



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GMI 08
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS - GMI

ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO EM SISTEMAS ELETROELETRÔNICOS

Alexandre Pinhel Soares* José Antonio Paula Motta

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

RESUMO

Esse trabalho propõe uma abordagem corporativa para a Engenharia de Manutenção em Sistemas Eletroeletrônicos de forma a harmonizar as diferenças de importância que normalmente ocorrem em empresas onde a atividade-fim são processos industriais muito específicos, como é o caso do Setor Elétrico.

Será mostrado que os Sistemas Eletroeletrônicos devem ter tratamento tecnicamente diferente dos Sistemas Eletromecânicos e como enquadrar ambos os tipos em uma mesma Política de Manutenção, apesar das diferenças levantadas.

Algumas questões adicionais, como contratos, administração de sobressalentes, procedimentos de manuseio e adequação de projetos serão também investigadas.

PALAVRAS-CHAVE

Engenharia de Manutenção, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Sistemas Eletroeletrônicos.

1.0 - INTRODUÇÃO

A implantação de metodologias de manutenção em grandes empresas que tenham por atividade-fim processos industriais muito específicos, por vezes pode relegar a segundo plano processos internos também altamente importantes. No Setor Elétrico é natural que as atividades diretamente envolvidas com geração, transmissão e distribuição de energia ocupem o centro do palco da Engenharia de Manutenção. Porém, como consequência indesejada desse foco, observa-se muitas vezes o aparecimento de implementações de modelos de manutenção inadequados aos sistemas de supervisão, controle e telecomunicações, que também são vitais para o pleno alcance dos objetivos operativos das empresas.

Por outro lado, o desenvolvimento de uma Engenharia de Manutenção específica para os sistemas eletroeletrônicos não condiz com o ponto de vista unificador de uma corporação pois, além de reforçar a segregação de algumas áreas de atividade, pode turvar o cenário dificultando uma precisa visualização dos problemas e comprometendo importantes decisões técnicas, gerenciais e até mesmo estratégicas.

A solução para esse dilema pode advir da determinação da importância relativa entre os equipamentos e seus respectivos tipos de impacto aos diversos interesses da empresa, em caso de falha. Outra questão básica a ser considerada é que os modos de falha de equipamentos eletromecânicos são fundamentalmente diferentes dos eletroeletrônicos. Enquanto os primeiros apresentam desgaste ao longo do tempo os outros falham aleatoriamente.

FURNAS, após perceber as sutilezas e complexidades desse cenário, passou a buscar a incorporação efetiva da Engenharia de Manutenção de equipamentos eletroeletrônicos à Engenharia de Manutenção dos equipamentos envolvidos mais diretamente com a atividade-fim da Empresa. Desenvolveu-se então uma linha de ação baseada nas condições de contorno citadas no parágrafo anterior.

Será mostrada a necessidade de tratamento diferenciado entre sistemas com falhas provocadas por desgastes conhecidos e aqueles que falham aleatoriamente. Será apresentada também uma sugestão de unificação de todos os tipos de equipamentos através de uma escala de criticidade imparcial, não ambígua e de fácil interpretação e com isso a implementação de uma Engenharia de Manutenção realmente corporativa. Essa escala é composta pela ponderação de diversos fatores (operação, meio ambiente, imagem, administração, etc.) que resultam em uma relação de percentuais de criticidade que são individuais a cada equipamento, de cada modelo e em cada local, com semelhança ao que é praticado por metodologias atuais de Engenharia de Manutenção, como a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

2.0 - MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - MCC

2.1 Motivação

Orientar a Manutenção para a maximização da disponibilidade e da confiabilidade dos equipamentos é uma estratégia muito razoável em termos dos interesses das empresas, especialmente diante do aumento da complexidade dos processos produtivos que cada vez mais dependem de alta tecnologia e, conseqüentemente, de pessoal altamente qualificado. Essa filosofia pode ser posta em prática de várias maneiras sendo a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) uma das mais adotadas atualmente [1].

A MCC objetiva assegurar que um equipamento continue a efetuar suas funções no contexto operacional e sua ênfase é determinar a manutenção necessária para que o equipamento continue funcionando ao invés de tentar restabelecer suas características originais ou suas condições ideais. Um ponto de destaque nessa abordagem é o tratamento diferenciado de equipamentos idênticos, definindo-se tarefas distintas ou com diferentes períodos conforme o contexto operacional ou o impacto produtivo em caso de falha.

