representar um processo, chamada de ‘Diagrama de Causa e Efeito’, onde é mostrada a correlação entre conjunto de causas de um processo e os seus respectivos efeitos. Este diagrama é também chamado de Diagrama de Ishikawa ou Diagrama Espinha de Peixe.

O Modelo aqui proposto estabelece a aplicação desse diagrama especificamente ao processo manutenção. Como mostrado na figura 3.6, ele é composto basicamente de duas partes:

1. *Efeitos*: é a parte externa ao processo e se refere aos itens de controle do processo manutenção, definidos mais adiante nesse capítulo;
2. *Causas*: é a parte interna ao processo.

O Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta muito importante nesta abordagem, pois é a partir dela que se mantém sob controle todo o processo manutenção através do monitoramento dos efeitos sobre os itens de controle.

Um determinado efeito do processo pode ser provocado por uma série de causas concomitantes. Para exemplificar, suponha que um dos índices de controle, mostrados na figura 3.6, sofra um aumento de 30% acima do valor previamente estimado para esse item de controle em uma determinada empresa. As causas deste aumento podem ser problemas nos equipamentos, nos recursos, nos homens, nos procedimentos ou até mesmo numa associação simultânea de quaisquer destes. Numa análise com um maior grau de profundidade poder-se-ia detectar, por exemplo, a existência de um problema de envelhecimento em determinada família de equipamentos.

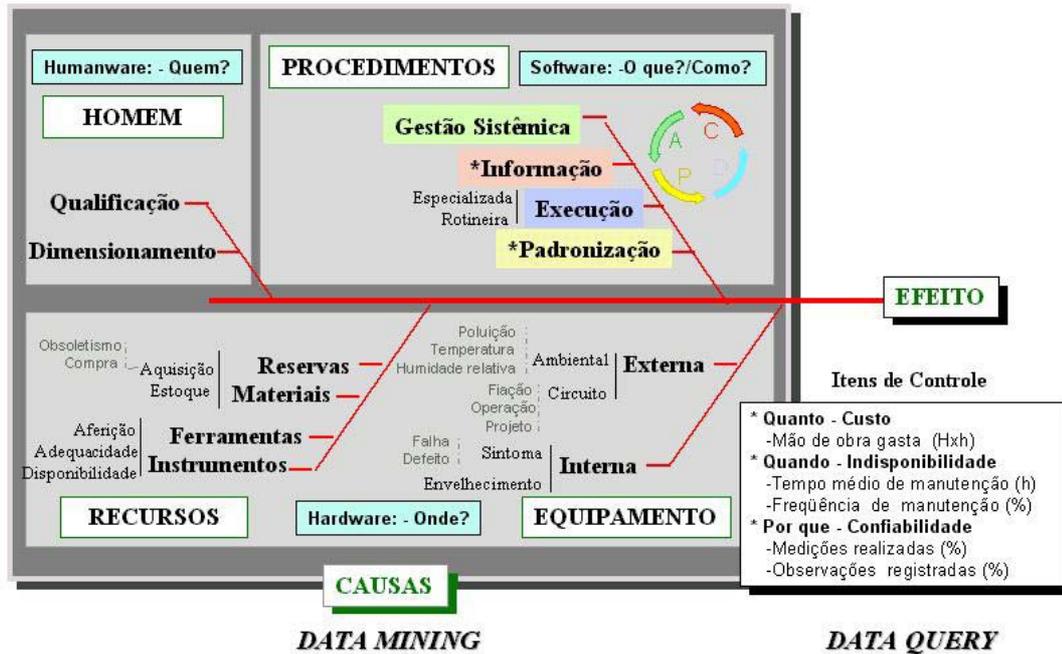


Figura 3.6 - O Diagrama de Causa e Efeito

Conforme mostrado na figura 3.5, o processo manutenção pode ser dividido internamente em três partes básicas: hardware, software e humanware. De forma análoga, na figura 3.6 é mostrada a parte interna relativa às causas do processo delimitadas nestes três setores. Observa-se que o 'hardware' corresponde aos equipamentos e aos recursos, o 'software' aos procedimentos e o 'humanware' à mão-de-obra.

A ramificação dos 'procedimentos' mostrados na figura 3.6 é o 'calcanhar de Aquiles' de todo o processo, isto é, se não funcionar eficientemente, não se terá controle do processo manutenção. Isto é devido ao fato do cálculo dos itens de controle ser realizado nessa área, e porque é nela que reside o 'controle do processo manutenção'. Esse 'controle do processo' é implementado através do ciclo PDCA[2] de controle de processos. Ciclo esse que é composto de quatro fases básicas: planejar ('Plan'), executar ('Do'), verificar ('Check') e atuar corretivamente ('Action'). Esses termos têm o seguinte significado:

1. Planejamento (P) – esta é a fase do estabelecimento das 'diretrizes de controle' e consiste em:
  - a. Estabelecer metas sobre os itens de controle, que são faixas de valores desejados para os itens de controle;
  - b. Estabelecer os métodos ou procedimentos padronizados necessários para se atingir as metas;

No modelo proposto para o processo manutenção corresponde ao processo '*Padronização*';

2. Execução (D) – fase da execução das tarefas exatamente como prevista pelos padrões e da coleta de dados para verificação do processo. Nesta fase é essencial o treinamento no trabalho decorrente da fase de planejamento. No modelo proposto para o processo manutenção corresponde ao processo também chamado '*Execução*';
3. Verificação (C) – a partir dos dados coletados na execução, compara-se o resultado alcançado com a meta planejada. No modelo proposto para o processo manutenção corresponde ao processo '*Informação*';
4. Atuação corretiva (A) – esta é a fase onde se detecta os desvios e atua-se no sentido de fazer as correções necessárias. No modelo proposto para o processo manutenção corresponde ao processo '*Gestão Sistêmica*', e é entendido como “aprendizado contínuo”.

### 3.4 Macro-estrutura da Manutenção

O ramo dos 'procedimentos' da figura 3.6, no qual está toda a atividade gerencial do processo manutenção, é mostrado em detalhes na figura 3.7 que mostra a macro-estrutura da manutenção. Pode-se observar que o processo manutenção é composto de diversos ciclos PDCA's. O ciclo PDCA maior e mais externo corresponde às atividades de engenharia de manutenção sistêmica, e os vários PDCA's internos ao sub-processo execução correspondem às atividades de execução dos serviços de manutenção.

Essa representação da macro-estrutura da manutenção é típica para as áreas de manutenção das empresas do setor elétrico, pois está orientada aos processos e abrange os seus níveis operacional, gerencial e estratégico. Nessa representação são identificados os quatro processos chaves do modelo proposto, que na realidade podem estar centralizados, distribuídos ou mesmo ausentes na estrutura organizacional específica de cada empresa, a saber:

1. (P) Processo de *padronização* e suporte técnico às equipes de execução da manutenção, que é normalmente uma atribuição dos órgãos de engenharia de manutenção em nível de tecnologia. É nesta fase que se inicia todo o controle do processo. É de fundamental importância que todos os métodos, isto é, 'O que fazer?' e o 'Como fazer?', estejam eficientemente padronizados para garantir que todo o tratamento sistêmico e estatístico seja realizado sobre uma referência comum;

2. (D) Processo de *execução* dos serviços de manutenção, obviamente uma atribuição dos órgãos de execução. Caracteriza-se pelas rotinas diárias, ou melhor, todas as atividades rotineiras e especializadas dos serviços de manutenção, que podem estar centralizadas, descentralizadas ou terceirizadas, dependendo da política de manutenção adotada. A padronização também tem que garantir a referência comum para qualquer política de manutenção vigente;

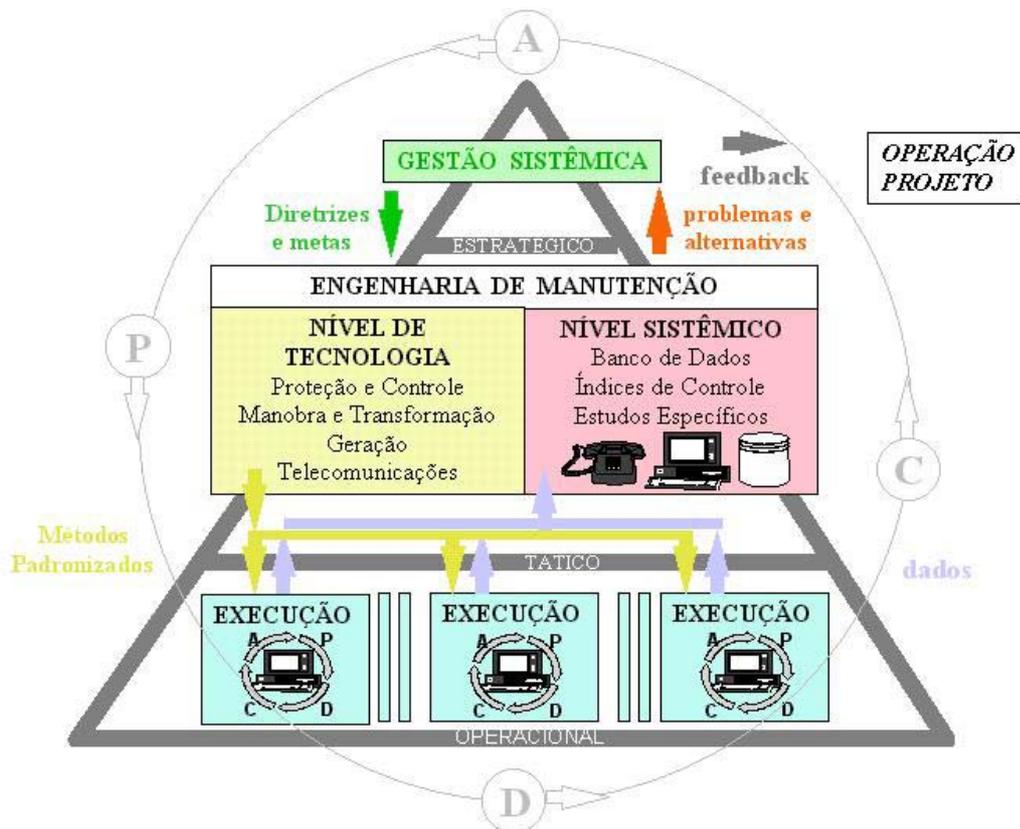


Figura 3.7 - Macro-estrutura da Manutenção

3. (C) Processo de tratamento das *informações* obtidas na execução dos serviços de manutenção e que são de responsabilidade da engenharia de manutenção sistêmica. Aqui são reunidos em um banco de dados central, todos os dados obtidos nas diversas manutenções realizadas. A partir dessas informações são calculados sistematicamente os itens de controle estabelecidos, levantados os problemas e propostas as alternativas sob o enfoque sistêmico da manutenção;
4. (A) Processo de *gestão sistêmica* de responsabilidade de órgãos com poder para a tomada de decisão. Nesse processo há a participação das diversas áreas internas e externas à manutenção, as quais terão a oportunidade de participar dos debates e colocar seus pontos de vista. Além das alternativas propostas pela engenharia de

manutenção, nesta fase são também considerados os aspectos econômicos, gerenciais, políticos e estratégicos do problema. Assim, é a partir dessa análise conjunta com as diversas áreas envolvidas - manutenção, operação, construção, compras e projeto, e baseado em ‘fatos e dados’ oriundos principalmente da área de manutenção que se tomará a decisão do que fazer para solucionar os problemas, dentre os quais e, por exemplo, realizar melhorias ou substituições de equipamentos.;

É interessante observar que a área de engenharia de manutenção é na realidade composta de duas áreas distintas, independentes e com perfis profissionais completamente diferentes:

1. Os profissionais da área de engenharia de manutenção em nível de tecnologia são engenheiros e/ou técnicos de manutenção especialistas em manutenção de equipamentos do sistema elétrico, normalmente com bastante experiência. Sua função é estudar a filosofia de operação dos equipamentos e baseado em sua experiência e nos catálogos dos fabricantes, propor e/ou revisar os métodos padronizados de manutenção.
2. Os profissionais da área de engenharia de manutenção em nível sistêmico são profissionais com experiência em manutenção, em informática, estatística e em controle da qualidade. Sua função é a análise dos itens de controle sistêmicos da manutenção, investigações estatísticas das causas de problemas no processo de manutenção e a realização da ‘garimpagem de dados’ (data mining) no banco de dados da manutenção, no intuito de descobrir relações entre os dados que possam ser convertidos em melhoria da qualidade e redução dos custos dos serviços de manutenção.

Uma vez delineada essa macro-estrutura ideal do processo manutenção percebe-se os porquês de antigos problemas vividos ainda hoje pela grande maioria das áreas de manutenção das empresas, que em última análise podem ser sintetizados em falta de métodos padronizados e ausência de um fluxo de informações para a engenharia de manutenção.

### **3.5 Execução dos Serviços e Tipos de Serviços**

A figura 3.8 mostra uma das rotinas diárias do processo de execução da manutenção em um órgão genérico responsável por manutenção de uma empresa. Como nas figuras anteriores, esse processo de execução da manutenção está em um nível de abstração tal que pode ser

aplicado a qualquer empresa independentemente de sua estrutura organizacional. É neste nível operacional da manutenção que se utilizam as ferramentas computacionais de forma direta e efetiva para informatizar alguns processos da execução da manutenção.



Figura 3.8 - Execução dos Serviços

O modelo proposto não exige nem propõe que haja uma informatização total do processo manutenção. O escopo da informatização se limita no máximo à região sombreada da figura 3.8, que é a área técnica do nível operacional. Pode-se observar que a área gerencial desse nível operacional, representado pelo processo de programação dos serviços, está fora do escopo de informatização necessário ao modelo proposto, e que esse processo de programação dos serviços pode ser manual ou informatizado por qualquer outro sistema de informação existente no mercado e adotado pelas empresas.

O modelo diz que é necessário e suficiente informatizar no mínimo o processo de impressão de folhas de testes e instruções de manutenção como também o processo de cadastramento dos resultados de ensaios e medições realizadas nos serviços de manutenção. Essa informatização pode ser aplicada em qualquer uma das políticas de manutenção adotadas, isto é, manutenções descentralizadas, centralizadas, e/ou terceirizadas. Além disso, o modelo permite também uma extensão da abrangência dessa informatização, de modo a contemplar também a execução dos serviços de forma totalmente automatizada, como já acontece na manutenção dos equipamentos de proteção quando são utilizados os atuais instrumentos de testes inteligentes que viabilizam essa automação.

A figura 3.9 apresenta uma visão mais detalhada dos processos ‘programação dos serviços’ e ‘execução’, porque é importante estar bem explícito alguns conceitos utilizados pelo modelo proposto e que têm interpretações diversas nas áreas de manutenção das empresas. Conforme pode se observado, existem três níveis de manutenção:

- *NÍVEL 1*: são as inspeções, realizadas normalmente com os equipamentos em serviço, isto é, não geram indisponibilidade dos mesmos. Essas inspeções são em determinados casos realizadas pelos operadores das instalações. São compostas por dois tipos:
  - *Inspeção visual*: como exemplos existem os contadores de operação de disjuntores, os alarmes dos painéis de controle, etc;
  - *Inspeção por instrumentos*: como as análises de vibrações, análise de óleo isolante, termovisão, etc;
- *NÍVEIS 2 e 3*: são as manutenções realizadas com os equipamentos fora de serviço, isto é, geram indisponibilidade dos mesmos. São chamadas de manutenções de nível 2 as manutenções onde não há desmontagem do equipamento, e em caso contrário são chamadas de nível 3. São compostas por dois tipos:
  - *Periódicas*: Também chamadas de *sistemáticas* e *não sintomáticas*. Tratam das manutenções em que o motivo de sua realização é o tempo transcorrido entre duas manutenções consecutivas, o qual é estabelecido empiricamente;
  - *Aperiódicas*: Também chamadas de *não sistemáticas* e *sintomáticas*. São as manutenções em que o motivo é um sintoma, que pode ser uma *falha* (o equipamento é desligado pela proteção) ou um *defeito* (o equipamento continua em funcionamento). Normalmente o sintoma é detectado nas inspeções de nível 1, de onde é feito um acionamento para a realização de manutenções do nível 2 ou 3;

Uma confusão muito comum é chamar as manutenções periódicas de preventivas e as aperiódicas de corretivas. Para haver uma corretiva tem que existir uma falha ou um defeito, caso contrário é uma preventiva. Conforme mostrado, só se tem certeza se ocorreu uma preventiva ou uma corretiva após a execução dos serviços de manutenção. Na maioria das vezes a periódica é concluída como preventiva, e a aperiódica como corretiva. Mas, há exceções. Se em uma manutenção programada como periódica for encontrado um defeito, uma falha ou uma falha oculta, ela é concluída como uma corretiva. Por outro lado, se em uma manutenção aperiódica não for encontrado nenhum defeito e nenhuma falha, ela é concluída como uma preventiva. Esses conceitos são muito importantes quando se está

calculando índices de manutenção como a taxa de falhas a partir do banco de dados da manutenção.

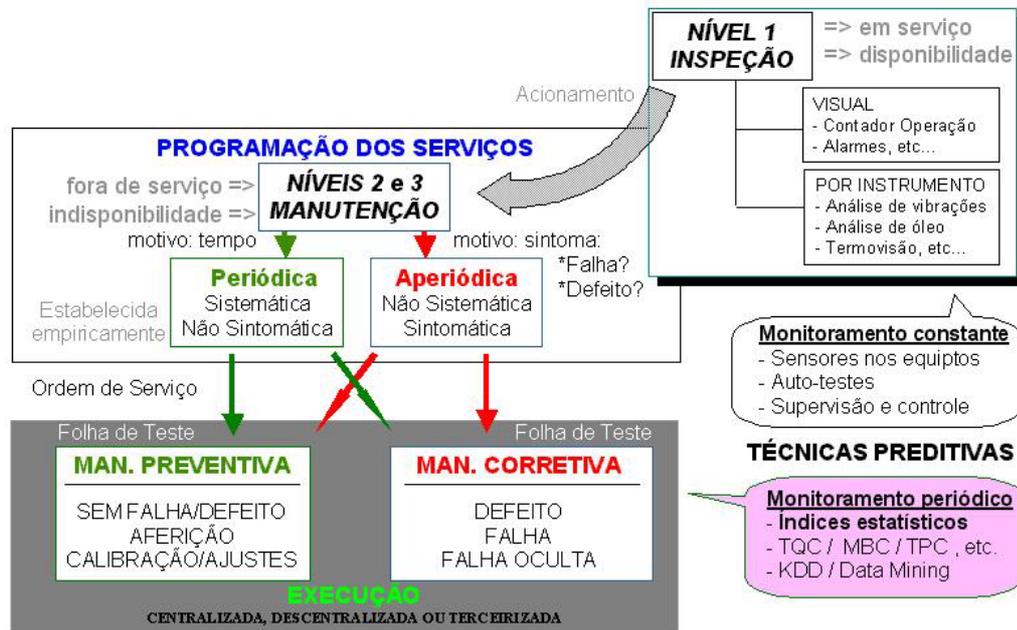


Figura 3.9 - Tipos de Serviços de Manutenção

A partir da década de 90, impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico, começaram a surgir as assim chamadas ‘manutenções preditivas’[13]. São definidos dois tipos:

- *Monitoramento constante ou on-line*: caracterizados pela instalação de sensores nos equipamentos, sistemas de auto-testes, supervisão e controle, etc. Esse tipo de monitoramento tem sido um tema cada vez mais recorrente na literatura especializada dos dias de hoje. [18],[22],[23].
- *Monitoramento periódico ou off-line*: caracterizados pela análise dos resultados obtidos nas manutenções e armazenados em banco de dados. Como exemplo tem-se o TQC – Total Quality Control, MBC – Manutenção Baseada em Confiabilidade (RCM – Reliability Centered Maintenance), TPC – Total Productivity Control, diversos índices estatísticos de manutenção, técnicas de descoberta de conhecimento em banco de dados (KDD – Knowledge Discovering in Database), incluindo a garimpagem de dados (Data Mining), etc. Com raríssimas exceções, praticamente todas as metodologias acima tem como maior grau de dificuldade a fase de levantamento de dados e a criação de um bando de dados consistente, padronizados e sob uma referência comum.

Diversos termos novos têm surgido como “manutenção preditiva”, “manutenção proativa”, etc. Mas, na essência, o que tem sido executado na prática é a manutenção corretiva, que

ocorre após uma falta, e a preventiva antes de uma falta [21]. Entretanto, tem crescido a utilização de “*técnicas preditivas*” para se encontrar o momento ótimo de realizar a manutenção preventiva antes da ocorrência de uma falta [19].

