

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**ELÉTRICA -PPGEE**



**Uso de Técnicas de Manutenção**  
**Centrada na Confiabilidade no**  
**Gerenciamento de Riscos em Instalações**  
**Elétricas – Uma Aplicação na CHESF**

**Jocílio Tavares de Oliveira**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGEE**

**USO DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO CENTRADA  
NA CONFIABILIDADE NO GERENCIAMENTO DE  
RISCOS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS - UMA  
APLICAÇÃO NA CHESF**

**Por**

**Jocílio Tavares de Oliveira**

**RECIFE-PE**

**2002**

**JOCÍLIO TAVARES DE OLIVEIRA**

**USO DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO CENTRADA  
NA CONFIABILIDADE NO GERENCIAMENTO DE  
RISCOS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS - UMA  
APLICAÇÃO NA CHESF**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco,  
em cumprimento às exigências para obtenção do título de  
*Mestre em Engenharia Elétrica*

**Prof. Manoel Afonso de Carvalho Junior, Ph.D, UFPE**

**Orientador**

**RECIFE-PE  
2002**



***USO DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO CENTRADA  
NA CONFIABILIDADE NO GERENCIAMENTO DE  
RISCOS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS - UMA  
APLICAÇÃO NA CHESF***

**Dedico este trabalho aos meus pais**  
**Cícero Tavares de Oliveira e**  
**Rosa do Carmo Lima de Oliveira**  
*in memoriam*

# AGRADECIMENTOS

Por tudo que tenho sido agraciado em toda a minha vida, agradeço a Deus, que sempre tem estado ao meu lado orientando e dando as diretrizes de minha vida. A Ele devo tudo o que tenho conseguido. Sem Ele nada seria possível. Muito obrigado Senhor.

Agradeço a minha esposa Diva que tem compreendido toda a minha ausência para a realização desse projeto. A ela devo o apoio recebido principalmente nas horas difíceis nessa caminhada.

Às minhas filhas Mônica e Vanessa, agradeço de coração pela compreensão pela minha distância quando me dediquei mais intensamente ao curso de mestrado. A elas devo o apoio e a compreensão tão necessária durante esse projeto. Agradeço também pela força que sempre me foi dada no sentido de chegar à conclusão desse trabalho.

Aos meus irmãos Osvaldo, Jandir, Jandira e Juarez, agradeço pelo apoio que tenho recebido em todos os desafios que tenho assumido.

Agradeço à CHESF e a toda a hierarquia que sempre acreditou no sucesso desse projeto, especialmente ao Superintendente de Telecomunicações e Sistemas de Controle, Frederico Ferreira Guedes e ao Diretor de Operações, Paulo de Tarso que acreditaram nesse projeto.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, especialmente a Iony Patriota de Siqueira e Ana Belém que estiveram sempre dando força e incentivo.

Agradeço aos colegas da equipe de gerência de riscos Paulo Trajano, Roberto Almeida e João Luiz pelo apoio e companheirismo demonstrados durante os trabalhos desenvolvidos nesse projeto.

Agradeço aos professores do curso de mestrado da UFPE, principalmente ao Professor e amigo Manoel Afonso de Carvalho Júnior que além do mestre, me conquistou com a sua

maneira simples de ensinar e de ajudar nos momentos mais difíceis do curso. A ele agradeço pela força e apoio que recebi em todos os momentos do curso. Formamos uma excelente amizade.

Agradeço também a todo o pessoal da DADO - Divisão de Desenvolvimento de Pessoal, especialmente a Olga Damasceno, Maria José e Eva, aos amigos da Diretoria de Operação Danilo Marques, Roberto Pordeus e Nereu Neto e aos representantes da Eletrobrás João Rosas e Itamar que deram a assistência necessária para a realização do curso.

Agradeço a todos os colegas dessa turma pioneira do mestrado PRODESPO-UFPE-CHESF-ELETROBRÁS pelo bom convívio e companheirismo.

Finalmente agradeço a todos que, ao longo desse projeto, apresentaram seu apoio contribuindo de forma direta ou indireta para a realização desse trabalho.

*Jocílio Tavares de Oliveira*



# RESUMO

Tem sido constatado que nas iniciativas adotadas na administração dos riscos embora se busque identificar, analisar e eliminar as causas fundamentais que provocaram as falhas, nem sempre essas medidas se caracterizam como ações definitivas tendo em vista a ausência de uma estratégia que além de bloquear as causas das falhas, assegurem um gerenciamento eficaz das falhas.

Considerando essa situação, a dissertação tem como objetivo propor uma alternativa de gerenciamento de riscos utilizando, para a identificação de falhas, técnicas do reconhecido processo denominado manutenção centrada na confiabilidade (MCC).