Mas apesar de estar sendo implementada com sucesso em sistemas eletromecânicos em Furnas [2,3], essa metodologia apresentou inadequações quando aplicada aos sistemas eletroeletrônicos, especialmente naqueles com funções de autodiagnóstico ou com alto grau de automatismo.

Essas dificuldades levaram à investigação de aplicações de MCC no segmento aeronáutico, uma vez que, além de ser grande usuário de sistemas eletroeletrônicos, foi pioneiro nessa metodologia na década de 60. Um dos documentos fundamentais desse setor [4] foi a base da norma de MCC elaborada pela International Electrotechnical Commission – IEC [5], uma das instituições normativas mais influentes da atualidade para sistemas eletroeletrônicos. Considerou-se então que havia embasamento normativo suficiente para adoção da MCC como metodologia de manutenção para sistemas eletroeletrônicos.

2.2 Características

A MCC é uma metodologia que foca na função do sistema e nas conseqüências da perda da função, ao invés de focar nos equipamentos em si. Essa importante quebra de paradigma mostra-se muito interessante economicamente, pois reduz fortemente os gastos de manutenção na medida em que evita manutenções desnecessárias que podem acarretar paradas e perdas de produção. Ela pode ser resumida na busca de quatro objetivos fundamentais:

- 1 - Preservar as funções do sistema.
- 2 - Identificar modos de falhas que afetem essas funções (falhas funcionais).
- 3 - Determinar a importância das falhas funcionais a partir da análise dos modos de falhas.
- 4 - Selecionar atividades de manutenção preventiva que sejam aplicáveis e eficazes.

As formas como esses objetivos podem ser alcançados através da MCC aparecem com freqüência na literatura especializada [1,2,3,4,5] e baseiam-se nas tarefas abaixo:

- 1 - Escolha dos sistemas de interesse.
- 2 - Coleta de informações desses sistemas.
- 3 - Levantamento das fronteiras desses sistemas.
- 4 - Descrição dos sistemas em blocos funcionais.
- 5 - Levantamento das funções do sistema e suas respectivas falhas funcionais.

Ao aplicá-la [2,3] percebem-se rapidamente alguns pontos muito positivos, alguns deles como efeitos colaterais não diretamente ligados à metodologia em si, mas como consequência da forma como o processo ocorre. Como destaque tem-se que a metodologia:

- 1 - Trata diferentemente os sistemas iguais.
- 2 - Gera minuciosa documentação.
- 3 - Gera e sedimenta conhecimento.
- 4 - Fomenta intercâmbios.
- 5 - Otimiza tarefas.

A implementação da metodologia mostrou-se mais fluente em sistemas cujas manutenções são preventivas baseadas no tempo, o que não é o caso dos sistemas eletroeletrônicos.

3.0 - SISTEMAS ELETROELETRÔNICOS

3.1 Fundamentos

A diferença fundamental percebida entre equipamentos eletroeletrônicos e os demais, i.e., os elétricos, os mecânicos e os eletromecânicos é o fato desses últimos possuírem partes com desgaste e degradação conhecidos. Nesses casos a probabilidade de falha aumenta com o tempo e pode ser tratada matematicamente com razoável segurança¹. A consequência imediata dessa característica é que se pode elaborar um Plano de Manutenção confiável e economicamente interessante composto de tarefas preventivas baseadas no tempo.

Já para equipamentos eletroeletrônicos não há desgaste que possa ser acompanhado com precisão suficiente². Na prática considera-se que esses sistemas não degradam com o tempo e que toda a falha é aleatória, impondo uma abordagem matemática específica [6].

Essa diferença fundamental entre os comportamentos das falhas provoca dificuldades quando da implementação de um Plano de Manutenção filosoficamente unificado, especialmente em cenários onde ambos os tipos de sistemas convivem. Um caso emblemático observado no Setor Elétrico é o dos sistemas de supervisão e controle, que são eletroeletrônicos e que estão, em muitos casos, associados à chaves seccionadoras, disjuntores ou geradores, que são sistemas eletromecânicos. A determinação das tarefas de manutenção e suas periodicidades apresenta grandes dificuldades devido aos aspectos contraditórios que emergem quando da elaboração de um Plano de Manutenção para contextos híbridos como esse.