Conforme mencionado anteriormente, o modelo estabelece que é necessário e suficiente informatizar, no mínimo, o processo de impressão de *folhas de testes e instruções de manutenção*, como também o processo de *cadastramento* dos resultados de ensaios e medições realizadas nos serviços de manutenção. Assim, é necessário que o modelo proposto especifique um formato de *folha de testes* e sua respectiva *instrução de manutenção* em um nível de abstração tal que seja comum para qualquer tipo de equipamento. As diferenças e detalhes específicos de cada modelo de equipamento são conteúdos de campos da base de conhecimento do “sistema especialista” que são utilizados no processo de montagem da folha de testes para o equipamento selecionado.

A figura 3.10 mostra uma folha de testes padronizada para um relé de proteção modelo CDG-23AF485AX6. Foi escolhido um equipamento de proteção como exemplo porque eles contemplam todos os requisitos exigidos pelo modelo proposto e permite explorá-los didaticamente de forma simples e objetiva. Nenhum outro equipamento, como transformadores, disjuntores, chaves, linhas de transmissão, etc., permitiria uma exemplificação tão completa.

Tudo que está na cor preta são rótulos constantes de formatação. Essas informações são as mesmas em todas as folhas de testes impressas, e sua abstração está em nível do equipamento, ou seja, esses campos de dados existem para qualquer que seja o equipamento considerado. Esse formato é composto de quatro partes, a saber: *identificação*, *dados da manutenção*, *ajustes e configurações* e *medições e ensaios*.

Todos os dados que estão na cor azul são comuns para um mesmo modelo de equipamento e por isso devem ser cadastrados apenas uma vez por quem faz a padronização do equipamento. Isso é necessário para propiciar um padrão de melhor qualidade e reduzir significativamente o volume de digitação, realizada pelos usuários, no processo repetitivo de cadastramento de todos os equipamentos existentes para cada um dos modelos.

Todos os dados que estão na cor vermelha são específicos de cada um dos equipamentos cadastrados e que dependem do ponto operativo em questão.

O que está em verde são os limites admissíveis e os valores esperados que são calculados automaticamente pelo sistema utilizado, a partir de algoritmos previamente inseridos em sua

base de conhecimento na fase de padronização, e dos valores de ajustes cadastrados localmente. Aqui se encontra a parte inteligente do “sistema especialista”, pois além de realizar todos os cálculos necessários, ele toma decisões, como os especialistas o fariam, na construção da folhas de teste que dependem dos ajustes e configurações locais.

Os campos em branco dos *valores encontrados* e dos *valores deixados* são os locais para o preenchimento dos resultados das medições realizadas. Esses são os dados do tipo numérico da manutenção. É a partir desses dados que é calculado o *índice medições realizadas*, conforme estabelecido mais à frente.

Sistema Especialista em Manutenção		
Folha de Testes		Data: 30/10/2006
*****		
<b>IDENTIFICAÇÃO:</b>	Empresa: <b>CEMIG</b>	Instalação: <b>Neves 1</b>
Modelo: <b>CDG-23AF485AX6</b>	No.Ident.: <b>RSOC37660-8</b>	No.Operação: <b>2K50/51A</b>
Tipo: <b>CDG</b>	Equipamento: <b>Relé Sobrecorr</b>	No.Série: <b>2XCV123</b>
Catálogo: <b>MS-5078</b>	Função: <b>51</b>	Circuito: <b>LT Taquaril</b>
Fabricante: <b>English Electric</b>	Tecnologia: <b>Eletromecânico</b>	Painel/Cubículo: <b>3R</b>
=====		
<b>DADOS DA MANUTENÇÃO:</b>	Tipo: <input type="checkbox"/> IMP <input type="checkbox"/> IMC <input type="checkbox"/> IRC	
Ordem Serviço: _____	Data Inicial: ___/___/___	Data Final: ___/___/___
Empresa: _____	Órgão: _____	Hxh : min ___ x ___ :
Supervisor: _____	Executante: _____	Executante: _____
Observações: Instrumentos de Testes:		
=====		
<b>AJUSTES E CONFIGURAÇÕES:</b>		
<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor No.OS Data:</b>
A10X191	TC / relação / #	400 / 5 OP/EG2-0020/96 07/08/96
A300511	Unidade Instantânea / Pick-up / A	20 OP/EG2-0020/96 07/08/96
A400511	Unidade Temporizada / tap / A	4.0 OP/EG2-0020/96 07/08/96
A401091	Unidade Temporizada / dial / #	0.5 OP/EG2-0020/96 07/08/96
=====		
<b>ENSAIOS E MEDIÇÕES: NÍVEL: C2</b>		
<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>L.Inf. L.Sup. V.calc. V.Enc. V.Deix.</b>
E300511	Unidade Instantânea / Pickup / A	18.00 22.00 20.00 [ ] [ ]
E400511	Unid. Temporizada / Pickup / A	3.80 4.20 4.00 [ ] [ ]
E401011	Unid. Temporizada / 2 x tap / s	7.77 8.93 8.35 [ ] [ ]
E401111	Unid. Temporizada / 3 x tap / s	2.98 3.42 3.20 [ ] [ ]
E401211	Unid. Temporizada / 4 x tap / s	1.74 2.00 1.87 [ ] [ ]
E401311	Unid. Temporizada / 5 x tap / s	1.23 1.41 1.32 [ ] [ ]

Figura 3.10 - Folha de Teste Padronizada

O espaço em branco das *observações* na parte dos dados de manutenção é o local para o preenchimento dos dados do tipo caracteres da manutenção. Devem ser preenchidos, com um texto explicativo sobre os problemas encontrados, decisões tomadas, pendências, comentários, etc. É a partir dessas informações que é calculado o índice *observações registradas*, conforme mostrado mais à frente.

A partir dos dados informados nos campos *data inicial* e *data fina* são calculados os índices *tempo médio* e *freqüência de manutenção*. Com os dados informados no campo *Hxh* é calculado o *índice mão-de-obra gasta*, conforme mostrado mais à frente.

A figura 3.11 apresenta uma instrução de manutenção que está associada a uma determinada folha de testes. Cada linha de ensaio existente na folha de testes deve ter um texto correspondente na instrução de manutenção. Esse texto explica passo a passo e de forma clara e sucinta como os ensaios devem ser executados de acordo com o padrão estabelecido.

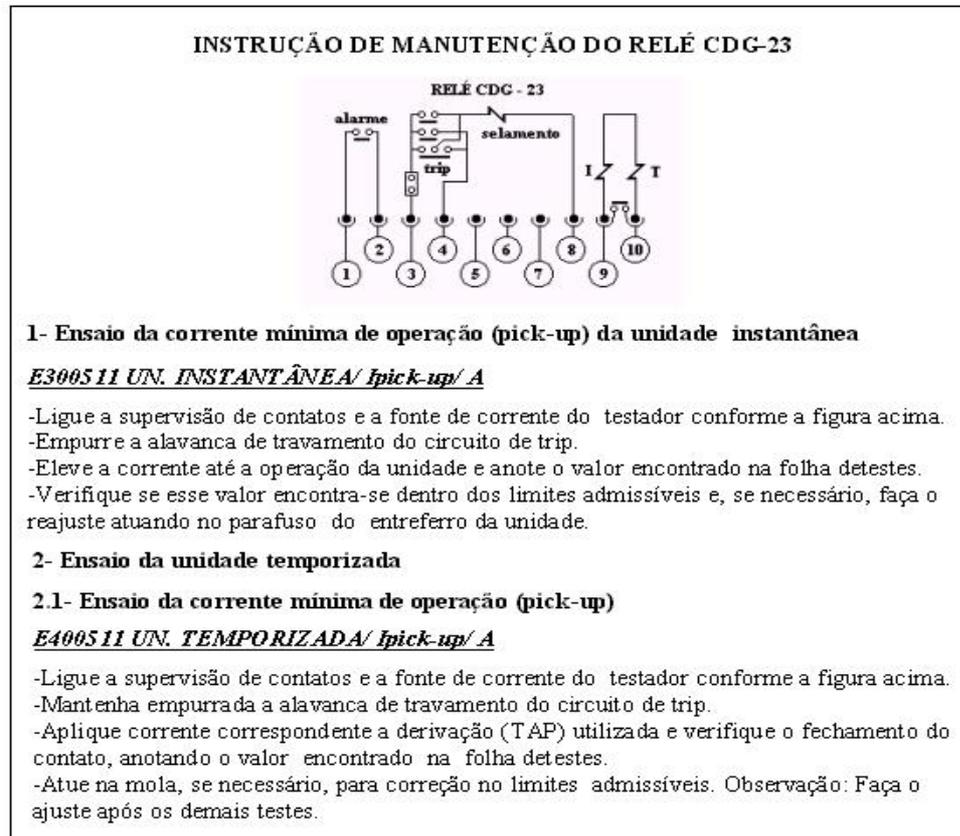


Figura 3.11 - Instrução de Manutenção

Essas instruções devem ter um nível de abstração que as façam ser independentes dos instrumentos de testes a serem utilizados nos ensaios de manutenção, porque existe uma grande diversidade de instrumentos para a implementação de uma mesma função, e o modelo não poderia exigir a utilização de apenas determinados instrumentos de determinados fabricantes.

Assim, se um determinado ensaio padronizado requerer que seja aplicado uma corrente de 10 A pelos terminais 9 e 10 de um relé de proteção, a instrução não explica como obter essa corrente e deixa essa decisão para a equipe de manutenção. Por esse motivo, dentre outros, o modelo proposto não espera que as ferramentas computacionais, por mais inteligentes possam ser, venham substituir as equipes técnicas especializadas.

### 3.6 Índices de Manutenção Sistêmicos

“Itens de controle são índices numéricos e determinísticos estabelecidos sobre os efeitos de cada processo para medir a sua qualidade” [2].

Baseado neste conceito é imperativo que o modelo proposto estabeleça itens de controle sobre os serviços preventivos e corretivos, para se medir a qualidade da manutenção e ter conseqüentemente controle sobre o processo. Esses itens de controle devem ser estabelecidos a partir de algo mensurável e que possua uma unidade de medida. É importante que se tenham poucos itens de controle e que esses sejam simples, objetivos e confiáveis, de forma a serem fáceis de entender, de terem utilidade prática e serem indubitavelmente precisos.

Outro fator importante a ser considerado é que qualquer item de controle é um valor numérico composto de várias parcelas, isto é:

$$\text{Índice} = \sum_{i=1}^n F_i(x_1, \dots, x_m) \quad (3.1)$$

Por exemplo, numa aplicação do modelo proposto de forma sistêmica em todo o setor elétrico, cada uma dessas parcelas originaria-se em diferentes empresas e em diferentes áreas dentro dessas empresas, e daí a obrigatoriedade de:

- Padronizar os métodos de levantamento dos dados distribuídos nas empresas;
- Transferir os dados para um banco de dados central;
- Manter um eficiente sistema de gerenciamento de banco de dados.

Considerando o grau de abstração necessário à sua transcendência, o modelo proposto estabelece os seguintes índices, nas dimensões qualidade, atendimento e custo, para o controle do processo manutenção em nível sistêmico:

1. Dimensão custo:
  - *Mão de Obra Gasta - (Hxh)*
  - *Mão de Obra Média - (Hxh)*
2. Dimensão atendimento:
  - *Tempo Médio de Execução (horas)*
  - *Frequência de Manutenção - (%)*
3. Dimensão qualidade:
  - *Medições Realizadas (%)*
  - *Observações Registradas (%)*

Pode-se observar que uma das vantagens destes itens de controle é que eles são bastante simples e de fácil compreensão. Outra vantagem é que estes itens são válidos nos níveis do sistema elétrico brasileiro como um todo, das empresas, de áreas dessas empresas (como área de proteção, manobra, transformação, etc.), de família de equipamentos dentro dessas áreas e até mesmo de cada modelo de equipamento submetido à manutenção. Essa abrangência destes índices é o que é chamado de abordagem sistêmica em vários níveis ou por estratificação.

Por exemplo, em uma primeira análise, um órgão gerenciador poderia calcular um índice: o item de controle ‘tempo médio de execução’ de manutenção considerando todo o sistema elétrico brasileiro. A partir de uma ‘estratificação’ poderia decompor este valor obtido em parcelas próprias de cada empresa. Saber-se-ia assim, com que parcela cada empresa contribuiria para o valor total, quais empresas gastam mais tempo para executar a manutenção e qual é o valor para cada uma delas. Da mesma maneira, poder-se-ia saber qual a empresa que executa a manutenção no menor tempo possível e qual é esse valor. Com isso estaria estabelecido o ‘benchmark’, isto é, o ‘recorde’ para este item de controle nesse nível de estratificação. Nesse exemplo de aplicação da proposta dessa dissertação de forma sistêmica em todo o setor elétrico, o objetivo seria mostrar a colocação de cada empresa no ‘ranking’ nacional. Cabe às empresas gerenciar os resultados e estabelecer suas estratégias. Assim, as empresas teriam um referencial para se situarem em relação às outras e uma meta a ser alcançada: atingir o ‘benchmark’ ou recorde. Este é o conceito da melhoria contínua da qualidade proposta por qualquer programa de qualidade.

Estes itens de controle, assim estabelecidos, são flexíveis e, utilizando ferramentas computacionais, permitem a identificação de benchmarks ou recordes em qualquer nível de estratificação. Exemplos de possíveis níveis de estratificação:

- Nível 0: Sistema elétrico brasileiro, como um todo;
- Nível 1: Empresas concessionárias de energia elétrica;
- Nível 2: Áreas específicas dessas empresas;
- Nível 3: Famílias de equipamentos dessas áreas das empresas;
- Nível 4: Fabricantes dos equipamentos dessas famílias;
- Nível 5: Modelos de equipamentos desses fabricantes.

O modelo proposto defende a idéia da necessidade de se calcular estes itens de controle sistematicamente, armazenando-os em um ‘*data warehouse*’ e disponibilizá-los via Internet para as empresas de setor elétrico. Obviamente que esta atividade deveria estar a cargo do

ONS que é o órgão coordenador da operação nacional do sistema elétrico, oferecendo-lhe meios se obter um controle eficaz, mesmo em um ambiente de manutenção híbrido, isto é, composto por empresas tanto estatais quanto privadas.

Desta forma, as empresas teriam acesso a informações que retratariam o ‘ranking’ ou a classificação destes itens de controle em vários níveis de abstração e/ou estratificação. Durante as consultas às informações no ‘data warehouse’, as empresas teriam também a possibilidade de escolher o nível de abstração e/ou estratificações utilizando-se um processo de filtragem de dados.

A figura 3.12 resume bem o que foi descrito acima sobre a conveniência dos itens de controle estabelecido pelo modelo proposto. A figura mostra também dois índices bastante utilizados em todo o setor elétrico, o DEC e o FEC. Como se vê, esses são índices globais das empresas e são normalmente calculados pelos órgãos da operação do sistema elétrico, sendo assim impossível realizar estratificações em profundidade para saber como as áreas de manutenção participam de sua composição. Esses dois índices da operação têm os seus correspondentes nos índices estabelecidos pelo modelo proposto. O DEC tem correspondência com o ‘Tempo Médio de Manutenção’ e o FEC com a ‘Frequência de Manutenção’ como será visto mais à frente.

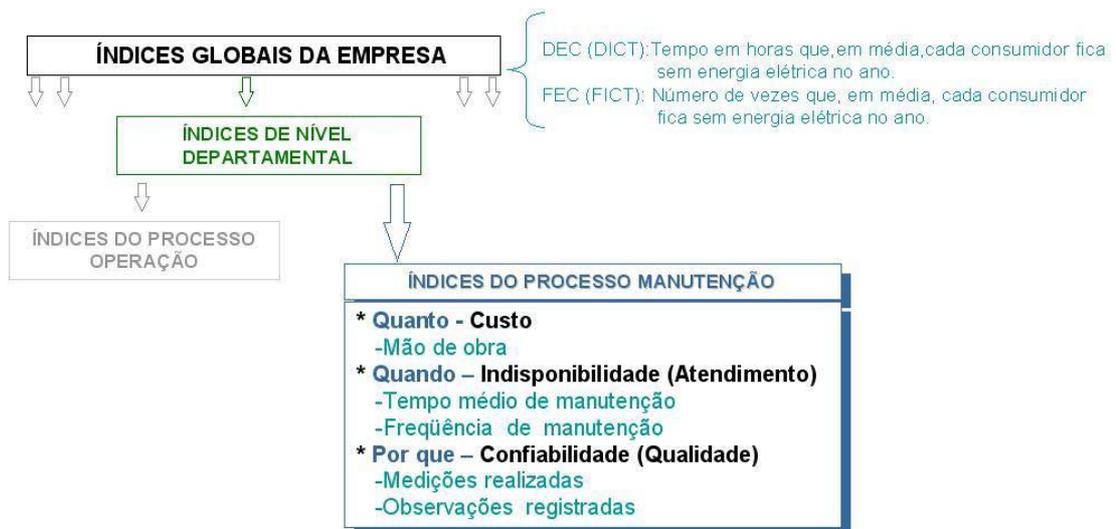


Figura 3.12 - Índices Sistêmicos

Será analisado a seguir cada um dos itens de controle estabelecidos pelo modelo proposto nas dimensões custo, atendimento e qualidade da manutenção.

### Mão de Obra Gasta - (Hxh)

O item de controle ‘mão de obra gasta’, medido em Hxh (Homem-horas), é o somatório de todos os produtos dos tempos gastos na execução pela quantidade de pessoas na equipe executante dos serviços.

Não é o valor real efetivamente gasto, pois é computado apenas o tempo gasto na execução dos serviços, mas é uma ótima estimativa da mão-de-obra e do custo total dos serviços de manutenção. É uma referência comum entre as empresas, pois é independente da burocracia e das distâncias regionais das instalações. A fórmula utilizada para o cálculo da mão-de-obra gasta é:

$$Hxh \text{ gasto} = \sum_{i=1}^n H_i (h_i + (m_i / 60)) \quad (3.2)$$

Onde  $H_i$  é o número de pessoas que compõem a equipe de manutenção e  $h_i$  e  $m_i$  são, respectivamente, as horas e os minutos gastos na execução dos serviços em cada equipamento. Esses três dados são informados naturalmente em campos específicos da folha de testes.

### Mão de Obra Média - (Hxh)

O item de controle ‘mão-de-obra média (Hxh)’ é a média encontrada pela divisão da ‘mão-de-obra gasta’ pelo número de equipamentos submetidos à manutenção ( $Nm$ ).

$$Hxh \text{ médio} = \frac{Hxh \text{ gasto}}{Nm} \quad (3.3)$$

### Tempo Médio de Execução (horas)

O item de controle ‘tempo médio de execução (h)’ é a média dos tempos gastos exclusivamente na execução dos serviços de manutenção em cada equipamento. A Figura 3.13 ilustra como tempo médio de execução é uma das diversas parcelas que compõem o tempo total de indisponibilidade, e é a parcela mais importante por ser intrínseco aos equipamentos, colocando-os sob uma referência comum, independente dos tempos de acionamento, programação, preparação, viagem, etc., que são próprios de cada local. Na figura 3.13 vemos que o tempo de indisponibilidade vai desde a saída do equipamento de serviço até o momento em que ele retorna ao serviço. Esse tempo de indisponibilidade possui um tempo inicial que a operação gasta até acionar a manutenção, o tempo de manutenção propriamente dito, e um tempo posterior em que a operação gasta para voltar com o equipamento em serviço. O tempo de manutenção é composto pelo tempo de preparação, que é bastante variável de instalação para instalação, pois inclui os tempos de programação

dos serviços, viagem, etc., e o tempo de execução que depende apenas do equipamento, da habilidade da equipe de manutenção, dos procedimentos e dos recursos utilizados, de acordo com o diagrama de causa e efeito da figura 3.6.



Figura 3.13 - Tempo de Execução

A equação 3.4 mostra como é calculado o Tempo Médio de Execução (TME). Para cada um dos  $N_m$  equipamentos submetidos à manutenção são calculadas as horas gastas, somadas e o resultado dividido por  $N_n$ .

$$TME = \sum_{i=1}^{N_m} (h_i + (m_i / 60)) / N_n \quad (3.4)$$

O número  $N_m$  de equipamentos submetidos à manutenção pode ser filtrado pelo tipo de manutenção, que pode ser preventiva ou corretiva. A partir deste tempo pode-se obter, por exemplo, um de seus componentes, provavelmente a mais amplamente utilizada medida de manutenibilidade, que é o consagrado índice 'TMPR - tempo médio para reparo (ou MTTR - mean time to repair)', realizando-se apenas uma estratificação (filtragem) dos tempos gastos apenas nas manutenções corretivas (MC). Como uma MC significa que houve uma falha, essa filtragem nos leva ao cálculo clássico do TMPR que é o somatório dos tempos dividido pelo número de falhas.