Com essa proposição, é disponibilizada aos gestores de empresas de eletricidade uma metodologia em que a partir da identificação das falhas e quantificação de riscos, entendendo risco como a possibilidade de perdas ou danos, existentes nas instalações, se possa tomar medidas adequadas dentro das políticas e diretrizes da empresa de forma que se tenha a máxima preservação dos sistemas.

Segundo (JONES,1995), o risco não pode ser medido diretamente, mas calculado através dos parâmetros: chance de ocorrência e o tipo do evento. Dessa forma a metodologia proposta, alicerçada nas técnicas de MCC, enfoca o risco como uma medida das conseqüências do modo de falha, resultado de uma falha funcional potencial associado à frequência de ocorrência. O estudo quantitativo é feito através da avaliação da gravidade e probabilidade de ocorrência da falha.

Como exemplificação um caso real é apresentado com a aplicação em uma subestação de transmissão da CHESF, na qual foram aplicadas algumas técnicas para a detecção e avaliação dos riscos nos sistemas associados, como parte do processo de gerenciamento de riscos em fase inicial de aplicação na empresa.

Finalmente são apresentados nos apêndices o detalhamento dos resultados da aplicação.

# ABSTRACT

It has been noted that in the initiatives adopted in risks management, although one tries to identify, to analyze and to eliminate the fundamental causes which may lead to failures, these measures are not always characterized as definitive actions, keeping in mind the absence of a strategy, which besides blocking the causes of the failures, may ensure an effective management of the failures themselves.

Considering this situation, the dissertation has as its objective of proposing a risks management alternative, using techniques, for the identification of failures, of the acknowledged process known as Reliability Centered Maintenance (RCM).

With this proposal, a methodology is made available to electricity company managers, in which, starting with the identification of failures and risks quantification, understanding risk as a possibility of losses or damages existing in the installations, suitable measures may be taken, within the company's policies and guidelines, so that the system's maximum preservation may be obtained.

According to JONES, 1995, the risk cannot be directly managed, but calculated through the parameters, chance of occurrence and type of event. Thus, the proposed methodology, based on RCM techniques, focuses on the risk as a measure of the consequences of the failure's mode, resulting from a potential functional failure, associated to the occurrence frequency.

As an example, a real case is presented with the application in one of CHESF's transmission substations, in which some of the techniques for risks detection and assessment in the associated systems were applied, as a part of the risks management process, undergoing its initial phase of application in the company.

Finally, the details of the application results, are presented in the appendix section of the publication.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 O problema .....	2
1.2 A organização da dissertação .....	2
<b>2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Introdução .....	5
2.2. A contextualização da CHESF .....	8
2.3. Contextualização dos riscos.....	8
2.3.1. Introdução .....	8
2.3.2. Conceituação .....	10
2.4. O problema .....	17
2.4.1 Fatores motivadores/justificação .....	17
2.4.2 As hipóteses .....	20
2.4.3 Metodologia proposta .....	21
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>23</b>
3.1. Introdução .....	23
3.2. Suporte matemático .....	23
3.2.1 Abordagens probabilísticas e determinísticas .....	24
3.2.2. Utilização do conhecimento <i>a priori</i> .....	26
3.2.3 Análise probabilística .....	27

3.3 Ferramentas de identificação e análise de perigos.....	32
3.4 Técnicas de manutenção centrada na confiabilidade - MCC .....	49
3.4.1. Sistemas, subsistemas, funções e falhas: .....	51
3.4.2. Modos de falha .....	53
3.4.3. Efeitos das falhas .....	55
3.4.4. Conseqüências das falhas .....	57
3.4.5. Diagrama de decisão.....	60

#### **4. MODELO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS UTILIZANDO AS FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE ..... 64**

4.1 Introdução.....	64
4.2. Gerenciamento de riscos.....	65
4. 3. Aplicação das técnicas de manutenção centrada na confiabilidade. ....	70
4.3.1. Escopo da aplicação .....	71
4.3.2. Sistema de numeração .....	72
4.3.3. Definição dos sistemas, subsistemas e falhas funcionais associadas a cada subsistema e os modos de falhas correspondentes. ....	74
4.3.4. Análise de criticidade e importância das falhas.....	103
4.4. Processo de implementação.....	112
4.5. Programa de gerenciamento de riscos .....	113

#### **5. APLICAÇÃO DO MODELO EM UMA UNIDADE DA CHESF ..... 123**

5.1. Considerações iniciais .....	123
5.2. Introdução.....	123
5.2. O processo adotado.....	124
5.3. Aspectos importantes do projeto .....	124
5.4. Considerações sobre o processo .....	125
5.5. Resultados obtidos.....	126

#### **6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES ..... 127**

#### **7. APÊNDICES..... 131**

7.1. Diagrama de decisão – ALADON.....	131
7.2. Síntese do sistema CHESF .....	133
7.3. Síntese da Subestação de Mirueira .....	135