Mesmo cenários essencialmente eletroeletrônicos, como são usualmente as Telecomunicações, devem ser incorporados a Planos de Manutenção mais amplos e que englobam cenários eletromecânicos, que podem ser dominantes e verdadeiramente o são no caso do Setor Elétrico.

Pode-se concluir então que, para contornar os efeitos nocivos de uma abordagem direcionada os Planos de Manutenção devem ser elaborados com ferramentas e metodologias que consigam unir, imparcialmente, esses dois mundos.

3.2 Condições de contorno

O fato dos equipamentos eletroeletrônicos não degradarem com o tempo de forma a manterem o regime de falhas restrito ao modo aleatório ao longo de toda a vida útil (que é limitada, fundamentalmente, pela obsolescência tecnológica) só será verdadeiro se nenhum fator externo causar interferências que modifiquem suas características intrínsecas. Caso ocorra algum evento que modifique o contexto inerente do sistema, já não se pode afirmar que não haverá degradação nem que as falhas serão aleatórias.

Tem-se então que o foco da Engenharia de Manutenção para os sistemas eletroeletrônicos deve ser direcionado para o ambiente onde o sistema está inserido de forma a garantir as condições de contorno que manterão imutáveis as características inerentes dos itens eletrônicos de forma a manter o regime de falhas no modo aleatório.

Para uma efetiva circunscrição dos itens eletrônicos dentro dos limiares de ausência de interferências externas as atividades de construção, embalagem, transporte, montagem, ativação, operação, manutenção, testes e manuseio devem ser bastante controladas.

¹ Alguns sistemas não eletroeletrônicos muito complexos podem possuir grande quantidade de curvas de desgaste resultando em um comportamento de falhas aparentemente aleatório. Nesses casos a Manutenção deve tratar individualmente as partes críticas do sistema de forma a poder utilizar a seu favor as características conhecidas de desgaste.

² Há exemplos de dispositivos eletrônicos com desgastes, como *lasers*.

Sendo o equipamento de qualidade reconhecida, i.e., tendo sido projetado, fabricado e embalado dentro de critérios rígidos de qualidade e uma vez que seu transporte, armazenagem, montagem e ativação tenham sido feitos também de forma criteriosa, espera-se que as falhas que vierem a ocorrer devam-se às características construtivas intrínsecas dos componentes.

A partir da entrada em operação, qualquer intervenção externa deve ser considerada como fonte potencial de inserção de problemas. Tem-se então que os eventuais manuseios devem ser feitos com rigor (especialmente quanto às precauções contra descargas eletrostáticas [7]) e somente quando forem imprescindíveis.

Em sistemas mais complexos, para que a necessidade de intervenção seja clara, deve existir algum tipo de monitoração que indique conclusivamente o diagnóstico de falha, caso contrário poderão ocorrer desligamentos e manuseios indevidos e potencialmente danosos. Sabe-se porém que sistemas de monitoração inerentes encarecem o produto e só existirão em projetos que estejam alinhados com a Manutenção.

3.3 Projeto Orientado à Manutenção

Fica claro então que em sistemas eletroeletrônicos os projetos devem ser concebidos com forte contribuição da Engenharia de Manutenção. Dessa forma as intervenções humanas passarão a ser mínimas fazendo a confiabilidade tender aos valores intrínsecos dos equipamentos que, espera-se, sejam ótimos.

Nos casos em que os projetos de sistemas eletroeletrônicos não possuam características orientadas à manutenção a Engenharia de Manutenção poderá ser levada a optar pelo reprojeto, recomendação normalmente proibitiva levando, na prática, ao emprego da mera manutenção corretiva.