### Frequência de Manutenção - (%)

O item de controle 'frequência de manutenção (FM)' é a relação entre o número de manutenções realizadas ( $N_m$ ) e o número de equipamentos instalados ( $N_e$ ) em um determinado período (P), conforme mostrado na equação 3.5.

$$FM = 100 Nm / (P Ne) \quad (3.5)$$

Conforme mostrado na figura 3.14 frequência indisponibilidade é maior ou igual a frequência de manutenção, pois uma manutenção implica em indisponibilidade, mas o recíproco não é verdadeiro. No exemplo da figura 3.14 temos uma frequência de quatro indisponibilidades para uma de manutenção no período considerado. Isso se deve ao fato de que um equipamento pode sair de serviço e ser religado manualmente pelo operador ou automaticamente, sem que haja manutenção.



Figura 3.14 - Frequência de Manutenção

O número de equipamentos submetidos à manutenção pode ser filtrado pelo tipo de manutenção, que pode ser preventiva (MP) ou corretiva (MC).

Da mesma forma do item de controle anteriormente apresentado, pode-se obter, por exemplo, uma importante parcela da frequência de manutenção (FM) que é a TF - taxa de falhas (ou FR – Failure rates). Chega-se à fórmula clássica de TF realizando-se uma estratificação (filtragem) das manutenções corretivas (MC), uma vez que corretiva implica em falha no equipamento. A partir da TF obtém-se também o TMEF<sup>1</sup> - tempo médio entre falhas (ou MTBF – Mean time between failures).

Pode-se também obter outra importante parcela da frequência de manutenção que é a ‘Frequência de preventiva’, e que após invertida nos fornece o ‘Tempo médio entre preventivas’ ou a ‘periodicidade’ das manutenções preventivas.

<sup>1</sup> Note que o MTBF é igual ao inverso da TF para o caso da distribuição ser exponencial, pois nesse caso a TF é constante. Para calcular o MTBF é necessário primeiro conhecer o tipo de distribuição por família de equipamento e então calcular, apropriadamente, o seu valor. Mas isso está além do escopo dessa dissertação.

### Medições Realizadas (%)

Medições e ensaios são sempre executados durante manutenções preventivas ou corretivas. Inicialmente, esses ensaios e medições são realizados para verificar o estado em que se encontram os equipamentos e os resultados obtidos nesta fase inicial dos ensaios, que são dados do tipo numérico, são chamados de valores encontrados (VE).

Ao término da realização dos serviços e antes da colocação do equipamento em operação, são realizados os ensaios e medições finais a fim de se assegurar do perfeito funcionamento do equipamento após a intervenção da equipe de manutenção e registrar o estado em que o mesmo foi deixado. Aos resultados obtidos neste momento é dado o nome de valores deixados (VD).

Se VE for igual ao VD significa que não havia necessidade da realização do ensaio de manutenção. Neste caso, foi feita apenas uma aferição, isto é, apenas conferiu-se o valor encontrado (VE). Ao contrário, se VE for diferente de VD significa que o executante atuou no equipamento a fim de tentar corrigir um problema existente. Foi feita uma intervenção no equipamento, podendo ser uma calibração, restauração, substituição, etc.

O item de controle ‘*medições significativas (MS)*’ é a relação entre o número de medições com valores encontrados (VE) diferentes dos valores deixados (VD) e o número total de medições realizadas nos serviços de manutenção. A equação 3.5 apresenta a fórmula de cálculo utilizada.

$$MS \% = 100 N_{VE \neq VD} / MR) \quad (3.6)$$

Este item de controle expressa:

- a. O grau de proximidade entre a data de execução dos serviços de manutenção e o ponto ótimo para a realização dos ensaios e medições;
- b. O grau de validade da repetição de determinados ensaios e medições;
- c. A relação de dependência entre os ensaios e medições e o intervalo de tempo entre manutenções.

Numa análise mais detalhada do comportamento deste item de controle pode-se fazer uso de várias ferramentas de estatística, como a distribuição de frequência, médias e desvios padrões. A figura 3.15 fornece um exemplo de comparação da distribuição de frequência dos valores encontrados (VE) com os valores deixados (VE). Em uma primeira análise, espera-se que os VE's estejam mais afastados do valor médio e, após a manutenção, os VD's mais próximos dela. Porém, um estudo detalhado para determinar os tipos de distribuições de

freqüências para cada equipamento ou item, foge ao escopo desse trabalho, mas é um ótimo tema para trabalhos futuros.

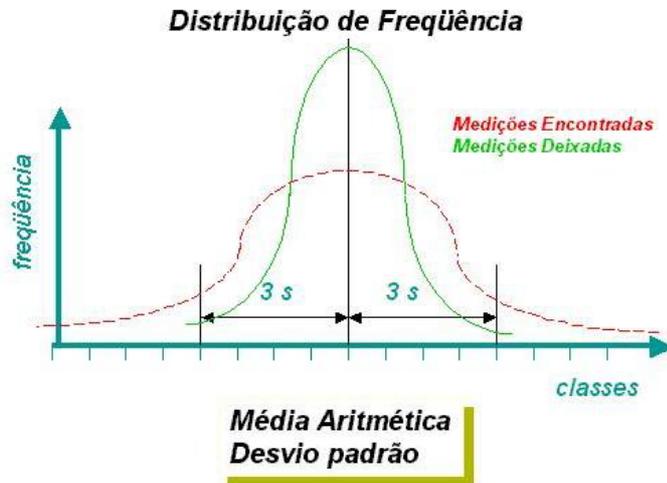


Figura 3.15 - Medições Realizadas

### Observações Registradas (%)

O item de controle ‘observações registradas (%)’ é a relação entre o número de equipamentos com observações registradas ( $N_{OBS}$ ) e o número de equipamentos submetidos a manutenção ( $Nm$ ). A equação 3.7 apresenta a fórmula de cálculo utilizada.

$$OBS \% = 100 N_{OBS} / Nm) \quad (3.7)$$

‘Observações’ é um campo da folha de testes, como também do banco de dados, que contém um texto descritivo com todas as anormalidades, dificuldades e comentários observados pelo executante durante a realização dos serviços de manutenção nos equipamentos.

Em estudos mais aprofundados, realiza-se a tabulação dessas informações, priorizando segundo o princípio de Pareto, mostrado na figura 3.16, e tendo como referência o diagrama de causa e efeito. É importante salientar que essas observações contêm informações não só a respeito dos equipamentos, como também, sobre as demais áreas do diagrama de causa e efeito, isto é, os recursos, os procedimentos e o ser humano (dificuldades pessoais).

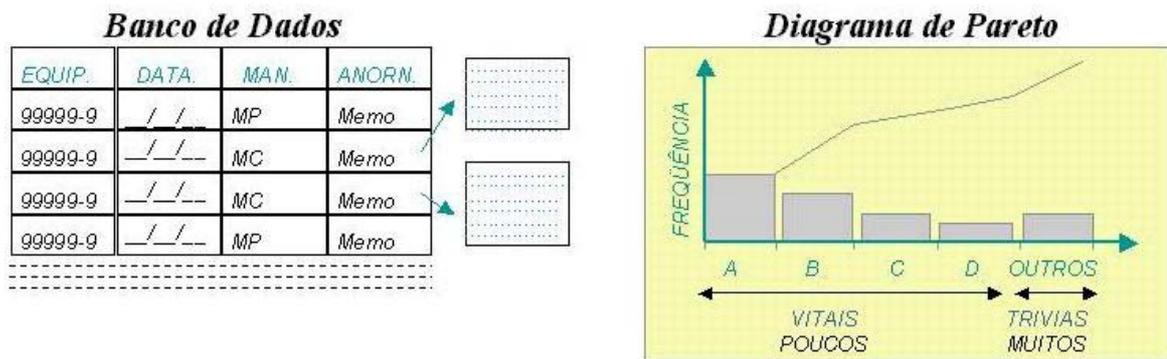


Figura 3.16 - Observações Registradas

Aqui também, esses estudos detalhados para determinação dos equipamentos ou itens prioritários nas instalações do sistema elétrico, fogem ao escopo desse trabalho, mas é um tema de grande interesse para trabalhos futuros.

## *Capítulo 4*

### **4 Ferramentas Computacionais de Suporte**

O termo gestão do conhecimento, muito em voga atualmente, significa ter gerência sobre o conhecimento humano. Mas, o conhecimento humano, além de ser muito vasto e complexo, é um processo cumulativo e gradual em contraposição aos acelerados avanços tecnológicos das últimas décadas. Uma analogia interessante é a comparação desse processo com uma avalanche. E como toda avalanche, essa “avalanche de informações” terá como efeito resultados catastróficos, a menos que alguma decisão seja tomada no sentido de impedir, ou pelos menos minimizar, seus efeitos. Uma legião cada vez maior de pessoas conscientes desse grave problema acredita que a gestão do conhecimento venha a ser a tomada de decisão mais eficiente no combate a esses efeitos desastrosos para um desenvolvimento sustentável da humanidade.

Mas, como gerir algo tão vasto e complexo como o conhecimento humano?

A solução para essa questão foi dada por René Descartes (1596-1650) que criou o método do pensamento analítico, o qual consiste em quebrar fenômenos complexos em pedaços a fim de compreender o comportamento do todo a partir das propriedades de suas partes.

Dentro da visão mecanicista cartesiana, o conhecimento humano é segmentado em diversas áreas específicas de domínio. Por exemplo, dentro da área das ciências biológicas tem-se a medicina que se subdivide em diversas especialidades, como cardiologia, neurologia, ortopedia, etc. De forma análoga e exemplificando dentro do escopo desse trabalho, na área das ciências exatas tem-se a engenharia; dentro da engenharia tem-se o ramo da engenharia de manutenção; dentro da engenharia de manutenção as áreas de proteção, manobra, transformação, etc.

Dentro de cada área do conhecimento existe o *conhecimento acadêmico* e o *conhecimento profissional*, sendo que o conhecimento profissional pode ser desmembrado em *rotineiro* e *especializado*.

Há séculos a gestão do conhecimento acadêmico tem sido realizada satisfatoriamente pelas instituições educacionais. Do ponto de vista educacional é notório o sucesso da humanidade na gestão do conhecimento. O conhecimento tem sido transmitido de forma continuada de gerações a gerações através dos diversos tipos de mídia disponíveis.

O *conhecimento profissional rotineiro* tem sido facilmente gerenciado através de levantamento dos processos e da elaboração de manuais de procedimentos. Esse tipo de conhecimento tem um aprendizado simples e rápido.

Já o aprendizado do *conhecimento profissional especializado*, ao contrário, é difícil e de longa duração. Esse aprendizado reside na cabeça do indivíduo e por isso mesmo é um patrimônio do indivíduo. Dentro desse contexto surgem questões do tipo: Como reter o conhecimento dos especialistas que se desligam das empresas?; Como registrar, de forma padronizada, as experiências adquiridas pelos especialistas?; Como compartilhar as experiências dos especialistas entre equipes dispersadas geograficamente?

Essas e outras questões podem ser sumarizadas em “Como ter gerência sobre o conhecimento dos especialistas?”. A resposta para esta questão é: a gestão desse tipo de conhecimento só é possível através da utilização de “*sistemas especialistas*” e deve ser urgente e prioritária para evitar a perda desse conhecimento com o desligamento dos especialistas das empresas.

A gestão do conhecimento profissional especializado, isto é, sob o ponto de vista da experiência individual dos especialistas, é um dos temas de interesse central dessa dissertação.

#### **4.1 Sistemas Especialistas**

Indivíduos que têm a habilidade de resolver problemas em áreas específicas do conhecimento são chamados de “especialistas” em seu campo de atuação. Como exemplos de especialistas podem ser citados médicos capazes de diagnosticar rapidamente uma doença, técnicos de manutenção capazes de solucionar problemas em equipamentos do sistema elétrico, dentre outros. Os especialistas adquirem suas habilidades por meio da educação acadêmica e da experiência profissional. A experiência, ao longo de vários anos, ajuda o especialista a desenvolver habilidades que lhe permite resolver problemas de forma rápida e eficiente.

Profissionais da computação e da engenharia desenvolvem programas de computador chamados de “sistemas especialistas” que podem emular a habilidade de especialistas humanos na solução de problemas em domínios específicos do conhecimento. Emular um especialista humano significa dizer que o programa tem que resolver problemas usando métodos similares aos empregados pelo especialista. Como os especialistas humanos

frequentemente usam regras para descrever o que eles conhecem, a maioria dos sistemas especialistas usa como principal forma de armazenamento de conhecimento a incorporação de regras em sua base de conhecimento. Essas regras seguem a seguinte forma:

*SE condição antecedente*

*ENTÃO condição conseqüente*

Para compreender melhor o que vem a serem essas regras, suponha o seguinte caso hipotético: apresentando-se com uma congestão nasal um paciente teria um diagnóstico médico baseado nas seguintes regras:

*SE glândulas inchadas = sim*

*ENTÃO diagnóstico = inflamação de garganta*

*SE glândulas inchadas = não & febre = sim*

*ENTÃO diagnóstico = resfriado*

*SE glândulas inchadas = não & febre = não*

*ENTÃO diagnóstico = alergia*

Obviamente o exemplo apresentado é bastante simples, mas, por se tratar de um assunto de senso comum, é didático o suficiente para dar uma noção de como um sistema especialista armazena o conhecimento e, extrapolando, perceber a quão complexas e poderosas essas regras podem se tornar.

O processo de armazenamento do conhecimento em um sistema especialista envolve pelo menos dois indivíduos: um especialista e um engenheiro do conhecimento. O *engenheiro do conhecimento (knowledge engineer)* é a pessoa treinada para interagir com um especialista a fim de capturar o seu conhecimento e representá-lo em um sistema especialista [16].

Em síntese, sistemas especialistas são programas constituídos por uma série de regras que analisam informações (normalmente fornecidas pelo usuário do sistema) sobre uma classe específica de problemas (ou domínio de problemas). A arquitetura geral de um sistema especialista compreende dois componentes principais: um conjunto de declarações totalmente dependentes do domínio do problema e que é chamado de *base de conhecimento*, e um programa independente do domínio do problema (apesar de altamente dependente das estruturas de dados) chamado de *motor de inferência*. É uma classe de programa de computador da área de Inteligência Artificial (IA), a qual visava, inicialmente, reproduzir as faculdades do pensamento humano como criatividade, auto-aperfeiçoamento e uso da

linguagem. Porém, esse conceito é bastante difícil de se definir e por essa razão foi, e continua sendo, uma noção que dispõe de múltiplas interpretações, não raro conflitantes ou circulares. Além disso, uma vez que a mística em torno do tema diminuiu, vários programadores perceberam que sistemas especialistas simples eram essencialmente versões ligeiramente mais elaboradas de programas procedurais que eles já vinham utilizando há bastante tempo. Sendo assim, algumas das técnicas de sistemas especialistas podem ser encontradas em vários programas complexos sem qualquer alarde em relação a isso [17].

#### **4.2 Sistema Especialista em Manutenção**

Esse é o caso das ferramentas computacionais adotadas como suporte do modelo proposto nessa dissertação, as quais foram batizadas de *sistemas especialistas* por serem programas complexos que fazem uso de algumas dessas técnicas. A utilização do termo “especialista” de forma generalizada daqui em diante se deve a esse fato histórico, e não se está colocando em discussão se essas ferramentas computacionais podem ser classificadas como um sistema especialista puro, híbrido ou não.

Na figura 4.1 estão apresentados os objetivos que as ferramentas computacionais de suporte à manutenção integrada dos equipamentos de sistemas elétricos devem atingir, de acordo com o modelo proposto no capítulo anterior. Contudo, esses objetivos não podem ser contemplados por um único programa de computador, porque há a exigência tanto da computação corporativa em um ambiente em rede, como também, da computação móvel realizada durante os serviços de campo em instalações onde os recursos de comunicação de dados são precários, ou até mesmo inexistentes.

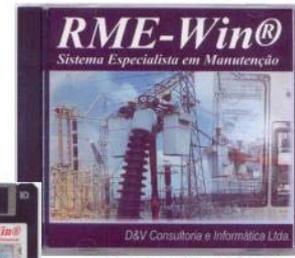
Paralelamente estão apresentados na figura 4.1 os softwares considerados nessa dissertação que atendem a esses objetivos e que serão utilizadas na aplicação prática do modelo proposto e na análise dos resultados obtidos discutidas no capítulo 5.

Basicamente, os objetivos das ferramentas computacionais podem ser sumarizados em quatro pontos fundamentais:

- Padronizar os métodos de manutenção dos equipamentos;
- Racionalizar a execução dos serviços de campo;
- Estabelecer um fluxo de dados para uma base de dados sistêmica;
- Disponibilizar informações para a gestão sistêmica da manutenção.

## Objetivos:

- **Disponibilizar informações para a gestão sistêmica da manutenção**
    - Índices de Manutenção
  - **Estabelecer um fluxo de dados padronizados e confiáveis para uma base de dados sistêmica:**
    - ❖ O banco de dados corporativo da manutenção.
- 
- **Racionalizar a execução da manutenção:**
    - ❖ Execução automatizada de ensaios
    - ❖ Coletores de dados (notebooks e handhelds)
    - Cadastro dos resultados de ensaios
    - Folhas de testes e instruções de manutenção
    - Realização de todos os cálculos dos ensaios
  - **Padronizar os métodos de manutenção em todos os equipamentos do sistema elétrico:**
    - A Biblioteca Técnica Padrão



Framework de Padronização



Módulo de Padronização

Figura 4.1 – Ferramentas computacionais de suporte

Os softwares o RME-Web® e o RME-Win® mostrados na figura 4.1 contemplam os quatro objetivos anteriormente relacionados em maior ou menor grau de eficiência. O primeiro é projetado para aplicação corporativa e o segundo para aplicação móvel e isolada, porém juntos se complementam de forma eficaz.

Ambas as aplicações contemplam a padronização dos métodos de manutenção, o primeiro e o mais importante dos objetivos estabelecidos pelo modelo proposto. O RME-Win® possui um *Módulo de Padronização* que é o software responsável pela geração de sua base de conhecimento – a *Biblioteca Técnica Padrão*. No caso do RME-Web® é disponibilizado um *Framework de Padronização*. A padronização dos métodos de manutenção para cada modelo de equipamento é conseguida utilizando essas “ferramentas de padronização” do sistema, as quais permitem armazenar as regras (algoritmos) contendo o conhecimento dos especialistas na Biblioteca Técnica Padrão. Cada um desses recursos será discutido em detalhes nos itens 4.4 e 4.5, respectivamente.

Apenas o RME-Win® possui as opções de execução automatizada de ensaios em tempo real e de utilização como coletores de dados, mas tem limitações no estabelecimento do fluxo de dados para a base de dados sistêmica, conforme descrito mais à frente.

As duas aplicações, isto é, RME-Web® e o RME-Win® possuem basicamente o mesmo menu de opções. No próximo item serão apresentadas as opções do menu principal do RME-Web® e no seguinte as opções adicionais disponíveis no RME-Win®.

### 4.3 Aplicação Web: RME-Web®

O software RME-Web® é uma aplicação desenvolvida para ambiente web, ou seja, roda em um servidor web e é acessado através dos navegadores de internet.

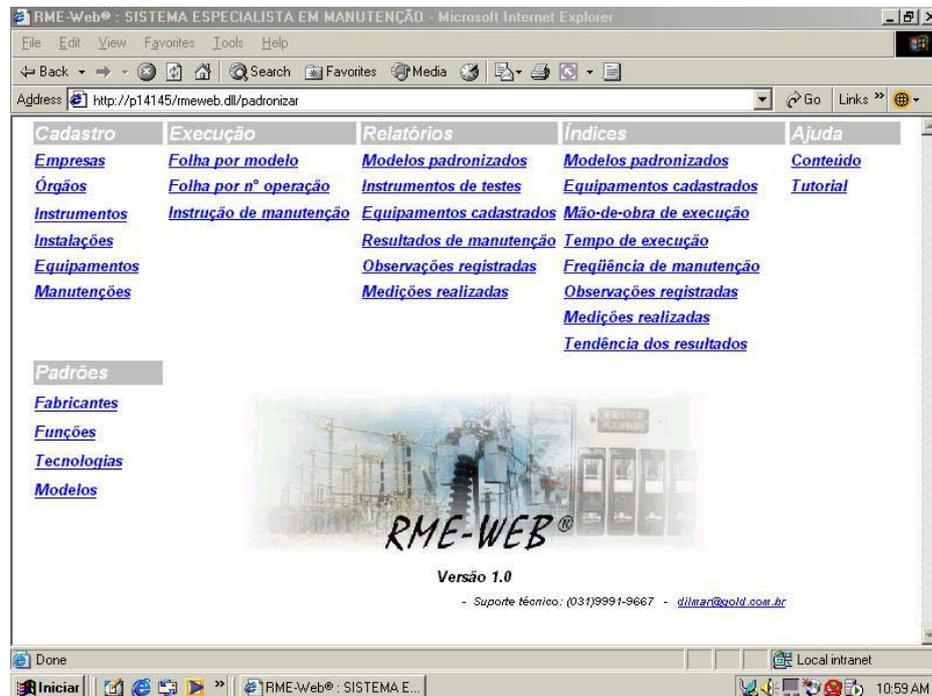


Figura 4.2 – Menu de RME-Web®

A figura 4.2 mostra a tela de seu menu principal e a maioria das suas opções serão sucintamente explicada a seguir, passando por caminhos de maior relevância e aderência ao modelo de manutenção integrada proposto. A tela principal é composta por seis conjuntos de opções (links) com as funções de *cadastro*, *execução*, *relatórios*, *índices*, *ajuda* e *padrões*. O acesso a cada uma dessas opções pode ser protegido por senhas de acesso customizadas de acordo com o perfil do usuário.

A primeira tarefa a ser realizada é o cadastramento das *empresas*, *órgãos* de manutenção, *instrumentos* de manutenção, *instalações* (usinas e subestações) e *equipamentos* das instalações. Para cadastrar os *equipamentos*, incluindo seus *ajustes* e *configurações*, é necessário que os modelos desses equipamentos tenham sido previamente padronizados<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Será visto no item 4.4 e 4.5 que a padronização é feita por modelo de equipamento. Por exemplo, se existirem uma centena de equipamentos de um determinado modelo instalado no sistema, basta padronizar esse modelo que todos os equipamentos desse modelo estão padronizados e podem ser cadastrados.

Uma vez concluído esse cadastramento inicial, entra-se no ciclo rotineiro da manutenção caracterizado por imprimir as *folhas de testes e instruções* de manutenção para a realização dos serviços de campo e, posteriormente, cadastrar os resultados obtidos na *manutenção*.

A qualquer momento as informações cadastradas podem ser recuperadas através das opções de *relatórios* disponíveis, a saber: *modelos padronizados, instrumentos de testes, equipamentos cadastrados, resultados de manutenção, observações registradas e medições realizadas*. Essa opção de relatórios permite a seleção de dados, segundo critérios estabelecidos pelos usuários, e a exportação dos dados selecionados para o Ms-Excel, a fim de possibilitar a elaboração de estudos específicos.

As opções dos *índices de manutenção* oferecidas estão em concordância como os índices estabelecidos pelo modelo proposto e possuem as facilidades da estratificação de dados. Todos esses índices são apresentados de forma gráfica e retratam a situação atual das informações existentes no banco de dados da manutenção. No capítulo 5 serão apresentados os resultados obtidos em uma aplicação prática desses índices de manutenção. Estão disponíveis ainda as opções de ajuda aos usuários e de padrões que permitem a criação de métodos de manutenção padronizados para novos equipamentos.

#### **4.4 Aplicação Desktop: RME-Win® e seu Módulo de Padronização**

O software RME-Win® é a versão “desktop” do sistema de manutenção, isto é, foi desenvolvido para ambiente computacional isolado (“off-line”). Contempla todas as opções existentes na versão “web” que foram apresentadas no item anterior. Assim, nesse item será dada ênfase às opções de menu não contempladas na aplicação web, como ensaios automatizados, computação móvel, coletores de dados e o módulo de padronização de equipamentos, que é parte integrante desse software, mas disponibilizado em separado.

De acordo com o modelo proposto, a execução dos serviços de manutenção pode ser realizada de duas maneiras possíveis, a saber: execução manual e execução automatizada.

A execução manual, uma opção de menu tanto do RME-Win® quanto do RME-Web®, é o método convencional para executar as manutenções preventivas e corretivas em qualquer tipo equipamento, seja ele eletromecânico, estático ou digital. Na execução manual são utilizadas folhas de testes impressas em papel contendo “o que fazer” nos ensaios, como também todos os cálculos necessários, o que reduz significativamente a duração dos serviços de campo e aumenta sua confiabilidade. São calculados todos os valores esperados, os

limites admissíveis e as magnitudes e ângulos das grandezas vetoriais a serem aplicadas nos ensaios do equipamento. Esses cálculos são realizados a partir das configurações e ajustes cadastrados pelos usuários e dos algoritmos de cálculos existentes em sua Biblioteca Técnica Padrão. É nessa folha de testes que são registrados manualmente os valores encontrados e deixados durante os ensaios para posterior digitação no sistema. São utilizadas também as instruções de manutenções impressas pelo sistema, contendo o “como fazer” os ensaios especificados nas folhas de testes. Os detalhes técnicos dos ensaios são mostrados através de textos, figuras, fotografias, áudio, vídeo, etc.

Uma outra alternativa para a execução manual, oferecida apenas pelo RME-Win®, é a utilização de notebooks ou palm tops como coletores de dados. Nesses casos, evita-se a impressão das folhas de testes e das instruções de manutenções, como também todo o trabalho de registro dos resultados em papel durante as manutenções. Os dados vão sendo digitados pelo usuário diretamente na tela de cadastramento à medida em que vai sendo feita a sua leitura nos instrumentos de testes.

A execução automatizada é outra possibilidade oferecida apenas pelo software RME-Win® e especificamente para os equipamentos de proteção, que mais sofreram transformações devidas aos grandes avanços da tecnologia digital. Isso foi possível graças à evolução paralela que sofreram também os instrumentos de testes desses equipamentos, permitindo a realização de ensaios de forma automatizada. O mesmo padrão de ensaios utilizado na execução manual é também utilizado na execução automatizada. Ao invés de utilizar o recurso da impressão, como acontece na execução manual, as grandezas calculadas para os ensaios são armazenadas em um arquivo temporário a ser utilizado pela rotina de execução automatizada. Essa rotina de execução automatizada permite a seleção do instrumento de teste a ser utilizado como também a montagem dos circuitos de testes apropriados nos momentos adequados. Na figura 3.3-2 do capítulo 3 é mostrada a execução da manutenção em um relé utilizando o equipamento F2253 de fabricação *Doble*. Através de uma conexão direta do computador ao instrumento de teste selecionado, o RME-Win® assume o controle dos testes automatizados e padronizados da manutenção. De forma transparente ao usuário, o RME-Win® se encarrega da tradução dos comandos para o respectivo instrumento de teste utilizando-se de drivers de comunicação apropriados. Dessa maneira, evita-se o uso de um software proprietário diferente para cada instrumento de teste utilizado. Para cada teste realizado, os resultados obtidos são mostrados na tela e armazenados em um banco de dados sem a necessidade de serem digitados. Se os valores dos resultados estão dentro da faixa admissível eles são mostrados em verde; caso contrário, em vermelho. Se algum valor estiver

fora da faixa admissível, após fazer a aferição do relé por inteiro, o técnico poderá retornar àquele ensaio e executá-lo novamente sem a necessidade de reiniciar a rotina. É significativa a economia obtida pela utilização de testes automatizados em equipamentos de proteção.

*Para exemplificar, temos o relé de distância REL-511 do fabricante Siemens, que possui mais de mil ajustes e configurações e por volta de quatrocentos ensaios de manutenção. O tempo de execução dos serviços de manutenção manual neste relé é da ordem de 25 horas e dos serviços automatizados da ordem de 2,5 horas, o que significa uma redução de 90% no tempo de execução.*

Maiores informações sobre ensaios automatizados podem ser obtidas nas referências bibliográficas [5] e [10], e no que tange ao desenvolvimento dos drives de comunicação com os instrumentos de testes na referência bibliográfica [4].

Ambas as versões do sistema fornecem meios para que os dados obtidos nas manutenções sejam enviados a um banco de dados sistêmico da manutenção, porém no RME-Win® isso é feito de forma manual e dependente da ação humana, uma vez que se trata de uma aplicação isolada (“stand alone”). O grande benefício oferecido por esse banco de dados é facilitar o levantamento das amostragens de dados necessárias aos estudos de engenharia de manutenção. Essas amostragens garantem uma maior confiabilidade e uma referência comum aos vários estudos, como interpretação estatística dos resultados, definição de periodicidade e custos de manutenção, obsolescência, desempenho, fim de vida útil, etc.

A figura 4.3 mostra esquematicamente como funciona o processo de padronização. O retângulo inferior esquerdo da figura mostra como um usuário executante de manutenção faz uso do programa na execução dos serviços de manutenções manuais (utilizando as folhas de testes), semi-automatizados (por meio de coletores de dados) e totalmente automatizados (através de instrumentos de testes inteligentes).

Diferentemente dos sistemas convencionais de manutenção existentes no mercado, que consistem em um software que basicamente realiza operações de escrita e leitura em um banco de dados, tanto o RME-Win® quanto o RME-Web® possuem uma base de conhecimento, chamada de *Biblioteca Técnica Padrão*.

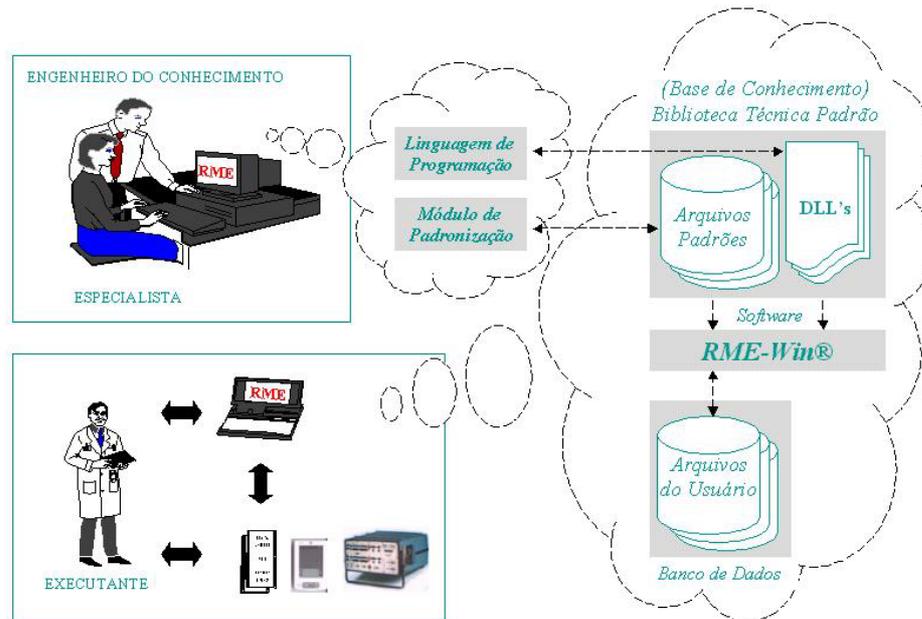


Figura 4.3 - Padronização no RME-Win®

O Sistema RME-Win® possui um *Módulo de Padronização* que é o software responsável pela geração de sua base de conhecimento – a *Biblioteca Técnica Padrão*. Aqui, a padronização dos métodos de manutenção para cada modelo de equipamento é conseguida utilizando esse ‘Módulo de Padronização’ em conjunto com o RME-Win®, os quais permitem armazenar as regras (algoritmos) contendo o conhecimento dos especialistas na Biblioteca Técnica Padrão.

Essa biblioteca, que é parte integrante do sistema, é uma coletânea de informações técnicas de manutenção em equipamentos de sistemas elétricos (“o que fazer” e “como fazer”), que vai sendo construída ao longo da utilização do sistema, através da compilação das instruções técnicas dos fabricantes dos equipamentos e também da experiência adquirida ao longo dos anos pelos especialistas das áreas de manutenção. É essa base de conhecimento que confere ao sistema de manutenção o caráter de especialista e o difere dos demais softwares de gerenciamento da manutenção existentes no mercado.

Para a construção dessa base de conhecimento o “*engenheiro do conhecimento*” e o usuário especialista utilizam o Módulo de Padronização para armazenar os dados estáticos nos arquivos (tabelas) padrões e o ambiente de desenvolvimento de interface (IDE) do Delphi (linguagem de programação Object Pascal) para armazenar as informações dinâmicas e de decisão em DLL’s (Dynamic Linkage Libraries). Assim, a Biblioteca Técnica Padrão consiste de um conjunto de dados em tabelas e um conjunto de DLL’s de funções. Graças à modelagem de dados do sistema, a padronização é bem simples para grande maioria dos

equipamentos do sistema elétrico e consiste apenas em um conjunto de dados estáticos armazenados em tabelas, não sendo necessária a construção da DLL. Apenas equipamentos mais complexos e principalmente da área de proteção requerem a construção dessas DLL's.

```

library DLLNome;
uses ShareMem, SysUtils, Math, Dialogs, Classes,
    UnitFuncsProcs;

// Funções auxiliares definidas pelos usuários

Function CalcularVC(Var S, A, B, C:TVetorX;
                    CodigoEnsaio:string):Variant stdcall;
begin
    DecimalSeparator := '.';
    //...
    Result := ?;
end;

Function CalcularVT1(Var S, A, B, C:TVetorX;
                      CodigoEnsaio:string):Variant stdcall;
begin
    //...
end;

Function CalcularVT2(Var S, A, B, C:TVetorX;
                      CodigoEnsaio:string):Variant stdcall;
begin
    //...
end;

Function CalcularLIMINF(CodigoEnsaio:string;
                          LimInf:string, Const VC:Variant):string;
begin
    DecimalSeparator := '.';
    Result := '';
    //... Inserir aqui os cálculos especializados ou
    //deixar Result igual a nulo para o cálculo padrão
end;

Function CalcularLIMSUP(CodigoEnsaio:string;
                          LimSup:string, Const VC:Variant):string;
begin
    DecimalSeparator := '.';
    Result := '';
    //... Inserir aqui os cálculos especializados ou
    //deixar Result igual a nulo para o cálculo padrão
end;

exports
    CalcularVT1,
    CalcularVT2,
    CalcularVC,
    CalcularLIMINF,
    CalcularLIMSUP,
end;

```

Figura 4.4 - Gabarito para criação de DLL de funções com o RME-Win®

Nesses casos, para facilitar a tarefa de programação, a ajuda do RME-Win® fornece um gabarito para a criação dessas DLL's de funções, conforme mostrado na figura 4.4. Esse gabarito define o protótipo de cinco funções fundamentais que retornam os valores calculados (VC), os valores de testes (VT1 e VT2) e os limites admissíveis inferiores (LIMINF) e superiores (LIMSUP), e outras funções auxiliares definidas pelos usuários. São definidas também algumas funções lógicas não mostradas na figura 4.4 que são utilizadas para definir se um determinado ensaio será realizado ou não. Todas essas funções recebem como parâmetros o código do ensaio corrente e vetores (arrays) contendo as configurações e os ajustes cadastrados. Os valores de retorno dessas funções são utilizados durante a geração das folhas de testes, durante o cadastramento dos resultados de ensaios obtidos na manutenção e também durante a realização dos ensaios automatizados.

#### 4.5 Framework para Padronização no RME-Web®

Na construção da base de conhecimento do sistema é necessária a criação de algoritmos que implementem as habilidades dos especialistas em tomar decisões. Foi mostrado que utilizando o software RME-Win®, seu Módulo de Padronização e o ambiente de desenvolvimento do Delphi, os usuários especialistas têm todos os recursos necessários para a criação desses algoritmos em uma DLL a ser incorporada à Biblioteca Técnica Padrão do sistema.

Porém, para os usuários apenas da versão web, o RME-Web®, esses recursos de padronização não estão disponíveis. Para esses casos, é disponibilizada uma forma alternativa para realizar a padronização dos métodos de manutenção em equipamentos, que consiste na utilização de um “application framework” criada especificamente para esse fim.

Esse “application framework”, implementado segundo dois padrões de projetos consolidados mostrados na figura 4.5, ‘Template Methods’ e ‘Factory Methods’, permite a qualquer usuário especialista implementar e testar seus algoritmos de forma isolada e independente, pois ele padroniza e encapsula as estruturas invariáveis (frozen spots) da aplicação e deixa os especialistas concentrados apenas nas funções de cálculos dos ensaios (hot spots).

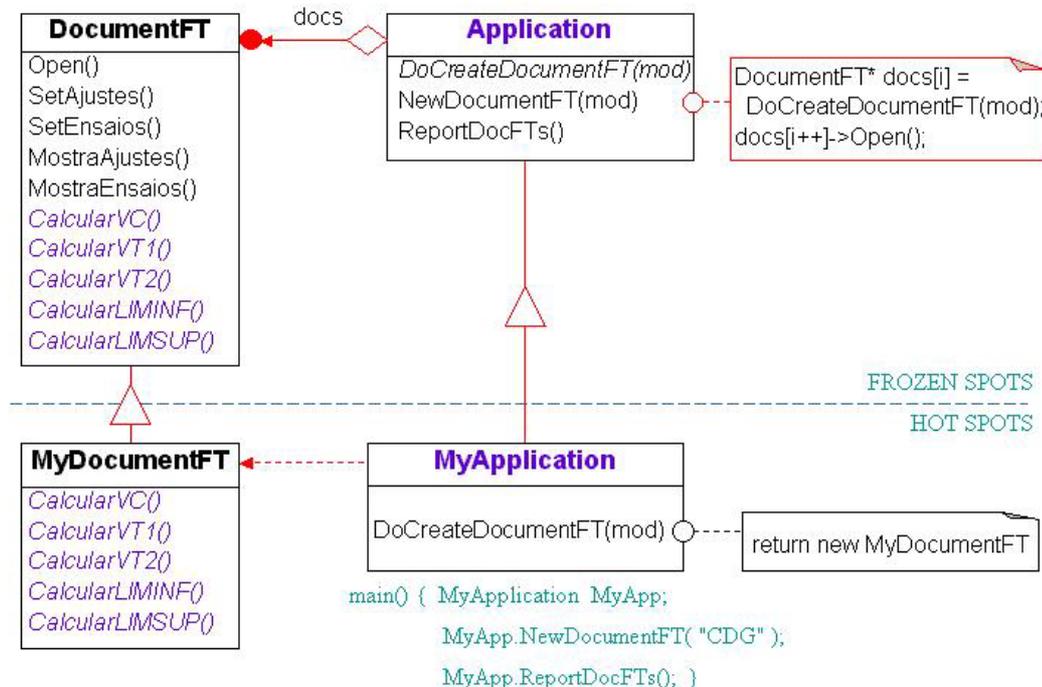


Figura 4.5 - Framework para criação de DLL de funções com o RME-Web®

Isso permite a construção das DLL's de forma mais simples e mais rápida, basicamente utilizando regras no formato “*SE condição antecedente, ENTÃO condição conseqüente*“, usadas freqüentemente pelos especialistas humanos para descrever o seu conhecimento, como também exige o mínimo de conhecimento de programação por parte desses especialistas em manutenção. Além disso, permite o desenvolvimento das DLL's na linguagem C++, uma linguagem amplamente utilizada no meio industrial, diferentemente da linguagem Object Pascal do Delphi utilizada pelo módulo de padronização do RME-Win®.

Uma vez testada, a DLL gerada é armazenada no servidor em que está rodando o RME-Web® e a padronização estará disponível na rede após o seu cadastramento através das opções padrões do seu menu principal.

Evidentemente, essas opções do menu são controladas por senhas, as quais permitem acesso aos conteúdos padronizados apenas por usuários credenciados.

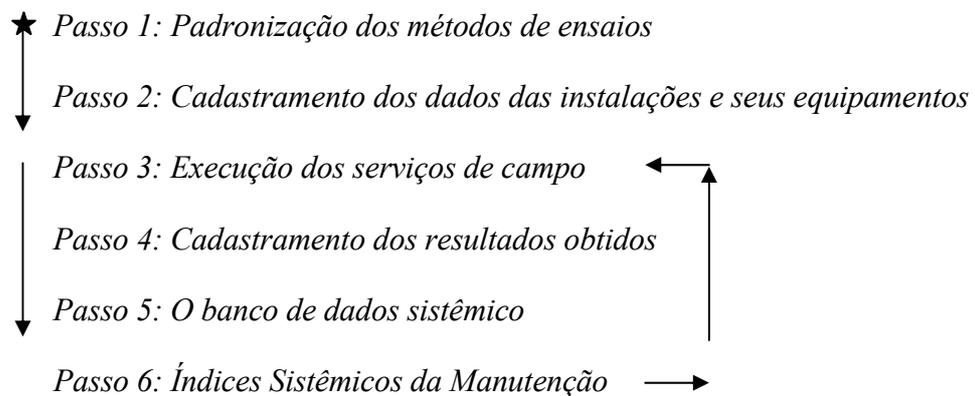
Maiores detalhes sobre a construção do framework fogem ao escopo dessa dissertação, pois exige conhecimento de técnicas de programação orientada a objetos.