Os projetos devem contemplar fortemente as características ambientais que atuarão sobre o sistema de forma a garantir a ausência de interferências e a minimizar as intervenções indevidas. Devem também, sempre que economicamente viável, ter topologia redundante o que, além de aumentar a confiabilidade, permite intervenções sem perda das funções. Devem também facilitar a realização de inspeções e a indicação de problemas. Exemplos de características desejadas em projetos de sistemas eletroeletrônicos podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1: Exemplos de características desejadas em sistemas eletroeletrônicos

Bastidores
Partes visíveis e com livre acesso e com iluminação interna adequada.
Portas e tampas com alta densidade de perfuração (quando em ambientes controlados).
Ventilação por convecção (ausência de ventiladores).
Ausência de partes isolantes (acrílico, por exemplo) potenciais geradoras de carga elétrica.
Proteção
Facilidade para inserção de itens de proteção contra descargas eletrostáticas [7].
Dispositivos de proteção contra descargas atmosféricas [8].
Monitoração
Alarmes com indicações visuais e sonoras e com saída em formato texto.
Envio de alarmes por email.
Sistema de alarmes com auto-verificação de integridade.
Monitoração de fatores naturais (geofísicos e meteorológicos) [9,10].
Monitoração de fatores locais (temperatura, umidade, vibração).
Utilização de termometria/termografia [11].
Pontos especiais pré-definidos para uso de termometria/termografia.
Alimentação
Chaves, disjuntores e fusíveis em locais com acesso sem risco elétrico.
Disjuntores com indicação de sobrecarga (trip).
Dupla alimentação para equipamentos essenciais [12].
Descentralização da alimentação [12].
Ventilação por convecção (ausência de ventiladores).
Acesso fácil às baterias com possibilidade de troca com equipamento energizado [12].
Utilização de técnicas modernas para medição de baterias [13].
Bancos de baterias com pólos frontais (facilidade de medição).
Corrosão
Pintura e vedação compatíveis com a agressividade do meio.
Utilização de inibidores de corrosão.
Conexões
Pinos de cabos com propriedades mecânicas duráveis.
Porcas, parafusos e arruelas com metais adequados (evitar corrosão galvânica).

Freqüentemente observa-se um desalinhamento entre os desejos da Manutenção e o que efetivamente é projetado. Além disso, quando se procura analisar o custo a longo prazo, nota-se que nem sempre o menor investimento inicial é a melhor opção. Gastos decorrentes de dificuldades de operação e manutenção e com eventuais modificações tornam projetos inicialmente atrativos em opções caras. Por outro lado é difícil quantificar esses valores na etapa de especificação, de forma que o uso da experiência da Manutenção desde as etapas iniciais do processo aparenta ser um bom caminho para o desenvolvimento de projetos que resultem no menor custo ao longo de sua vida útil.

Mas devido a fatores históricos, os órgãos de projeto freqüentemente estão distantes da Manutenção dentro da estrutura organizacional das empresas. Quando for esse o caso, uma aproximação efetiva deve ser fomentada pela alta gerência o que certamente resultaria em grandes benefícios econômicos.

4.0 - FUNÇÃO E FALHA FUNCIONAL

A busca pela implantação de uma Engenharia de Manutenção efetivamente unificadora passa pelo mapeamento das funções de todos os sistemas de interesse e das conseqüências em caso de falha. Nas empresas do Setor Elétrico é natural ter-se um foco operativo, porém a perda de funções não operativas pode causar tanto ou mais transtornos e prejuízos quanto a perda de uma função tipicamente operativa como a parada de uma unidade geradora. Falhas em centrais telefônicas, roteadores de dados ou sistemas de transmissão de telecomunicações são exemplos emblemáticos. Pode não ocorrer perda de produção de eletricidade ou de capacidade operacional, porém seguramente ocorrerão prejuízos por motivos administrativos.

Um passo importante para a unificação é a elaboração de uma matriz que contemple todos os tipos de falhas funcionais de interesse. A tabela 2 apresenta uma abordagem possível. Lá pode-se observar a separação entre funções operativas e funções administrativas e entre funções diretamente relacionadas com a produção de energia e aquelas que são de apoio. Mapeamentos desse tipo são sugeridos por técnicas modernas como a MCC, porém nesse caso preocupou-se com a integração de todas as funções presentes nos processos produtivos, e não somente naquelas diretamente relacionadas com a atividade-fim da empresa. Essa “abertura de foco” é peça chave para o sucesso de uma Engenharia de Manutenção equilibrada e verdadeiramente corporativa.

Ainda pela tabela 2, pode-se observar que as funções 1, 2 e 3 dizem respeito à produção e transmissão de energia elétrica com confiabilidade. Já os itens 4 e 5 referem-se aos fluxos de informação que permitirão a confiabilidade dos outros itens. Vale ressaltar os itens 4.4 e 5.4, que referem-se a perda de capacidade de manutenção do equipamento (defeito em uma porta de comunicação para acesso de configurações, por exemplo). Nesse caso, apesar de não ocorrer impacto funcional direto, o cenário será potencialmente perigoso.

A diferença entre as funções 4 e 5 diz respeito à natureza da informação, se ela é operativa, i.e., refere-se aos processos de produção e transmissão de energia elétrica ou se está somente ligada a eles por meio de processos administrativos. Essa distinção torna-se interessante na medida que enriquece o detalhamento dos contextos das falhas, discriminando com clareza as características fundamentais da informação que será afetada.

Tabela 2: Exemplo de matriz de mapeamento de falhas funcionais

Função		Falha Funcional	
1	Manter fluxo de potência para o sistema elétrico, para manter toda a demanda solicitada, dentro dos níveis de confiabilidade e qualidade estabelecidos.	1.1	Não manter ou não restabelecer o fluxo de potência para o sistema elétrico, para atender toda a demanda solicitada, dentro dos níveis de confiabilidade e qualidade estabelecidos.
		1.2	Manter fluxo de potência para o sistema elétrico sem atender toda a demanda solicitada, por restrições em equipamentos.
		1.3	Manter fluxo de potência para o sistema elétrico, para atender toda a demanda solicitada, com confiabilidade ou qualidade ou segurança diminuída.
2	Bloquear a propagação de anormalidades ou perturbações no sistema.	2.1	Não isolar faltas.
		2.2	Perda de confiabilidade da proteção da subestação/sistema elétrico.
3	Permitir isolar equipamentos / instalações para manutenção.	3.1	Não isolar para manutenção.
		3.2	Não aterrar/desaterrar uma linha.
4	Manter o fluxo normal de informações OPERATIVAS dentro dos níveis de qualidade estabelecidos (supervisão e controle, telemedição e comunicação operativa).	4.1	Anormalidades no fluxo de comunicação de dados operativos.
		4.2	Anormalidades no fluxo de comunicação de voz operativa.
		4.3	Redução da confiabilidade do fluxo de informações operativas.
		4.4	Redução da manutenibilidade.
		4.5	Perda de receita
5	Manter o fluxo normal de informações ADMINISTRATIVAS dentro dos níveis de qualidade e custos estabelecidos (tudo que não for operativo).	5.1	Anormalidades no fluxo de comunicação de dados administrativos.
		5.2	Anormalidades no fluxo de comunicação de voz administrativa.
		5.3	Redução da confiabilidade do fluxo de informações administrativas.
		5.4	Redução da manutenibilidade.
		5.5	Perda de receita

5.0 - CRITICIDADE EFETIVA - CE

Diante do exposto anteriormente, torna-se interessante uma escala que apresente a importância relativa tanto dos sistemas eletromecânicos quanto dos eletroeletrônicos. Uma abordagem possível pode ser obtida a partir da criticidade, como o exemplo apresentado na tabela 3. Variantes desse modelo irão depender dos interesses e das atividades a serem mapeadas.

Sabe-se também que a criticidade varia com o tempo, i.e., uma falha terá impactos de diferentes magnitudes conforme a hora do dia ou o dia da semana em que ocorra. Porém a implementação de um modelo que levasse em consideração essa característica dinâmica aparentou ser desnecessário. Optou-se por uma simplificação onde a criticidade da falha é calculada para o pior caso.

Outro aspecto relevante é que as necessidades de visualização das equipes de manutenção são diferentes das gerências superiores. Os primeiros normalmente estão focados em suas atividades específicas enquanto os últimos usualmente necessitam de uma visão mais ampla do cenário. Desenvolveu-se então os conceitos de Criticidade Global (CG) e Criticidade Local (CL) onde uma leva em consideração todos os fatores a outra pondera somente os fatores que tiverem relevância, i.e., pontuação maior que zero. Assim consegue-se montar *rankings* locais e globais de forma a atender aos diferentes interesses de visualização. Além disso, e visando fornecer uma escala única de visualização, criou-se o conceito de Criticidade Efetiva (CE), que pondera as duas anteriores dando um peso maior ao fator Global.