## *Capítulo 5*

### **5 Aplicação e Resultados Obtidos**

A finalidade desse capítulo é apresentar uma aplicação prática das ferramentas discutidas no capítulo anterior para alcançar os objetivos estabelecidos pelo modelo proposto de manutenção integrada dos equipamentos de sistemas elétricos.

Essa aplicação prática será conduzida através de 6 passos básicos que caracterizam uma implementação do modelo proposto em uma dada empresa à partir do zero, a saber:



Os passos 1 e 2 acontecem apenas uma vez e os passos de 3 a 6 entram em um ciclo repetitivo em uma frequência determinada pela periodicidade de manutenção. Esses passos básicos podem ser implementados utilizando-se de qualquer uma das ferramentas computacionais disponíveis, mas nessa aplicação prática desse capítulo será utilizado o software RME-Web® como referência, por ser essa a versão mais moderna do sistema especialista em manutenção.

A proposta de manutenção integrada dos equipamentos significa dizer que o mesmo tratamento é dado para todos os tipos de equipamentos indistintamente. Porém, do passo 1 ao passo 5, um relé de proteção bastante simples será utilizado como exemplo para facilitar o entendimento do processo e devido ao fato de que o relé de proteção é o único equipamento que contempla todos os recursos oferecidos pelas ferramentas computacionais. Mas no passo 6, ao serem apresentados os índices de manutenção, outros tipos de equipamentos serão tomados como exemplos.

## 5.1 Padronização dos Métodos de Ensaio

Conforme já mencionado, uma padronização simples pode ser armazenada diretamente nos campos dos arquivos padronizados e isso acontece com a maioria dos equipamentos, por méritos da modelagem de dados desse sistema especialista. Padronização simples é aquela que não requer programação, pois os cálculos dos ensaios utilizam apenas constantes, variáveis ou fórmulas bem definidas. Uma padronização mais complexa requer programação, pois seus cálculos utilizam um elevado número de constantes, variáveis e fórmulas que só serão determinados através de algoritmos de decisão que levam em consideração as configurações e os ajustes cadastrados para os equipamentos.

Baseado nessas considerações iniciais foi escolhido o equipamento de proteção modelo “CDG-23AF485AX6” do fabricante “English Electric” como exemplo para demonstrar como implementar uma padronização, porque ele é simples o suficiente para facilitar o entendimento do processo, mas com um grau de dificuldade que exige programação e permite explorar todos os recursos oferecidos pelas ferramentas computacionais disponíveis.

Como essa padronização para esse modelo de relé exige programação é obrigatório o uso da aplicação framework para a criação e testes dos algoritmos de cálculos. A figura 5.1 mostra a saída gerada pelo aplicativo após as definições feitas pelos clientes do framework na implementação da folha de testes do modelo de relé tomado como exemplo.

```

*****
                          GERADOR DE FOLHA DE TESTE DE MANUTENCAO
Autor: Dilmar G. Cunha                      Versão: 1.0
*****
Elaborado por: Nome_do_Especialista

-----
MODELO DO EQUIPAMENTO: CDG
-----

AJUSTES CADASTRADOS:
Codigo---- Descricao----- --Ajuste
A300511    Unidade Instantanea/ Pickup/ A      20
A400511    Unidade Temporizada/ Tap/ A           4
A401091    Unidade Instantanea/ Dial/ #          0.5

ENSAIOS E MEDICOES:
Codigo---- Descricao----- ---L.Inf ---L.Sup ---VCalc
E300511    Unidade Instantanea/ Pickup/ A        18      22      20
E400511    Unid. Temporizada/ Pickup/ A          3.8     4.2     4
E401011    Unid. Temporizada/ 2xTap/ s           7.07    8.93    8.35
E401111    Unid. Temporizada/ 3xTap/ s           3       3.42    3.20
E401211    Unid. Temporizada/ 4xTap/ s           1.83    2       1.87
E401311    Unid. Temporizada/ 5xTap/ s           1.31    1.41    1.32
-----

```

Figura 5.1 - Tela de saída do Framework

Pode-se observar que a saída para o console foi adotada na implementação do framework, uma vez que o seu uso é apenas para o desenvolvimento e testes dos algoritmos de cálculos.

O relé de proteção tipo “CDG” é um relé de sobrecorrente com unidades instantânea e temporizada. A unidade instantânea possui um ajuste de pick-up e seu respectivo ensaio. A unidade temporizada possui três ajustes (pick-up, tap e dial), um ensaio de pick-up e quatro ensaios do tempo de operação para os múltiplos 2,3,4 e 5 do tap. Os valores calculados e os limites admissíveis superiores e inferiores apresentados para cada ensaio são computados a partir dos ajustes cadastrados e dos algoritmos implementados pelos especialistas. A tela de saída mostrada na figura 5.1 foi gerada pelo código fonte apresentado no programa 5.1. Algumas características técnicas foram omitidas em benefício da simplicidade e do espaço disponível nesse trabalho de dissertação.

#### Programa 5.1 : Código fonte em C++ de padronização de um relé no framework

```

1      //*****
1.1    //HOT SPOT - CONTEM A IMPLEMENTAÇÃO FUNÇÕES DEFINIDAS PELOS USUÁRIOS DO FRAMEWORK
1.2    //*****
1.3    #include "framework.h"
1.4    using namespace std;
2
2.1    //-----
2.2    // Classe concreta derivada definida pelo Especialista
2.3    //-----
2.4    class MyDocumentFT_CDG : public DocumentFT {
2.5    public:
2.6        MyDocumentFT_CDG( char* mod ) : DocumentFT(mod) {
2.7            SetAjuste("A300511", "Unidade Instantanea/ Pickup/ A");
2.8            SetAjuste("A400511", "Unidade Temporizada/ Tap/ A");
2.9            SetAjuste("A401091", "Unidade Instantanea/ Dial/ #");
2.10           SetA(0, 20);
2.11           SetA(1, 4.0);
2.12           SetA(2, 0.5);
2.13           SetEnsaio("E300511", "Unid. Instantanea/ Pickup/ A ");
2.14           SetEnsaio("E400511", "Unid. Temporizada/ Pickup/ A ");
2.15           SetEnsaio("E401011", "Unid. Temporizada/ 2xTap/ s ");
2.16           SetEnsaio("E401111", "Unid. Temporizada/ 3xTap/ s ");
2.17           SetEnsaio("E401211", "Unid. Temporizada/ 4xTap/ s ");
2.18           SetEnsaio("E401311", "Unid. Temporizada/ 5xTap/ s ");
2.19       }
2.20       double F_CDG( int multiplo, double dial) {
2.21           //Valores tabelados em função do multiplo e do dial obtidos do
2.22           //catalogo MS-5078 EADZ002-83 do fabricante English Electric

```

```

2.23 //.....
2.24 //Código omitido por questões de simplicidade e espaço
2.25 //.....
2.26 return valor;
2.27 }
2.28 double CalcularVC(string cod, double* A) {
2.29     double vc ;
2.30     if (cod == "E300511")
2.31         vc = A[0];
2.32     else if (cod == "E400511")
2.33         vc = A[1];
2.34     else if (cod == "E401011")
2.35         vc = F_CDG(2, A[2]);
2.36     else if (cod == "E401111")
2.37         vc = F_CDG(3, A[2]);
2.38     else if (cod == "E401211")
2.39         vc = F_CDG(4, A[2]);
2.40     else if (cod == "E401311")
2.41         vc = F_CDG(5, A[2]);
2.42     else
2.43         vc = -999999;
2.44     return vc;
2.45 }
2.46 double CalcularLIMINF( string cod, double vc) {
2.47     if (cod == "E300511")
2.48         return 0.90 * vc;
2.49     else if (cod == "E400511")
2.50         return 0.95 * vc;
2.51     else
2.52         return 0.93 * vc;
2.53 }
2.54 double CalcularLIMSUP( string cod, double vc) {
2.55     if (cod == "E300511")
2.56         return 1.10 * vc;
2.57     else if (cod == "E400511")
2.58         return 1.05 * vc;
2.59     else
2.60         return 1.07 * vc;
2.61 }
2.62 };
3
3.1 //-----
3.2 // Customização do framework definida pelo cliente
3.3 //-----
3.4 class MyApplication : public Application {
3.5 public:
3.6     MyApplication() {

```

```

3.7         cout << "Elaborado por: Nome_do_Especialista" << endl << endl;
3.8     }
3.9     // Cliente define o "hole" do framework
3.10    DocumentFT* CreateDocumentFT( char* mod ) {
3.11        if (!strcmp(mod, "CDG"))
3.12            return new MyDocumentFT_CDG( mod );
3.13        else
3.14            return 0;
3.15    }
3.16 };
4
4.1 //-----
4.2 // Customização do framework pelo cliente
4.3 //-----
4.4 main() {
4.5     MyApplication MyApp;
4.6     MyApp.NewDocumentFT( "CDG" );
4.7     MyApp.ReportDocs();
4.8     system("PAUSE");
4.9     return EXIT_SUCCESS;
4.10 }

```

Mostrada no programa 5.1, a implementação dos “hot spots” (as partes variáveis do programa) pelos usuários do framework é bastante simples e pode ser utilizada como um gabarito, ou seja, basicamente devem ser copiadas e modificadas as partes mostradas em negrito para a padronização de novos modelos de equipamentos. Isso é muito útil porque os especialistas em manutenção possuem o conhecimento técnico sobre o equipamento que se quer introduzir na base de conhecimento do sistema especialista, mas geralmente não são proficientes na linguagem de programação C++. Assim, quanto menos forem exigidos em termos de programação, melhor para a produtividade do processo de padronização.

No programa principal (linhas 4 à 4.10) devem ser definidos o nome do modelo e duas classes derivadas das classes abstratas Application e DocumentFT, que são definidas no arquivo de cabeçalho “*framework.h*”. Aqui a única preocupação do especialista é com o nome do modelo do equipamento a ser padronizado, que deve ser único em todo o sistema.

Na implementação da classe derivada de Application deve-se utilizar o gabarito mostrado nas linhas de 3 à 3.16, substituindo-se apenas o conteúdo em negrito. A implementação da classe derivada de DocumentFT é a que possui o conhecimento técnico do especialista para a geração da folha de testes do modelo de equipamento especificado, as quais estão mostradas em negrito nas linhas 2 à 2.62. Essa classe possui os métodos:

SetAjuste() : que permite definir os ajustes e configurações dos equipamentos;

SetA() : que permite definir os valores default e de teste desses ajustes;

SetEnsaio() : que permite aos especialistas definirem os ensaios de manutenção.

Além disso, em “*framework.h*” é fornecido também os protótipos das seguintes funções de cálculos, que podem ser redefinidas nessa classe derivada para um uso diferente do “default” e que são compatíveis com ambos os softwares RME-Web® e RME-Win®.

CalcularVC() : calcula os valores calculados (esperados) nos ensaios;

CalcularLimInf() : calcula o limite inferior admissível;

CalcularLimSup() : calcula o limite superior admissível;

CalcularVT1() : calcula o valores de testes a serem aplicados nos ensaios;

CalcularVT2() : idem ao anterior.

Após a criação, os testes e a verificação de sua exatidão, as folhas de testes geradas podem ser utilizadas de imediato e individualmente pelos especialistas nos serviços de campo de manutenção, mas o ideal é que se faça o seu cadastramento RME-Web®. Esse cadastramento é trivial e é realizado utilizando as opções do menu principal do RME-Web®, a partir das informações obtidas do código fonte do programa, conforme ilustrado no programa 5.1.

Além desse cadastramento, não mostrado aqui, é necessário compilar novamente o código fonte do programa 5.1, gerando uma DLL que exporta as funções de cálculo. Somente após o “upload” dessa DLL para o servidor do sistema especialista RME-Web® é que a padronização estará disponível no todo o âmbito da empresa.

## 5.2 Cadastramento dos Dados das Instalações e seus Equipamentos

Esse item apresenta resumidamente como os usuários fazem o cadastramento inicial dos dados relativos às instalações e os seus equipamentos com os respectivos ajustes. O cadastramento das *empresas*, *órgãos* de manutenção, *instrumentos* de manutenção e das *instalações* (usinas e subestações) são triviais e considerados já realizados com sucesso daqui para frente. Para cadastrar os *equipamentos*, incluindo seus *ajustes* e *configurações*, é necessário que os modelos desses equipamentos tenham sido previamente padronizados, como mostrado no item anterior, caso contrário não é possível fazer esse cadastramento até que isso tenha acontecido. A figura 5.2 mostra a tela de cadastro de equipamentos com os dados do equipamento utilizado como exemplo, o relé de modelo “*CDG-23AF485AX6*”.

The screenshot displays the 'CADASTRO DE EQUIPAMENTOS' (Equipment Registration) web interface. The browser window title is 'RME-Web - CADASTRO : EQUIPAMENTOS - Microsoft Internet Explorer'. The address bar shows the URL 'http://p14145/meweb.dll/salvar\_equipamento'. The page features a navigation menu with links for 'Menu Principal', 'Listar Instalações', 'Listar Equipamentos', 'Ajuda', and 'Listar Manutenções'. The main form includes the following fields and controls:

- Buttons:  Incluir,  Pesquisar,  Alterar,  Excluir, Confirmar, Limpar.
- Identificação: No. Ident.: RSOC376608, No. Série: 2XC123.
- Modelo: CDG-23AF485AX6 (dropdown).
- Data Fabricação: 30/09/1978.
- Localização: Instalação: NEVES 1 (dropdown).
- Circuito: LT Taquaril.
- No. Operação: 2K50/51A.
- Painel/Cubículo: 3R.
- Pasta: P50/51.
- Data Entrada: 01/02/1992, Saída: (empty).
- Características Específicas do Modelo: (empty text area).
- Características Específicas do Local: (empty text area).
- Buttons: Configurações e Ajustes, Histórico do Equipamento.
- Footer: - Suporte técnico: (031)9991-9667 - dilmar@gold.com.br

Figura 5.2 - Tela de cadastramento de equipamentos

Outra exigência para o cadastramento do equipamento no sistema é que ele seja identificado com um “Número de identificação” único que o acompanhará durante toda a sua vida útil. É como se fosse o CPF do equipamento e através dele é que todas as suas informações estarão relacionadas no sistema.

O campo “Modelo” é informado através de uma caixa de seleção, só permitindo a entrada de modelos já padronizados. O mesmo acontece com o campo “Instalação”, por isso a necessidade de seu cadastramento prévio.

No campo “características específicas do local” são cadastradas informações próprias do ponto operativo do equipamento. Exemplos de informações aqui cadastradas pelos usuários são: características técnicas, aspectos de segurança como a Análise de Risco, modificações provisórias, etc.

O campo “características específicas do modelo” apresenta informações sobre o modelo padronizado, como características técnicas e controle de versões da padronização.

Uma vez preenchido os dados dessa tela, passa-se ao cadastramento das “Configurações e Ajustes” do equipamento clicando no botão respectivo. A tela mostrada na figura 5.3 é apresentada.

**AJUSTES DO EQUIPAMENTO**

No. Identificação: RSOC376608    Modelo: CDG-23AF485AX6    Instalação: NEVES 1    No. Operação: 2K50/51A

Copiar de...     Salvar     Apagar todos       

Código:	Descrição:	Faixa:	Valor Ajuste:	Data P.S.:	No. P.S.:
A10X191	TC/ relacao/ #	Aberta	400/5	07/08/1996	OPEG2-0020/96
A300511	UN. INSTANTANEA/ lpick-up/ A	Contínua	20	07/08/1996	OPEG2-0020/96
A400511	UN. TEMPORIZADA/ tap/ A	Discreta	4	07/08/1996	OPEG2-0020/96
A401091	UN. TEMPORIZADA/ dial/ #	Contínua	0.5	07/08/1996	OPEG2-0020/96

.. - Suporte técnico: (031)9991-9667 - [dilmar@gold.com.br](mailto:dilmar@gold.com.br)

Figura 5.3 - Tela de cadastramento de ajustes

É oportuno observar nessa tela que todas as informações padronizadas para o modelo em questão (aquelas definidas no framework) são mostradas na cor azul e não podem ser acessadas pelos usuários.

Os campos “*Valores de Ajustes*” recebem informações específicas do local em que o equipamento se encontra instalado. Cada um desses valores é consistido dentro de sua respectiva “*Faixa*” de valores permitidos (as quais são também definidas na padronização, mas mostradas no código do framework) à medida em vão sendo cadastrados.

### 5.3 Execução dos Serviços de Campo

Aqui será mostrada a folha de testes emitida para o equipamento usado como exemplo, e que será usada nos serviços de manutenção executados de forma manual, isto é, utilizando as folhas de testes impressas em papel, juntamente com a respectiva instrução de manutenção, que não é mostrada aqui por motivos de espaço.

Concluídos o cadastramento dos equipamentos e de seus respectivos ajustes e configurações, é possível agora gerar uma folha de testes padronizada especificamente para o equipamento instalado no ponto operativo determinado pelo “*No de Operação*”. As figuras 5.4, 5.4(1) e

5.4(2) mostram a folha de testes gerada pelo RME-Web® para o equipamento tomado como exemplo e depois de cumpridos os passos 1 e 2 descritos respectivamente nos itens 5.1 e 5.2.

**RME-Web® : Sistema Especialista em Manutenção**  
Folha de testes  
Impressão por número de operação 01/05/2007

**IDENTIFICAÇÃO:**

Empresa: CEELE Instalação: Reg. M01  
 Modelo: CD-G-23AF485AX6 N° Identificação: RSOC376608 N° Operação: 2K50/51A  
 Tipo: CDG Equipamento: RELE DE SOBRECORRENTE TEMP. N° de Série: 2XCV123  
 Catalogo: MS-5078 Função: 51 Circuito: LT Taquaril  
 Fabricante: ENGL.ELECTRIC Tecnologia: Eletromecânico Paine / Cubiculo: 3R

Características do modelo:  
 Características do local:

**DADOS DA MANUTENÇÃO:** Tipo de Manutenção:  MP  MC  RC  
 N° O. M.: \_\_\_\_\_ Data Inicial: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Data Final: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
 Empresa: \_\_\_\_\_ Órgão: \_\_\_\_\_ H x h : min: \_\_\_x\_\_\_:\_\_\_  
 Supervisor: \_\_\_\_\_ Executante: \_\_\_\_\_ Executante: \_\_\_\_\_

Figura 5.4 - Tela da folha de testes

N° O. M.: \_\_\_\_\_ Data Inicial: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Data Final: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
 Empresa: \_\_\_\_\_ Órgão: \_\_\_\_\_ H x h : min: \_\_\_x\_\_\_:\_\_\_  
 Supervisor: \_\_\_\_\_ Executante: \_\_\_\_\_ Executante: \_\_\_\_\_

**Diagnóstico:**

Há registro de alguma observação relevante?	(S/N)	O equipamento foi enviado para reparo?	(S/N)
O equipto apresentou problemas em serviço?	(S/N)	Houve substituição de componentes?	(S/N)
O equipto apresentou problemas em manutenção?	(S/N)	Há alguma pendência de manutenção?	(S/N)

Observações:  
 Instrumentos utilizados:

**AJUSTES E CONFIGURAÇÕES:**

Código	Descrição	Valor Ajustado	N° P.S.	Data P.S.
A10X194	TC/ relacao/ #	400/5	OPE62-0020/96	07/08/1996
A300511	UN. INSTANTANEA/ Ipick-up/ A	20	OPE62-0020/96	07/08/1996
A400511	UN. TEMPORIZADA/ t2pr/ A	4	OPE62-0020/96	07/08/1996
A401091	UN. TEMPORIZADA/ dial#	0.5	OPE62-0020/96	07/08/1996

**ENSAIOS E MEDIÇÕES: NÍVEL: C2**

Figura 5.4 (1) - Tela da folha de testes (continuação)

Código	Descrição	Lim.Inf.	Lim.Sup.	V.Calc.	V.Enc.	V.Deix.
A10X191	TC/ relacao/ #	400/5				
A300511	UN. INSTANTANEA/ Ipick-up/ A	20				
A400511	UN. TEMPORIZADA/ tap/ A	4				
A401091	UN. TEMPORIZADA/ dial/ #	0,5				
<b>ENSAIOS E MEDIÇÕES: NÍVEL: C2</b>						
E300511	UN. INSTANTANEA/ Ipick-up/ A	18.000	22.000	20.000		
E400511	UN. TEMPORIZADA/ Ipick-up/ A	3.800	4.200	4.000		
E401041	UN. TEMP./2:xtap dial=sen./s	7.766	8.935	8.350		
E401141	UN. TEMP./3:xtap dial=sen./s	2.976	3.424	3.200		
E401241	UN. TEMP./4:xtap dial=sen./s	1.739	2.001	1.870		
E401341	UN. TEMP./5:xtap dial=sen./s	1.228	1.412	1.320		
M981111	BANDEIROLA T/ Ipick-up/ A		1 tap	-		
M982111	SELAMENTO T/ Ipick-up/ A		1 tap	-		
M994034	TERM. MASSA/ isolamento/ MOhms	1 MOhm		-		

\*\*\* Fim da folha de testes \*\*\*

- Suporte técnico: (031)9991-9667 - [dilmar@gold.com.br](mailto:dilmar@gold.com.br)

Figura 5.4 (2)- Tela da folha de testes (continuação)

Pode-se observar que ela é análoga à folha de testes mostrada na figura 3.10 estabelecida pelo modelo proposto e os cálculos conferem com os obtidos na tela de saída do framework mostrada na figura 5.1. Nos campos em branco dos valores encontrados “V.Enc.” e dos valores deixados “V.Deix.” deverão ser preenchidos manualmente com os resultados obtidos nos serviços de manutenção para posterior cadastramento no sistema.

#### 5.4 Cadastramento dos Resultados de Manutenção

Será mostrado aqui como é feito o cadastramento dos resultados obtidos na manutenção do equipamento usado como exemplo. Como já mencionado, esse cadastramento pode ser feito a partir das folhas de testes usadas nas manutenções realizadas de forma manual, ou diretamente na tela de cadastramento no momento da realização dos ensaios, sendo que neste caso a folha de teste não é impressa, mas é necessário levar um computador portátil para o campo, ou ainda automaticamente se realiza os ensaios automatizados, que nesse caso além do computador portátil é necessário também possuir o instrumento de testes inteligente. As telas apresentadas nas duas figuras seguintes são praticamente as mesmas utilizadas nas três formas de realização da manutenção. Na figura 5.5 está apresentada a tela de cadastro de manutenções.

O cadastro dos dados de manutenção é realizado através dessa tela pelo “*número de identificação*” do equipamento e pela “*data de início*” dos ensaios. Os campos dessa tela correspondem aos campos de preenchimento da folha de testes, sendo a maioria auto-explicativos, porém alguns deles merecem destaque especial:

O campo “*observação*” é um campo de texto livre que permite o cadastramento de informações não numéricas levantadas durante os ensaios. Nesse campo devem ser anotadas todas as observações que o executante da manutenção julgar relevante para uma análise posterior da qualidade da manutenção e da confiabilidade do equipamento. Parte dessas observações são os *Problemas Detectados* no equipamento sob manutenção, mas podem ser registrados também quaisquer outros *comentários* à critério do executante;

Os campos de “*diagnósticos*” são basicamente um resumo dos *Problemas Detectados*. Deverão ser checadas as caixas de verificação que correspondam à situação em que o equipamento foi encontrado e deixado. Essas informações deverão estar em consonância com as informações descritas no campo “*Observações*”;

Figura 5.5 - Tela de cadastramento de manutenção

O botão “*Instrumentos de Testes*” abre uma tela para o cadastramento dos instrumentos de testes utilizados nos ensaios de manutenção, realizada através da seleção entre os instrumentos disponíveis na empresa e previamente cadastrados. Essa tela não será mostrada

por economia de espaço e ser bem simples. O botão “*Ensaio e Medições*” abre a tela de cadastramento dos “*resultados de medições e ensaios*” mostra na figura 5.6.

Nessa tela também se observa que todas as informações padronizadas para o modelo em questão (aquelas definidas no framework) são mostradas na cor azul e não podem ser acessadas pelos usuários.

Os campos valores encontrados “*VE*” e valores deixados “*VD*” recebem os resultados anotados nos mesmos campos existentes nas folhas de testes. Se os valores se encontram dentro dos limites admissíveis são mostrados em verde, caso contrário em vermelho. Para cada um desses valores é calculado automaticamente os erros encontrados “*EE%*” e os erros deixados “*ED%*”.

Código:	Descrição:	Lim.Inf.:	Lim.Sup.:	VC:	VE:	EE(%):	VD:	ED(%):
E300511	UN. INSTANTANEA/ lpick-up/ A	18.000	22.000	20.000	17	-15	19	-5
E400511	UN. TEMPORIZADA/ lpick-up/ A	3.800	4.200	4.000	3.8	-5	3.8	-5
E401041	UN. TEMP./2xltap dial=serv./s	7.766	8.935	8.350	8.935	7	8.935	7
E401141	UN. TEMP./3xltap dial=serv./s	2.976	3.424	3.200	3.2	0	3.2	0
E401241	UN. TEMP./4xltap dial=serv./s	1.739	2.001	1.870	1.738	-7.1	1.870	0
E401341	UN. TEMP./5xltap dial=serv./s	1.228	1.412	1.320	1.413	7	1.320	0
M981111	BANDEIROLA T/ lpick-up/ A		1 tap	-	2	*	2	*
M982111	SELAMENTO T/ lpick-up/ A		1 tap	-	2	*	2	*
M994034	TERM. MASSA/ isolamento/ MOhms	1 MOhm		-	1	*	1	*

Figura 5.6 - Tela de cadastramento de medições

## 5.5 O Banco de Dados Sistemico

Para apresentar exemplos práticos de todos os itens de controle conceituados no modelo proposto é necessária a utilização de um banco com dados reais já cadastrados. A CEMIG possui um banco de dados sistêmico, com valores reais obtidos desde 1992. Essa base de dados foi sendo acumulada ao longo dos anos tanto pela versão DOS (1992/2000) quanto pela WINDOWS (2001/2004) do Sistema Especialista em Manutenção - RME, sendo que

em janeiro/2001 sofreu um processo de conversão e migração de um ambiente operacional para outro. Para dar início ao desenvolvimento e testes do software RME-Web®, uma aplicação ainda inédita, foi realizada, por solicitação e autorização da Cemig, uma nova migração dos dados para um banco corporativo (MsSQL-Server). Devido à disponibilidade e ao acesso às informações é esse banco de dados de testes que será utilizado aqui para exemplificar os índices de manutenção disponibilizados no menu principal do RME-Web®.

De 2004 em diante essa base de dados sistêmica da manutenção continua sendo carregada pela CEMIG através do software o RME-Win®, porém não tivemos acesso às informações desse ano em diante.

A figura 5.7 mostra a “*modelagem de dados*” e o projeto físico do banco de dados do sistema especialista em manutenção.

O modelo relacional foi adotado na implementação do banco de dados desse sistema especialista em manutenção com o objetivo de reduzir a redundância de dados, como também, permitir um rápido acesso às informações. Um banco de dados relacional representa os dados em uma coleção de tabelas contendo linhas e colunas. Cada coluna é conhecida como um atributo e cada linha armazena informações sobre um registro de dados. Todos os registros de uma tabela são unicamente identificados por uma combinação de um ou mais atributos da tabela. As tabelas mostradas em azul são os arquivos padrões da base conhecimento, tem a tabela “*Modelos*” como referência central e recebem os dados padronizados e protegidos durante o processo de padronização, que é feito por modelo. As tabelas mostradas em vermelho são os arquivos de dados dos usuários e tem a tabela “*Equipamentos*” como referência central. Esses dois conjuntos de tabelas, dos dados padronizados e dos dados dos usuários, se ligam através do relacionamento entre as tabelas “*Modelos*” e “*Equipamentos*” estabelecidos no momento do cadastramento dos equipamentos.

O volume dessa base de dados gira atualmente em torno de 600 megabytes, nada tão volumoso assim nos dias de hoje, podendo ser facilmente transferida para qualquer CD, DVD ou pendriver disponíveis no mercado. E a atualização do banco de dados é dinâmica, porque a cada momento estão sendo cadastrados novos dados das manutenções que estão sendo realizadas em todo o parque instalado da empresa.

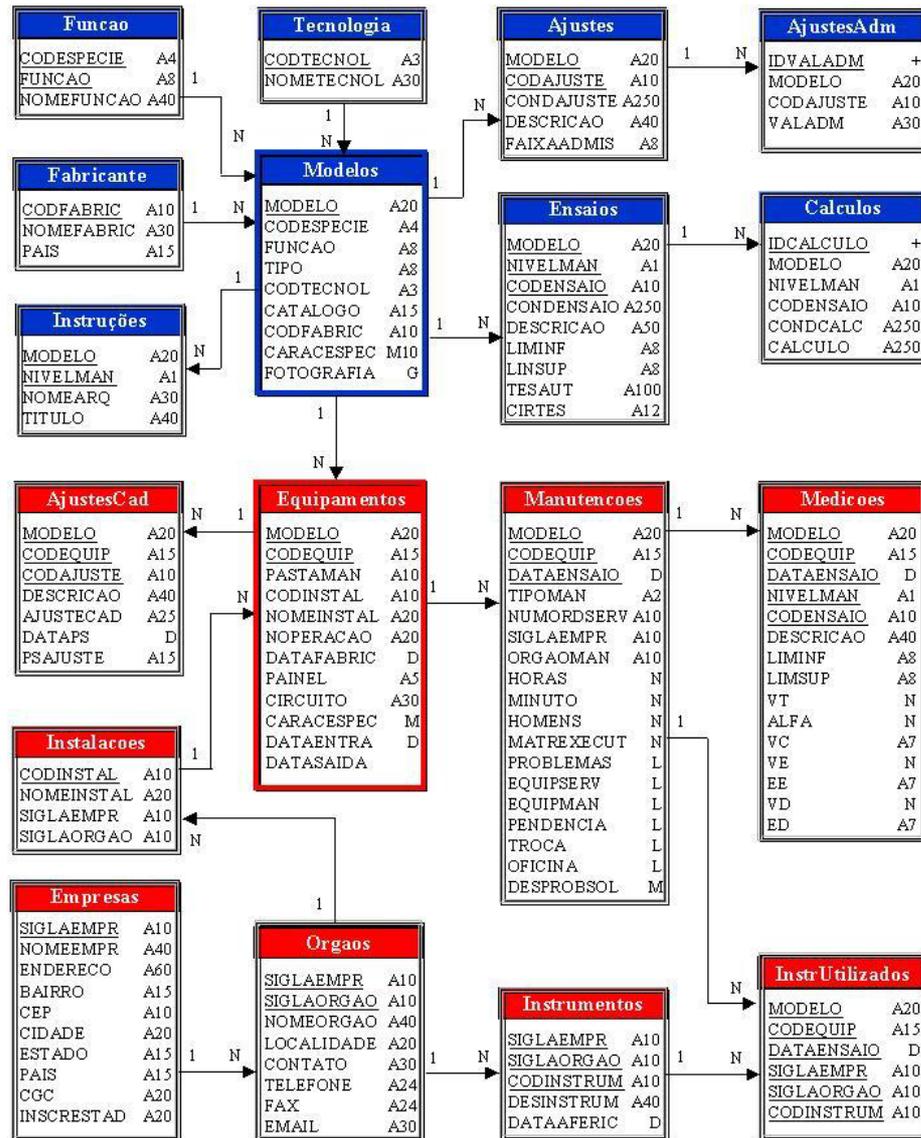


Figura 5.7 - Modelagem de dados e projeto físico do banco de dados

## 5.6 Índices Sistêmicos da Manutenção

As informações contidas no banco de dados do sistema especialista em manutenção têm que ser disponibilizadas aos usuários de forma eficiente, flexível e segura. Atualmente a forma mais utilizada de acesso a base de dados é através de páginas da Web. Entretanto tais páginas devem sempre exibir informações recentes, sendo ao mesmo tempo objetivas, isto é, exibir informações solicitadas pelos usuários. Como são muitas as combinações possíveis de dados e perguntas feitas pelos usuários, conclui-se que as páginas não devem existir previamente, isto é, não serem estáticas, mas sim produzidas dinamicamente no servidor web em resposta a uma pergunta feita pelo usuário e em função dos dados existentes na base de dados corporativa naquele momento. Assim, a cada consulta tem-se um retrato instantâneo da situação do banco de dados. Linguagens de consultas do tipo SQL (Structured Query

Languages) e ferramentas do OLAP (On-line Analytical Processing) são muito eficientes em encontrar e reportar informações em um banco de dados quando se sabe exatamente o que está procurando, porém exigem dos usuários um certo grau de proficiência com a sua utilização.

Para atender aos requisitos acima e ainda simplificar o método de consulta, foram implementadas as opções “Índices” do menu principal do RME-Web®. Ao clicar em qualquer uma das opções será apresentada uma tela de seleção e totalização. A figura 5.8 mostra como exemplo as opções dos critérios de seleção e totalização que possibilitam uma grande variedade de estratificações. A tela mostrada é para o “índice mão-de-obra de execução”, mas cada um dos outros índices disponível possui uma tela de seleção semelhante. A caixa de seleção permite a totalização por empresa, órgão, instalações, tipo de manutenção, espécie, modelo, número de identificação e data de ensaio. Nos critérios de seleção é permitido o uso do caractere “%” como curinga; por exemplo, para analisar a mão-de-obra gasta com os relés do tipo CDG foi inserido no campo modelo o índice “CDG%” e apenas os modelos que começam com CDG serão considerados no cálculo.

The screenshot shows a web browser window titled "RME-Web - ÍNDICES - MÃO DE OBRA DE EXECUÇÃO". The address bar shows the URL "http://p14145/meweb.dll/selecionar\_maodeobra". The main content area has a header with "Menu Principal" and "Ajuda" links. Below that is the title "ÍNDICE MÃO-DE-OBRA DE EXECUÇÃO (Hxh)" and two buttons: "Aplicar" and "Limpar".

The "CRITÉRIOS DE SELEÇÃO:" section contains several input fields:

- Empresa
- Órgão
- Instalação
- Espécie
- Modelo
- Nº Identificação
- Tipo Manutenção
- Data Inicial
- Data Final

A note below the fields reads: "Nota : Deixar em branco para selecionar todos e/ou utilizar o % como curinga".

The "TOTALIZAÇÃO:" section has a dropdown menu with the following options:

- por empresa
- por órgão
- por instalação
- por tipo manutenção
- por especie
- por modelo
- por no. identificação
- por data de ensaio

The browser's status bar at the bottom shows "Done", "Local intranet", and the time "7:08 AM".

Figura 5.8 - Critérios de Seleção e Totalização de Dados

Essas possibilidades de estratificação são muito úteis durante a aplicação de diversas técnicas de análise dos efeitos e suas causas. Uma dessas técnicas é o Método de Análise e Solução de Problemas – “MASP”, que consiste fundamentalmente da utilização do “Diagrama de Pareto” para estratificações mais detalhadas e para priorização de problemas, que são em

última análise os itens de controle indesejáveis. Este método de análise e solução de problemas foge ao escopo deste trabalho, mas pode ser encontrado na referência bibliográfica [2]. Em consequência disso, os gráficos apresentados a seguir têm o objetivo apenas de mostrar as potencialidades da ferramenta e como ela é aderente ao modelo proposto. Análises mais aprofundadas desses gráficos serão deixadas para trabalhos futuros.

É interessante ressaltar mais uma vez que todos os gráficos apresentados a seguir são mostrados no navegador de internet de forma interativa com o usuário, que define os critérios de seleção e o tipo de totalização, e clica no botão aplicar. O RME-Web®, rodando no servidor web, atende a requisição do usuário, faz a consulta ao banco de dados, constrói dinamicamente o gráfico, e responde ao usuário apresentado a página correspondente. Esses gráficos de saída podem fornecer valiosas informações para a tomada de decisões futuras.

As duas figuras a seguir apresentam os dois primeiros “Índices” do menu principal, que não fazem parte dos índices de manutenção, propriamente ditos, definidos no modelo proposto; estão mais para “índices de verificação” quantitativos da Biblioteca Técnica Padrão (base de conhecimento) e do Cadastro (inventário) de Equipamentos. A figura 5.9 mostra a quantidade de modelos, totalizados por espécie de equipamento, existentes na Biblioteca Técnica Padrão do sistema que já foram padronizados pela CEMIG.

Na legenda temos que CHAC ou CHAD = chave seccionadora, DISJ = disjuntor, PARA = pára-raios, RAUX = relé auxiliar, RDIF = relé diferencial, RDIR = relé direcional, RDIS = relé de distância, RELE = relé diversos, RSOC = relé de sobrecorrente, RTPO = relé de tempo, TRTC = transformador de corrente, TRTP = transformador de potencial, RELI = religador, etc.

A figura 5.10 mostra a quantidade de equipamentos cadastrados, totalizados também por espécie de equipamento, existentes no banco de dados sistêmico da manutenção da CEMIG.

Essa base de dados é, em termos estatísticos, uma ‘amostragem’ do conjunto total de equipamentos do sistema elétrico CEMIG. Somente não é o ‘universo da população’, porque ainda não foram padronizados e cadastrados todos os equipamentos existentes nas subestações e usinas da CEMIG.

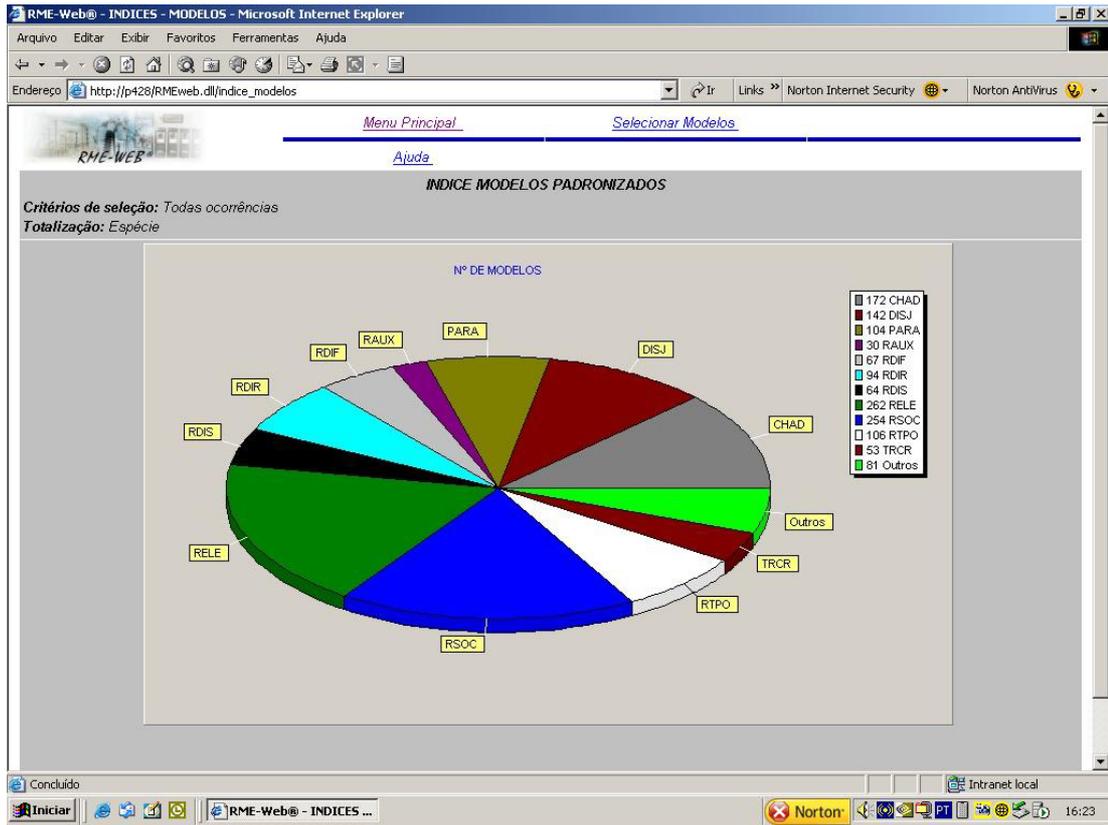


Figura 5.9 - Quantidade de modelos padronizados

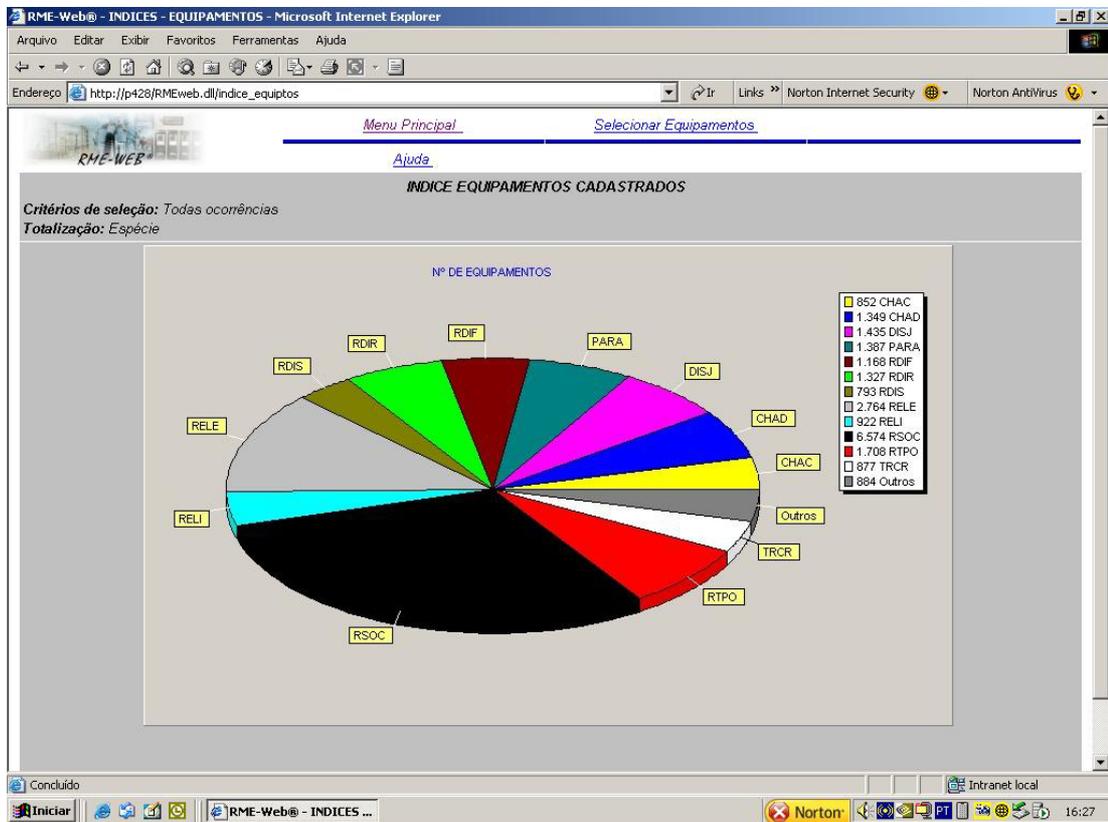


Figura 5.10 - Quantidade de equipamentos cadastrados

As próximas cinco figuras apresentam os gráficos dos índices de manutenção propriamente ditos, definidos no modelo proposto e disponíveis na opção “Índices” do menu principal do RME-Web®.