Na tabela 4 é apresentado um exemplo de aplicação desses conceitos. Nesse caso pode-se observar que um colapso completo da central telefônica da sede da Empresa alcançou 33% de Criticidade Efetiva, em uma escala de 0 a 100%. Esse valor foi obtido considerando a Criticidade Global com peso 3 e a Local com peso 1. Para efeito de memória de cálculo, utiliza-se duas variáveis denominadas "Total-Pontos" (TP) e "Peso-Específico" (PE). A primeira é a soma dos pontos obtidos pela falha e a segunda é a soma dos valores máximos possíveis dos fatores pertinentes. A Criticidade Local então é obtida pela razão entre a soma dos pontos e o Peso-Específico enquanto a Criticidade Global é a razão entre a soma dos pontos e o máximo de pontos possível, no caso 700. Por praticidade, os valores são expressos em notação percentual.

No exemplo citado considerou-se que a falha não causa perda de produção de energia elétrica, não gera risco de acidente em pessoas, não afeta o Meio Ambiente nem a sociedade e não causa perda direta de receita. Por outro lado considerou-se que afeta razoavelmente a imagem da Empresa e a Operação do Sistema Elétrico e é crítico para a Administração da Empresa. Considerou-se também que a manutenção a ser realizada é difícil e que o tempo de restabelecimento é alto.

Naturalmente que o ajuste de pesos pode ser feito de maneira diversa, conforme o entendimento de cada equipe de manutenção, portanto é recomendável que a elaboração de uma lista completa de criticidades seja equilibrada por uma equipe mediadora.

Tabela 3: Exemplo de matriz de pesos.

Fatores de ponderação				
Nome	Sigla	Peso	Descritivo	Exemplo
Produção	Pr	10	Redução do fornecimento de energia elétrica.	Parada de gerador, falha em disjuntor.
Segurança	Sg	10	Possibilidade de acidente envolvendo pessoas.	Queda, choque elétrico, incêndio.
Meio Ambiente	MA	10	Possibilidade de dano ao Meio Ambiente.	Vazamento de óleo, incêndio.
Sociedade	Sc	10	Possibilidade de prejuízo à Sociedade.	Blackout, incêndio, falha de fornecimento de energia em locais críticos (hospitais, etc).
Imagem	Im	10	Reflexos negativos à imagem da Empresa.	Blackout, perdas de comunicação de voz e/ou dados, indisponibilização do website.
Receita	Rc	5	Prejuízo ou redução do faturamento da Empresa.	Blackout, perda de comunicação de voz e/ou dados, falhas de medição de faturamento.
Operação	Op	5	Perda de funções operativas do sistema elétrico.	Perda dos sistemas de supervisão e controle.
Manutenção	Mn	4	Dificuldade na realização da manutenção.	Reparo em equipamentos de alta tecnologia ou que necessitem intervenções complexas.
Restabelecimento	Rs	4	Duração no retorno à normalização.	Equipamentos com reinicializações complexas.
Administração	Ad	2	Perda de funções administrativas da Empresa.	Perda de comunicação de voz e/ou dados.
Graus				
Nome	Sigla	Valor		
Não afeta	NA	0		
Leve	Lv	1		
Médio	Md	5		
Grave	Gr	8		
Crítico	Ct	10		

Tabela 4: Exemplo de aplicação da Criticidade Efetiva (CE).

Sistema: Central Telefônica do Escritório Central (EC) de FURNAS.															
Funções: Tipo 4 - Manter o fluxo normal de informações operativas dentro dos níveis de qualidade e custos estabelecidos. Tipo 5 - Manter o fluxo normal de informações administrativas dentro dos níveis de qualidade e custos estabelecidos Falhas funcionais: Tipo 4.2 - Anormalidades no fluxo de comunicação de voz operativa. Tipo 5.2 - Anormalidades no fluxo de comunicação de voz administrativa..															
Modo de falha: Recarga de ambos os comandos centrais.															
Conseqüência: Colapso total da Central Telefônica.															
Impacto: Perda de todas as comunicações telefônicas administrativas do EC e redução das comunicações telefônicas operativas do EC e da Área de Produção do Rio de Janeiro.															
Causas possíveis: - Falha em módulo de um dos comandos centrais. - Mau contato em cabeamento e/ou conectores de um dos comandos centrais. - Auto-recarga devido à incapacidade de tratamento de alarmes.															
Pesos	10	10	10	10	10	5	5	4	4	2	700		3	1	
Fatores	Pr	Sg	MA	Sc	Im	Rc	Op	Mn	Rs	Ad	TP	PE	CG	CL	CE
Valores	0	0	0	0	5	0	5	8	8	10	159	250	23%	64%	33%

6.0 - CONTRATOS E SOBRESSALENTES

Alguns sistemas eletroeletrônicos, apesar de terem alta taxa de obsolescência, são projetados para funcionarem por longos períodos de forma que cláusulas contratuais devem prever o fornecimento de sobressalentes bem como os custos de reparo e futuras aquisições para recomposição do estoque. As regras para atualizações de *software* e *firmware* também devem ser detalhadamente descritas.

Outro aspecto diferenciado é que, como os itens falham aleatoriamente, deve ser exigido um acompanhamento estatístico da qualidade do material adquirido de forma a se poder detectar discrepâncias entre o que foi requisitado e o que efetivamente foi verificado em operação. A matemática necessária para elaboração dessas cláusulas contratuais é baseada no Processo de Poisson e pode ser encontrada na literatura [6].

Em cenários com grande distribuição geográfica e com sistemas de alta tecnologia deve-se elaborar uma eficiente logística de deslocamento dos sobressalentes pois alguns itens podem ser muito caros devendo portanto ficar em pontos estratégicos que atendam grandes regiões. Se houver quantidade suficiente mostra-se recomendável disponibilizar pelo menos uma unidade de cada item para cada equipe de manutenção, o que reduzirá fortemente as indisponibilidades das funções por eliminar tempos de deslocamento.

Independentemente da distribuição geográfica dos sobressalentes, mostra-se também vantajosa a centralização das informações sobre reparo que deverão ser levantadas pelas equipes locais de manutenção e enviadas ao órgão de suporte. Dessa forma torna-se possível a detecção de padrões gerais de falha que passariam despercebidos se os encaminhamentos fossem feitos por múltiplas vias.

Detalhes mais específicos das falhas devem também ser obtidos junto aos fabricantes. Para tanto, quando da aquisição dos equipamentos, deve ser exigido contratualmente o preenchimento de formulários de defeito reportando os problemas encontrados. Assim torna-se possível a detecção de falhas sistêmicas no parque instalado, por exemplo causadas por inconformidades no manuseio, na alimentação ou no ambiente.

Quando viável economicamente o encaminhamento dos itens para reparo também deve ser tratado de forma centralizada possibilitando assim que o órgão de suporte verifique a integridade física do material bem como a adequação das embalagens, que devem levar em consideração todos os aspectos relativos às descargas eletrostáticas [7]. Formulários internos de acompanhamento também mostram-se recomendáveis de forma a dar condições ao órgão de suporte de verificar os procedimentos de manuseio, o contexto da falha (se está relacionada com descarga atmosférica ou falta de alimentação, por exemplo), se houve substituição do item, se a função ficou indisponível e outros aspectos pertinentes.

7.0 - IMPLEMENTAÇÃO

No âmbito corporativo pode haver necessidade de inclusão de informações do Plano de Manutenção em *softwares* de gestão econômico-financeira ou de planejamento de recursos (ERP – Enterprise Resource Planning), por exemplo. Porém um Plano de Manutenção para sistemas eletroeletrônicos pode ser efetivamente implementado sem uso de *softwares* especiais desde que se consiga organizar adequadamente toda a informação.

A implementação em planilha eletrônica comercial, além da facilidade de uso, apresenta baixo custo. Um mesmo arquivo pode conter toda a informação referente aos equipamentos bem como suas respectivas análises de falhas, cálculos de criticidade e procedimentos de manutenção. Os dados podem ser separados por localidade e

os procedimentos de manutenção por tema (telefonia, sistemas auxiliares, etc). Essa disposição elimina redundâncias, facilita os trabalhos de localização e atualização das informações e reduz a probabilidade de inconsistência de dados.

8.0 - CONCLUSÕES

A Engenharia de Manutenção deve intensificar as parcerias com os órgãos de projeto de forma a que cada vez mais os sistemas se tornem mais adequados à operação e manutenção e, com isso, mais baratos como um todo dentro de sua vida útil.