A figura 5.11 apresenta o “Índice Mão-de-Obra de Execução” com os valores realmente gastos e os valores médios. O critério de seleção foi definido para considerar apenas os equipamentos da espécie “R%” (relés de proteção) e para o ano 2000, e a totalização foi feita por instalações. O gráfico mostra em vermelho o total de mão-de-obra gasta por instalação e em verde o valor médio dessa mão-de-obra, que é o valor total dividido pelo número de equipamentos submetidos à manutenção.

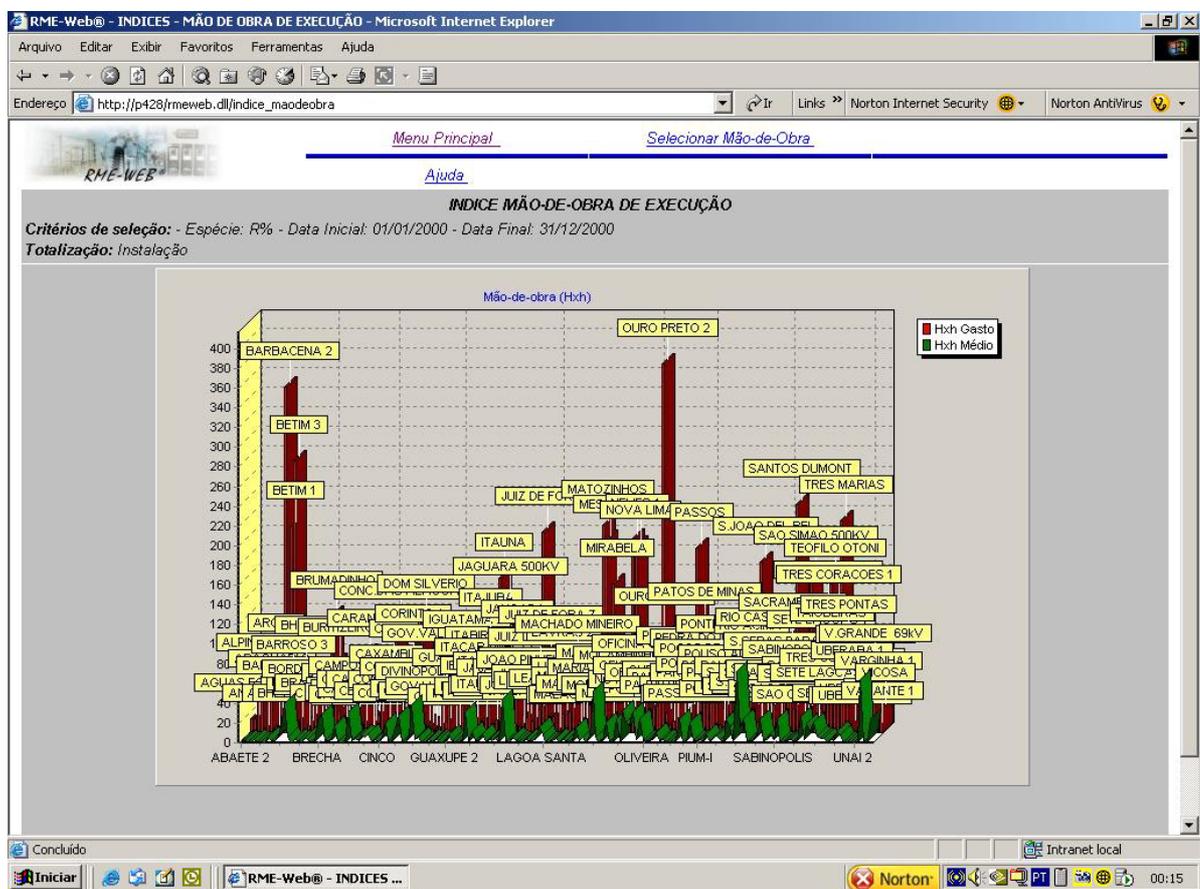


Figura 5.11 - Índice Mão-de-Obra

Esse gráfico fornece uma visão sistêmica de como o custo com a mão-de-obra de execução se divide entre as instalações. Observa-se que a instalação “Ouro Preto 2” foi a que mais consumiu recursos de mão-de-obra no ano de 2000 na área dos equipamentos de proteção. Observa-se também que o valor médio dos custos apresenta picos em determinadas instalações que não podem ser identificadas nesse nível de estratificação. Esses efeitos representados pelo índice são fatos constatados, de maneira simples, imediata e

dinamicamente para qualquer usuário, a partir das informações existentes no banco de dados no momento da consulta. Esse índice poderia ainda ir sendo estratificado, através dos critérios de seleção e totalização, de forma a se obter um melhor detalhamento do efeito constatado. As combinações são muitas e, como já mencionado, foge ao escopo desse trabalho de dissertação.

A figura 5.12 apresenta o “Índice Tempo de Execução” com os valores realmente gastos e os valores médios. Nesse caso, apenas para exemplificar outras possibilidades de estratificação, foi considerado o efeito constatado no índice anterior. Assim, para a instalação “Ouro Preto 2”, o critério de seleção definiu os equipamentos da espécie “R%” (relés de proteção) para o ano 2000 e a totalização foi feita por espécie. O gráfico mostra em vermelho o tempo total gasto por espécie de equipamento e em verde o valor médio desse tempo, que é o valor total dividido pelo número de equipamentos submetidos à manutenção.

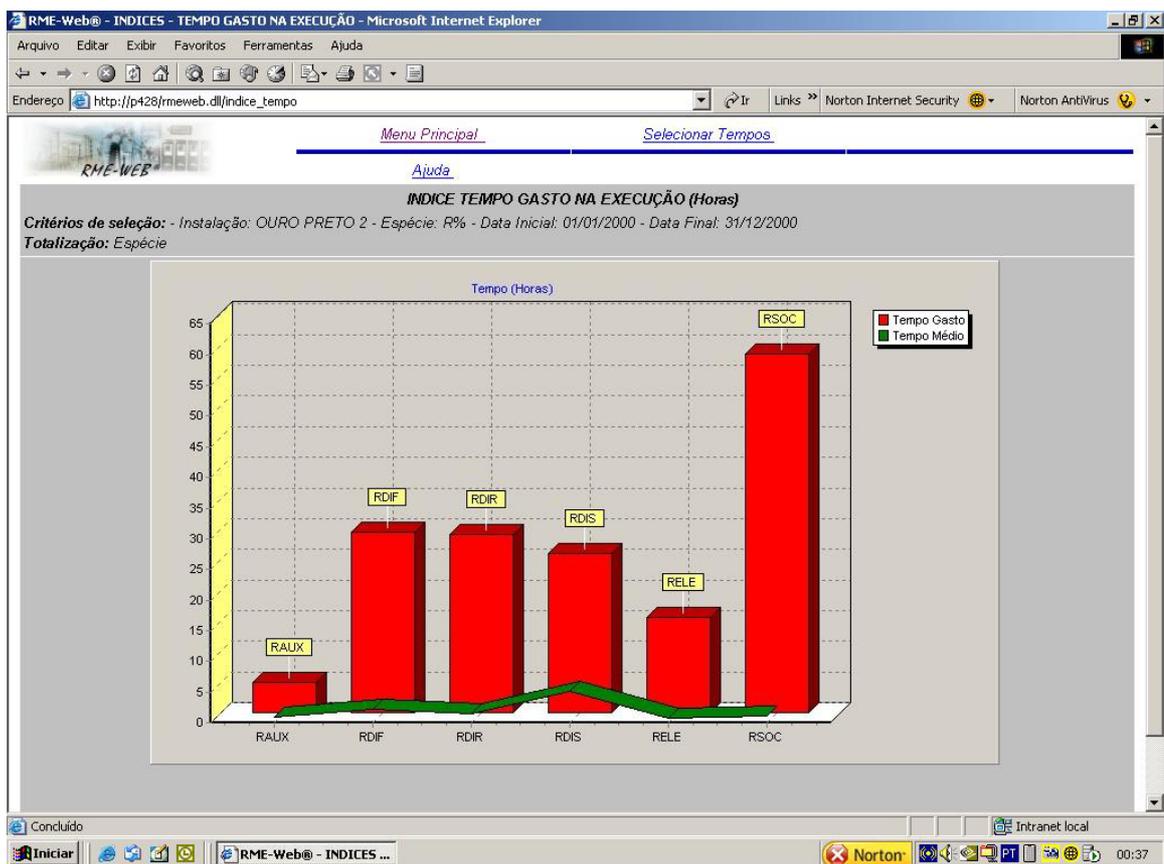


Figura 5.12 - Índice Tempo de Execução

Esse gráfico fornece uma visão sistêmica de como o tempo gasto na execução da manutenção se divide entre as espécies de equipamentos da instalação “Ouro Preto 2”. Observa-se que os equipamentos da espécie “RSOC” (relés de sobrecorrente) dessa instalação foram os que tiveram o tempo total mais elevado no ano de 2000. Observa-se

também que os valores médios dos tempos apresentam o seu máximo para os equipamentos da espécie “RDIS” (relés de distância). Como anteriormente, esses efeitos apresentados pelo índice são fatos constatados, de maneira simples, imediata e dinâmica por quaisquer usuários, a partir das informações existentes no banco de dados no momento da consulta; e poderia ainda ir sendo estratificado, através dos critérios de seleção e totalização, de forma a se obter um melhor detalhamento do efeito constatado. Por exemplo, dentro da espécie poder-se-ia querer saber quais modelos, ou quais equipamentos especificamente, selecionados pelo seu número de identificação, contribuem de forma significativa para a elevação do valor do índice.

A figura 5.13 apresenta o “*Índice Frequência de Manutenção*” com o número de equipamentos submetidos à manutenção no período considerado. Aqui também, considerando o efeito constatado no índice mão-de-obra, o critério de seleção foi definido para a instalação “Ouro Preto 2”, os equipamentos da espécie “R%” (relés de proteção) e para o ano 2000, e a totalização foi feita por espécie. O gráfico mostra em vermelho a quantidade de equipamentos da instalação “Ouro Preto 2” submetidos à manutenção por espécie no ano de 2000.

Observa-se que a espécie “RSOC” (relés de sobrecorrente) foi a que teve o maior número de equipamentos submetidos à manutenção no período. Isso corrobora com o alto valor encontrado para o tempo gasto na execução e o baixo valor médio desse tempo. Já a espécie “RDIS” (relés de distância) apresentou a menor frequência (quantidade por período).

A figura 5.14 apresenta o “*Índice Medições Realizadas*” com o número de ensaios executados nos equipamentos submetidos à manutenção no período considerado. Aqui foi considerado apenas as duas espécies anteriormente mencionadas, sendo o critério de seleção definido para a instalação “Ouro Preto 2”, para os equipamentos da espécie “RDIS” e “RSOC” (a expressão “%S%” seleciona apenas as espécies que têm a letra S em qualquer posição), para o período do ano 2000, e a totalização foi feita por espécie. O gráfico mostra em vermelho a quantidade de ensaios realizados em que os valores encontrados (VE) foram diferentes dos valores deixados (VD). Isso significa que houve uma atuação do executante da manutenção no sentido de calibrar o equipamento. Em verde a quantidade de ensaios com valores encontrados (VE) iguais aos valores deixados (VD), significando que não houve intervenção do executante da manutenção, sendo feita apenas uma aferição do equipamento.

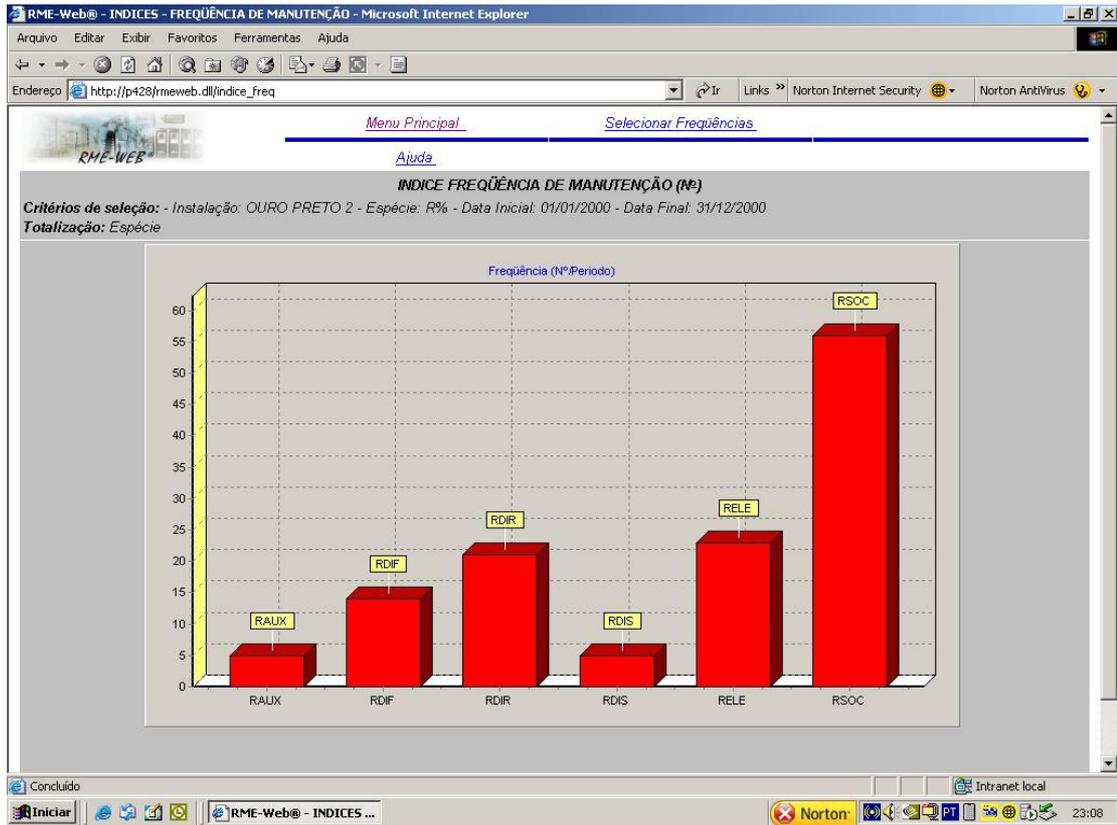


Figura 5.13 - Índice Freqüência de Manutenção

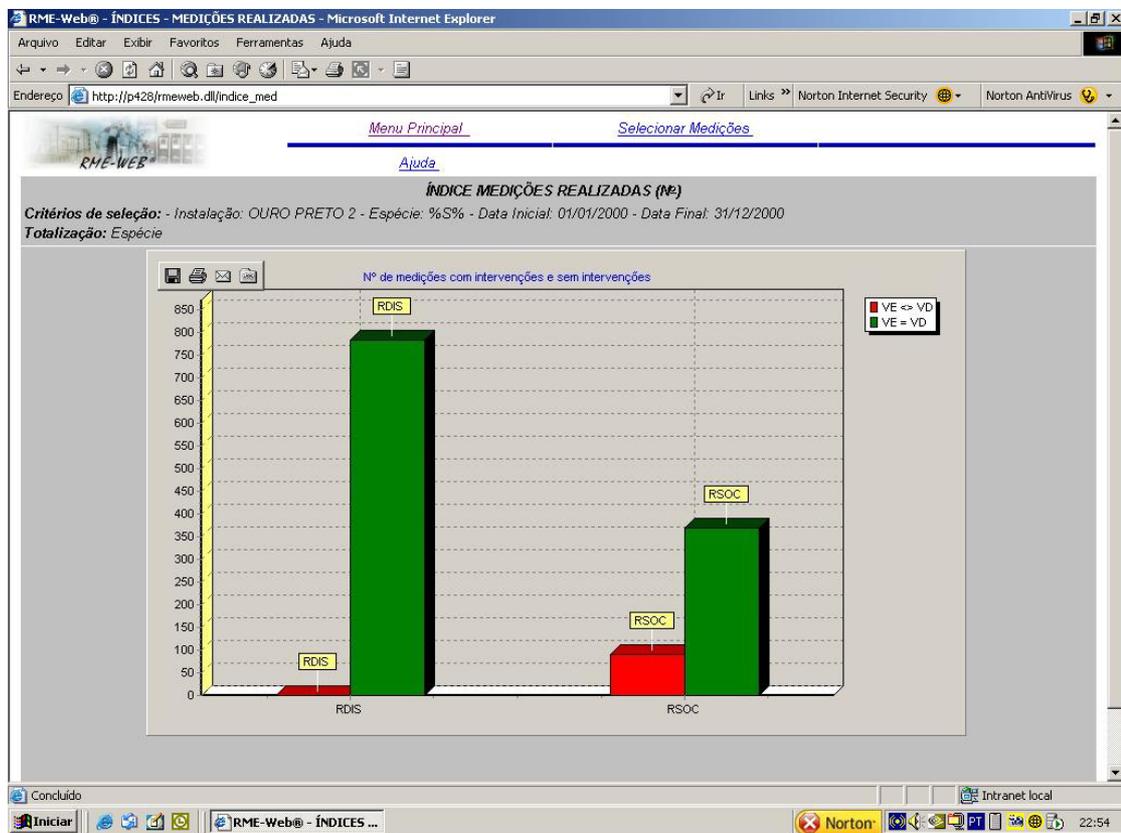


Figura 5.14 : Índice Medições Realizadas

Outra constatação direta que se faz é que os relés de distância (RDIS) são submetidos a um número muito maior de ensaios que os relés de sobrecorrente (RSOC). É só somar as quantidades de ensaios em vermelhos com as em verde e dividir pela quantidade indicada no gráfico da frequência de manutenção (figura 5.13). Assim, nos relés de distância são realizados em torno de  $(0+780) / 5 = 156$  ensaios, enquanto que nos relés de sobrecorrente apenas  $(90+360) / 56 = 8$ . Poder-se-ia querer saber ainda quais modelos dos relés de sobrecorrente estão descalibrando (VE diferente de VD) mais frequentemente, ou ainda, quais equipamentos especificamente estão contribuindo mais significativamente para esse efeito indesejável; para obter essas e outras respostas é só continuar o processo de estratificação por modelo, por número de identificação, e assim por diante. Para se calcular o “Índice Medições Significativas”, que é a parte útil das “Medições Registradas”, utiliza-se a fórmula apresentada na equação 3.5. Assim, tem-se para a espécie “RSOC” que 40%  $(90 \times 100 / 360)$  das medições realizadas foram significativas. Já para a espécie “RDIS” tem-se que 0%  $(0 \times 100 / 780)$  das medições realizadas foram significativas, isto é, não houve intervenção ou calibração no equipamento, pois todos os valores encontrados estavam dentro dos limites admissíveis. Isso sugere um possível aumento na periodicidade de manutenção.

A figura 5.15 apresenta o “Índice Observações Registradas” contabilizando o número de observações registradas durante a execução dos serviços de manutenção. Aqui também o critério de seleção foi definido para a instalação “Ouro Preto 2”, para os equipamentos da espécie “R%” (relés de proteção) e para o ano 2000, sendo a totalização foi feita por espécie. Assim, o gráfico mostra em vermelho a quantidade de observações registradas durante as manutenções dos equipamentos da instalação “Ouro Preto 2” por espécie no ano de 2000.

Coerentemente com o índice anterior, a espécie “RDIS” dos relés de distância não apresentou nenhuma observação. Conforme mostrado, dos 56 equipamentos da espécie “RSOC” testados apenas 2 observações foram registradas. Através de novas estratificações por número de identificação pode-se determinar quais são esses equipamentos e analisar o conteúdo dessas informações para uma tomada de decisão.

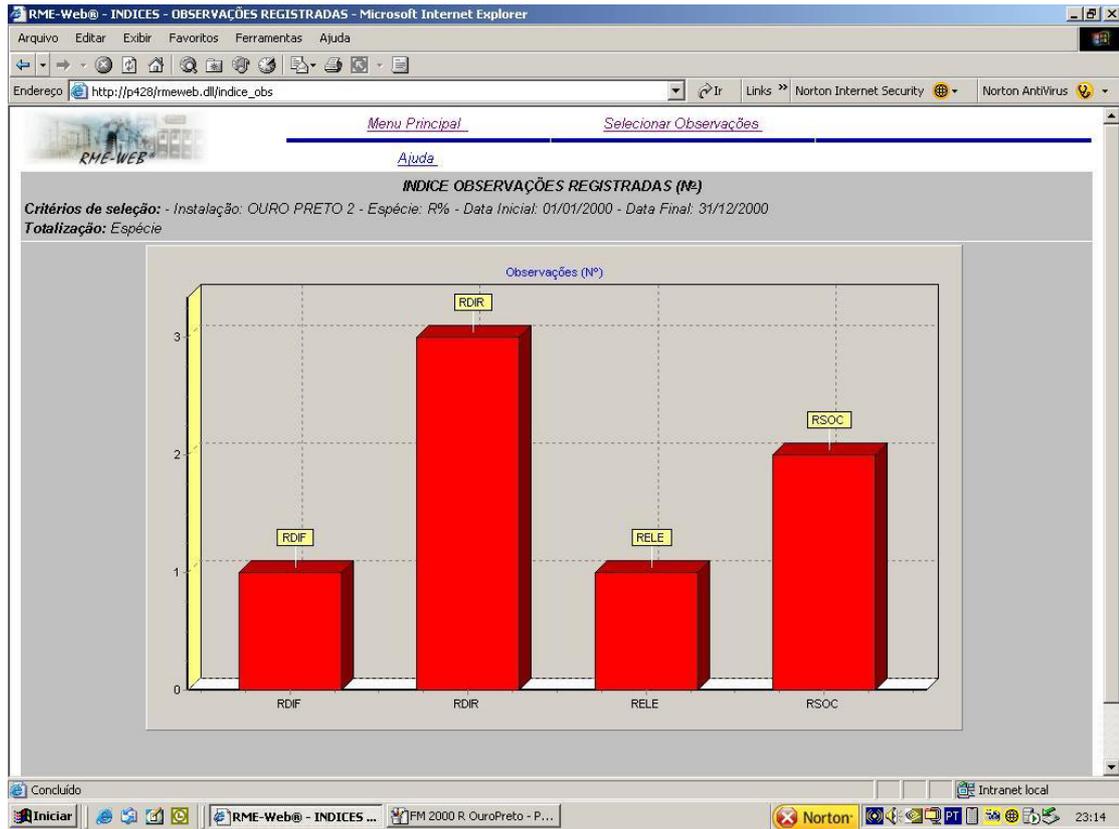


Figura 5.15 - Índice de Observações Registradas

## 5.7 Resultados Obtidos

Os resultados obtidos com o sistema de integração da manutenção podem ser sumarizados nos seguintes itens:

- ✓ A padronização dos métodos de manutenção garante que todos os serviços serão executados segundo um mesmo critério, por qualquer executante de manutenção e em todos os equipamentos da empresa. Isso é fundamental para o gerenciamento sistêmico da manutenção.
- ✓ O framework elimina a obrigatoriedade de possuir o software proprietário RME-Win® e o seu Módulo de Padronização para a construção da base de conhecimento do sistema especialista em manutenção. Também permite o uso da linguagem C++ (um padrão industrial das linguagens de programação e com várias distribuições gratuitas) na produção do conteúdo técnico da base de conhecimento do sistema especialista de manutenção, como alternativa à linguagem Object Pascal do Delphi, que tem um custo pela licença de uso.
- ✓ Qualquer especialista em manutenção pode elaborar aplicativos para gerar folhas de testes de manutenção em equipamento de forma padronizada e reutilizável, não importando se esses especialistas estejam trabalhando para empresas do setor elétrico,

iniciativa privada, cooperativas ou como profissionais liberais, bastando ter acesso ao sistema.

- ✓ Utilização da mão-de-obra especializada apenas em atividades mais complexas, devido aos serviços rotineiros ‘padronizados’ permitirem a utilização de pessoal menos especializado.
- ✓ Eliminação do trabalho redundante de engenharia de manutenção, pois permite uma produção padronizada e colaborativa de conhecimento das técnicas de manutenção e um eventual intercâmbio entre as empresas do setor elétrico. Como qualquer informatização, fornece facilidades de pesquisa e consultas de forma rápida e eficiente.
- ✓ O cadastro dos equipamentos das instalações e dos instrumentos de testes da manutenção fornece um inventário informatizado de todos os ativos da manutenção.
- ✓ O cadastro das configurações e ajustes dos equipamentos fornece consistências eficientes aos valores estabelecidos pelos órgãos de operação do sistema elétrico, normalmente solicitados através de ‘*pedidos de serviços*’ e eliminam possíveis divergências entre esses valores solicitados e os realmente implantados nos equipamento.
- ✓ Fornecem dados históricos dos equipamentos como também de seus ajustes e configurações.
- ✓ Informatiza as folhas de testes no formato e no padrão estabelecido pelo modelo proposto nessa dissertação.
- ✓ Elimina o arquivamento e controle das obsoletas pastas de manutenção, contendo as folhas de testes em papel com o histórico dos resultados, uma vez que após o cadastramento dos dados preenchidos, essas folhas de testes são eliminadas.
- ✓ Elimina os diversos cálculos manuais (valores calculados ou esperados, limites admissíveis, magnitudes e ângulos das grandezas vetoriais a serem aplicadas nos ensaios, etc.) realizados durante a confecção das folhas de testes, evitando possíveis erros humanos e acelerando o processo.
- ✓ Na forma alternativa para a execução manual, utilizando-se de *notebooks* ou *coletores de dados* (não mostrados aqui), evita-se a impressão das folhas de testes e das instruções de manutenções, como também todo o trabalho de registro dos resultados em papel durante as manutenções, pois os dados vão sendo digitados pelo usuário diretamente na tela de cadastramento, à medida que vai sendo feita a sua leitura no instrumento de teste.
- ✓ Na execução automatizada (também não mostrada aqui), evita-se o uso de um software diferente para cada instrumento de teste utilizado, adota o mesmo padrão de ensaios

utilizado na execução manual e é eliminado totalmente o trabalho de digitação por parte dos usuários.

- ✓ Todas as versões do Sistema RME fornecem meios para que os dados obtidos nas manutenções regionalizadas sejam enviados para um banco de dados corporativo e sistêmico da manutenção. Esse banco reúne as manutenções de todas as áreas de execução e é utilizado para pesquisas nos históricos das manutenções realizadas.
- ✓ Facilita o levantamento de amostragens de dados necessárias aos estudos de engenharia de manutenção. Essas amostragens garantem a confiabilidade e uma referência comum aos vários estudos, como interpretação estatística dos resultados, definição de periodicidade, custos de manutenção, obsolescência, desempenho, fim de vida útil, etc.
- ✓ Esse banco de dados corporativo da manutenção é utilizado também para atender as fiscalizações realizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com relação aos resultados dos ensaios de manutenção nos equipamentos, como também atender ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) com relação aos Procedimentos de Rede referentes ao Acompanhamento da Manutenção.
- ✓ Índices de manutenção são disponibilizados graficamente, para todos os usuários, no navegador de internet em resposta a uma consulta, que é feita de forma simples, fácil e dinâmica.
- ✓ Redução dos custos de manutenção como conseqüência da redução do tempo gasto na execução dos serviços rotineiros obtidos com a padronização do “o que fazer”, do “como fazer” e com a automação desses serviços;
- ✓ Maior confiabilidade das manutenções com a conseqüente melhoria no desempenho e na disponibilidade operativa dos equipamentos;
- ✓ Garantia do domínio tecnológico em face de possíveis terceirizações da execução dos serviços de manutenção ou mesmo quando do desligamento dos especialistas das empresas;
- ✓ Controle total da qualidade da manutenção conseguido através da padronização dos processos e dos itens de controle obtidos do Banco de Dados Sistêmico da Manutenção.

## *Capítulo 6*

### **6 Considerações Finais**

Desde a revolução industrial a manutenção dos equipamentos de engenharia tem sido um desafio. Inicialmente eram apenas manutenções corretivas. A entrada do setor aéreo no mercado trouxe o conceito de manutenção preventiva devido às elevadas exigências de segurança. Com a chegada do Boeing 747, possuindo cerca de 4,5 milhões de peças, as empresas aéreas americanas perceberam que os custos com as atividades de manutenção cresceriam vertiginosamente, e o problema foi solucionado com a criação Manutenção Baseada na Confiabilidade – MBC (Reliability Centered Maintenance – RCM) [13].

Como se vê, os problemas relativos à manutenção têm historicamente se apresentados primeiramente no setor aéreo mundial e as suas soluções adotadas posteriormente nos demais setores da sociedade, principalmente no setor elétrico [18; 19; 20].

Nessa linha de raciocínio é oportuno enfatizar os problemas que têm sido noticiados a respeito do setor aéreo brasileiro, a fim de sensibilizar as autoridades e evitar que o mesmo venha acontecer no setor elétrico. O popularmente chamado “apagão aéreo” é um indicativo da negligência e da deficiência gerencial com a manutenção, principalmente no que tange às melhorias e substituições de equipamentos obsoletos e em fim de vida útil, e na qualificação de mão-de-obra especializada, dentre outras atividades desempenhadas pela engenharia de manutenção.

Diferentemente de um passado recente, a manutenção vem se consolidando como parte integrante da estratégia de produção para o sucesso global de uma organização. E para se obter uma atividade de manutenção eficiente, deve-se estruturá-la sobre essa premissa. Espera-se que os equipamentos sejam cada vez mais computadorizados e confiáveis, porém, conseqüentemente, se tornando amplamente mais complexos. Essa computadorização dos equipamentos aumentará significativamente a importância das manutenções via softwares comparativamente às manutenções em hardwares. Espera-se também uma maior ênfase em relação à qualidade, custos, segurança e fatores humanos. Novas idéias e novas estratégias serão requeridas para analisar os benefícios em potencial e transformá-los em rentabilidade. Acima de tudo, operações rentáveis serão aquelas que empregarem idéias modernas para desenvolver estratégias gerenciais de equipamentos que tirem vantagens efetivas de novas informações, tecnologias e métodos [13].

Dentro desse contexto e considerando o cenário adverso em que se encontra o setor elétrico, principalmente no que tange às dificuldades e aos desafios que se apresentam às áreas de manutenção das empresas, esse trabalho de dissertação apresenta um modelo de manutenção integrada para equipamentos de sistemas elétricos, sustentado por um sistema especialista em ambiente web.

Esse modelo proposto pode ser aplicado às áreas de manutenção de empresas de pequeno, médio e grande porte, tanto do setor elétrico industrial como do setor elétrico interligado, sediadas em uma única instalação ou em várias instalações distribuídas em uma ampla área geográfica. Permite a adoção das políticas de manutenção centralizada, descentralizada, terceirizada ou qualquer combinação dessas. Ou seja, é independente da estrutura organizacional das empresas.

Como os equipamentos eletromecânicos e eletrônicos (analógicos e digitais) utilizados nos sistemas elétricos das empresas são basicamente os mesmos, uma vez que são de fabricação multinacional, e possuem processos de manutenção bastante similares em sua essência, e como também as áreas de manutenção das empresas defrontam com os mesmos problemas e necessidades, a conclusão mais importante dessa dissertação é que a aplicação do modelo proposto em nível nacional, cujo alto grau de prioridade é devido a interligação do sistema elétrico brasileiro, seria uma solução única, abrangente e colaborativa que traria benefícios para toda a comunidade de manutenção.

Na figura 6.1 é mostrada a abrangência considerada por essa dissertação, que é um *modelo de manutenção integrada* tanto internamente às empresas do setor elétrico, como também entre elas.



Figura 6.1 - Proposta de um modelo de manutenção integrada em nível nacional.

Em última análise, a idéia fundamental da conclusão deste trabalho de dissertação é que a união de forças entre as empresas concessionárias de energia elétrica em torno do processo de manutenção minimizaria os esforços para solucionar os problemas apresentados. Os maiores benefícios oferecidos por esta solução podem ser resumidos em:

- Maior qualidade nos serviços de manutenções com a conseqüente melhoria na confiabilidade e na disponibilidade operativa dos equipamentos;
- Redução dos custos de manutenção como conseqüência da redução do tempo gasto na execução dos serviços rotineiros obtidos com a padronização do ‘o que fazer’, do ‘como fazer’ e com a automação desses serviços, onde for o caso, nas empresas do setor elétrico brasileiro;
- Garantia do domínio tecnológico em face a possíveis terceirizações da execução dos serviços de manutenção ou mesmo quando do desligamento dos especialistas das empresas;
- Eliminação do trabalho redundante de engenharia de manutenção na padronização técnica da manutenção intra e inter-empresas, uma vez que poderá existir o compartilhamento das informações armazenadas no sistema;
- Utilização da mão-de-obra especializada apenas em atividades mais complexas, devido aos serviços rotineiros ‘padronizados’ permitirem a utilização de pessoal menos qualificado;
- Banco de dados sistêmico da manutenção que poderá viabilizar os estudos de engenharia sobre as manutenções nos equipamentos, tais como: periodicidade, tempo taxa de falhas, custos, desempenho, obsolescência, vida útil, etc.
- Controle total da qualidade da manutenção conseguido através da padronização dos processos e dos itens de controle obtidos do banco de dados sistêmico da manutenção.

A seguir, serão apresentadas duas propostas de trabalhos futuros, para dar continuidade a esse trabalho de dissertação de mestrado, a serem realizados a partir do banco de dados sistêmico da CEMIG, com os valores reais dos resultados das medições obtidos nas manutenções no período de 1992/2007. Esses trabalhos seriam de grande interesse para a comunidade de manutenção em geral:

1. Planejamento estratégico da manutenção baseada na condição utilizando técnicas de confiabilidade (estudo analítico para determinação taxas de falhas, tempo médio entre falhas, etc para cada família ou espécie de equipamentos, etc), de análise de falhas incipientes e de tomada de decisão;
2. Utilização de técnicas para a descoberta de conhecimento em banco de dados (KDD – Knowledge Discovery in Database), mais especificamente “Data Mining” (garimpagem de dados), para analisar e extrair automaticamente conhecimento desse banco de dados. O interessante é que “Data Mining” pode fornecer informações potencialmente úteis para a tomada de decisão, quando se tem apenas uma vaga idéia sobre o que se está procurando. Mais ainda, tem a habilidade de encontrar respostas para questões que jamais seriam feitas.

Assim, considerando a engenharia de manutenção como um instrumento eficiente na busca da excelência dos sistemas elétricos, que se traduz pela necessidade crescente de otimização da disponibilidade das instalações, equipamentos e sistemas, em um cenário com aspectos recessivos, em que os investimentos são cada vez menores, esperamos que esta dissertação contribua, de fato, para a melhoria da qualidade da manutenção no setor elétrico brasileiro.

## 7 Referências Bibliográficas

1. ALVES, Edson **Manutenção de subestações de distribuição de energia elétrica: uma visão crítica e atual**. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
2. CAMPOS, Vicente Falconi, "**TQC – Controle de qualidade total (no estilo japonês)**", Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia UFMG, Editora Bloch, Brasil, 1992
3. CUNHA, Dilmar G.; **Aplicação dos atuais recursos da tecnologia da informação em um sistema especialista em manutenção de equipamentos elétricos de potência**. Monografia. Curso de pós-graduação lato sensu em Gerência da Tecnologia da Informação, FUMEC, Belo Horizonte, 1999.
4. CUNHA, Dilmar G.; COSTA, André L. M.; GOMES, João L. O. **Testes automatizados e padronizados em relés de proteção**. VII STPC, Rio de Janeiro, RJ, Anais, Artigo 37607001, junho 2003.
5. CUNHA, Dilmar G.; COSTA, André L. M.; GOMES, João L. O. **CEMIG achieves automated maintenance**. Revista T&D WORLD, Kansas, EUA, v. 50, n. 6, p. 58-68, June 1998.
6. CUNHA, Dilmar G., GOMES, João L. O. **RME - Sistema especialista em manutenção**. XIV SNPTEE, Belém, PA, Anais, out. 1997.
7. CUNHA, Dilmar G. **Total automation of tests with the RME – maintenance expert system**. In: Annual International Conference of Doble Clients 1997, Boston, EUA. Anais. 1997.
8. CUNHA, Dilmar G. **RME - Sistema especialista em manutenção**. V STPC, Curitiba, PR, Anais, set. 1995.
9. CUNHA, Dilmar G. **Sistema Especialista em Manutenção: Metodologia informatizada e banco de dados central de nível sistêmico para os equipamentos de proteção, manobra, transformação, medição, geração e telecomunicações**. I SEMASE / ELETROBRÁS, Foz do Iguaçu, PR, Anais, ago. 1995. *Prêmio de melhor trabalho do seminário*.
10. CUNHA, Dilmar G. **Sistema especialista em Manutenção Preventiva de Relés de Proteção**. XVII SOMSE - CIER - COMISSIÓN DE INTEGRACIÓN ELECTRICA REGIONAL, Montevideú. Uruguai, Anais, jul. 1994.

11. CUNHA, Dilmar G. **Sistema especialista em manutenção**. 1<sup>o</sup> ENCONTRO MINEIRO DE MANUTENÇÃO DA ABRAMAN / MG, Belo Horizonte, MG, Anais, set. 1993. *Prêmio de melhor trabalho do seminário*.
12. CUNHA, Dilmar G., **An Expert System Makes Easier the Maintenance of Protective Relays and Increases its Reliability**, Cigré, Symposium Berlin 1993, n<sup>o</sup> 140-02.
13. DHILLON, B. S. **"Engineering Maintenance: a modern approach"**, CRC Press, Florida, USA, 2000
14. GAMMA, E.; HELM, R.; JOHNSON, R.; VLISSIDES, J.; **"Padrões de Projeto - Soluções reutilizáveis de software orientado a objetos"**, Bookman Companhia Ed., Brasil, 2000
15. GOMES, João Luiz O. **Controle sistêmico da qualidade da manutenção em equipamentos do setor elétrico**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.
16. ROIGER, Richard J.; GAETZ, Michael W. **Data Mining: A Tutorial Based Primer**, Addison Wesley, USA, 2003
17. WIKIPÉDIA, **"Sistema Especialista"**; [http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_especialista](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_especialista).
18. NORDSTRÖM, L.; **A Broadband Wide-Area Network as an Enabler of Improved Power System Maintenance**; IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 21, no. 01, pp.108-112; Jan. 2006.
19. A Report of the IEEE-PES Task Force on Impact of Maintenance Strategy on Reliability of the Reliability, Risk and Probability Applications Subcommittee; **The Present Status of Maintenance Strategies and the Impact of Maintenance on Reliability**; IEEE Trans. on Power Systems, vol. 16, no. 04, pp.638-646; Nov. 2001.
20. BILLINTON, R.; **Bibliography on the Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation 1996-1999**; IEEE Trans. on Power Systems, vol. 16, no. 04, pp.595-602; Nov. 2001.
21. MEEUWSEN, J.J.; KLING, W. L.; **Effects of Preventive Maintenance on Circuit Breakers and Protection Systems upon Substation Reliability**. Electric Power Systems Research, vol.40, pp.181-188; 1997.

22. WANG, M.; VANDERMAAR, A. J.; SRIVASTAVA, K. D.; **Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service.** IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 18, no. 06, pp.12-25; Nov/Dec. 2002.
23. JUNG, T.; TENBOHLEN, S.; ALTWEGG, J.; ROUSSEL, P.; HARFOUCH, C.; **Implementation of New Monitoring Tools and Optimization of Maintenance Through the Use of Web-based Technology.** CIGRÉ, sessions 1998 - 2000 - 2002.