As investigações realizadas indicam que a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) pode ser adotada também como metodologia de manutenção para os sistemas eletroeletrônicos porém desde que o foco seja firmemente mantido sobre as condições de contorno dos equipamentos, minimizando assim intervenções e manuseios indevidos e potencialmente danosos. Quando economicamente interessante, mecanismos e procedimentos de inspeção e monitoração devem ser implementados para tornar as tomadas de decisão mais precisas. Manuseios só devem ser feitos quando os diagnósticos forem conclusivos e, quando ocorrerem, devem seguir procedimentos rigorosos, especialmente diante do risco de descargas eletrostáticas.

A unificação dos Planos de Manutenção dos sistemas eletroeletrônicos com os eletromecânicos e a implementação de *rankings* de criticidade de falha poderá proporcionar maior compreensão dos impactos gerados pelos sistemas, melhorando as decisões técnicas, gerenciais e estratégicas na Empresa.

Os contratos, o dimensionamento e a logística de sobressalentes e o acompanhamento de reparos devem ser elaborados com rigor, levando em consideração as perspectivas de obsolescência, as necessidades futuras de atualizações de *software* e *firmware*, a preservação da integridade dos itens e a compreensão das causas de falha.

Caso seja organizacionalmente permitido, o Plano de Manutenção poderá ser implementado com eficiência e produtividade em planilha eletrônica comum, i.e., sem investimentos em *softwares* específicos ou consultorias externas.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lafraia, J. R. B, "Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, Ed. Qualitymark, Brasil, 2001, ISBN 85-7303-294-4.
- [2] Vizzoni, E., Pereira, Márcia J., Castro, R. T., Rosário, G. J., Franceschet, J. G., Oliveira, J. J. C., "Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade na revisão do programa de manutenção de disjuntores e seccionadores de alta tensão", XVI SNPTEE, Campinas, Brasil, 2001.
- [3] Sá, C. E. M., Resende, F. A. B., Mecnas, L. A., Ribeiro, A. B. U., Vizzoni, E., Rolim, F. I. B., "Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade nas usinas hidráulicas de Furnas Centrais Elétricas S.A.", XVII SNPTEE, Uberlândia, Brasil, 2003.
- [4] ATA MSG-3 Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development, Air Transport Association of America – Maintenance Steering Group-3 Task Force, USA, 2003.
- [5] IEC 60300-3-11 : Application guide – Reliability Centred Maintenance, International Electrotechnical Commission, Genebra, Suíça, 1999.
- [6] Meyer, P. L., "Probabilidade – Aplicações à Estatística". Ed. Livro Técnico, Brasil, 1969.
- [7] Soares, A. P., "Conceitos básicos para proteção contra eletricidade estática", edição independente, Brasil, 2003, ISBN 85-902522-1-3.
- [8] Nóbrega, A. R., Soares, A. P., Girardi, A. S., Visacro, S., "Avaliações e melhorias no sistema de proteção e aterramento da estação de telecomunicações de Pedra da Macela para melhoria de desempenho frente a descargas atmosféricas", XVIII SNPTEE, Curitiba, Brasil, 2005.
- [9] Soares, A. P., "Alguns efeitos do clima espacial nas comunicações por satélite na Região Sudeste do Brasil", XVII SNPTEE, Uberlândia, 2003.
- [10] Soares, A. P. "Monitoração de disponibilidade em enlaces de comunicação por satélite", XI ERIAC, Paraguai, 2004.
- [11] Santos, L., Barbosa, L. C., Araújo, R. A., Sinescalchi, R. T., "As diferentes visões sobre a aplicação da termografia no sistema elétrico de Furnas e as ações adotadas para buscar a convergência entre elas, com a máxima operacionalidade, produtividade e confiabilidade do sistema", XVIII SNPTEE, Curitiba, Brasil, 2005.
- [12] Soares, A. P., "Influência do *downsizing* de sistemas de energia na disponibilidade e confiabilidade de Centros de Operação", XVII SNPTEE, Uberlândia, Brasil, 2003.
- [13] Rosolem, M. F. N. C., Carvalho, S. G., Roza, P. C. M., Tenório B. Jr., J., Beck, R. F., "Metodologias alternativas para avaliação de baterias : uma experiência na Light", XVII SNPTEE, Uberlândia, Brasil, 2003.