7.4.	FMEA da Subestação de Mirueira.....	137
7.4.1.	FMEA Sistemas de proteção .....	137
7.4.2.	FMEA dos equipamentos da Subestação de Mirueira.....	156
7.5.	Avaliação de riscos gerais da Subestação de Mirueira.....	172

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>177</b>
---	------------

# LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Evolução do consumo de energia.....	7
Tabela 3.1	- Listagem de palavras guias.....	36
Tabela 3.2	- Pontuação G x U x T.....	48
Tabela 4.1	- Matriz do risco.....	70
Tabela 4.2	- Quantitativo de transformadores CHESF.....	75
Tabela 4.3	- Quantitativo de disjuntores CHESF.....	83
Tabela 4.4	- Quantitativo de sistemas de proteção CHESF.....	97
Tabela 4.5	- Equipamentos protegidos CHESF – por tensão.....	97
Tabela 4.6	- Equipamentos protegidos CHESF – por Regional.....	98
Tabela 4.7	- FMEA – Sistema Proteção.....	105
Tabela 4.8	- Categoria de severidade típica.....	108
Tabela 4.9	- Faixa de severidade – instalação de transmissão.....	108
Tabela 4.10	- Risco – Sistema Proteção.....	110
Tabela 7.1	- FMEA Sistema Proteção SE Mirueira.....	136
Tabela 7.2	- FMEA Equipamentos SE Mirueira.....	155
Tabela 7.3	- Classificação dos riscos SE Mirueira.....	171
Tabela 7.4	- Pontuação dos riscos SE Mirueira.....	172

# LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Contornos de risco individual.....	12
Figura 2.2	- Curva F – N .....	14
Figura 3.1	- Curva da banheira.....	29
Figura 3.2	- Estrutura da árvore de falha.....	39
Figura 3.3	- Simbologia da árvore de falha.....	40
Figura 3.4	- Exemplo de árvore de falha.....	43
Figura 3.5	- Análise preliminar de riscos.....	46
Figura 3.6	- Curvas de taxa de falha típicas.....	55
Figura 3.7	- Diagrama de decisão.....	61
Figura 3.8	- Diagrama lógico de decisão. Adaptado de (HAUGE, JONHSON, 2001).....	63
Figura 4.1	- Processo de gerenciamento de risco.....	66
Figura 4.2	- Sistema de numeração.....	74
Figura 7.1	- Organograma CHESF.....	134
Figura 7.2	- Sistema eletroenergético CHESF.....	134

# LISTA DE SÍMBOLOS

<b><math>RI_{x,y}</math></b>	<i>Risco individual total de fatalidade no ponto x,y (chance de fatalidade por ano (<math>\text{ano}^{-1}</math>))</i>
<b><math>RI_{x,y,i}</math></b>	<i>Risco de fatalidade no ponto x,y devido ao evento i (chance de fatalidade por ano (<math>\text{ano}^{-1}</math>))</i>
<b><math>f_i</math></b>	<i>Frequência de ocorrência do evento i;</i>
<b><math>p_{fi}</math></b>	<i>Probabilidade que o evento i resulte em fatalidade no ponto x,y, de acordo com os efeitos resultantes das conseqüências esperadas</i>
<b><math>N_i</math></b>	<i>Número de fatalidades resultante do evento i</i>
<b><math>P_{x,y}</math></b>	<i>Número de pessoas existentes no ponto x,y;</i>
<b><math>F_N</math></b>	<i>Frequência de ocorrência de todos os danos, afetando N ou mais pessoas</i>
<b><math>F_i</math></b>	<i>Frequência de ocorrência de todos os danos causados pela hipótese i</i>
<b><math>N_i</math></b>	<i>Número de pessoas afetadas pela hipótese i.</i>
<b><math>F(t)</math></b>	<i>Função acumulada de falhas</i>
<b><math>f(t)</math></b>	<i>Função densidade de falhas</i>
<b><math>R(t)</math></b>	<i>Função confiabilidade</i>
<b><math>\lambda(t)</math></b>	<i>Taxa de falha</i>
<b><math>R_s</math></b>	<i>Confiabilidade resultante - sistema série</i>
<b><math>R_p</math></b>	<i>Confiabilidade resultante - sistema paralelo</i>
<b><math>R</math></b>	<i>Confiabilidade resultante - sistema série-paralelo</i>
<b><math>T</math></b>	<i>Evento topo</i>
<b><math>P(T)</math></b>	<i>Probabilidade de ocorrência do evento topo</i>
<b><math>P(N)</math></b>	<i>Probabilidade de ocorrência do evento N (A, B, C...)</i>



# CAPÍTULO 1

## Introdução

A história tem se pautado através de grandes transformações. Desde os primeiros momentos do que se sabe sobre a humanidade tem se constatado que as transformações próprias do ser humano, sempre tem ocorrido em decorrência de fatos que afetam diretamente o seu modo de vida, levando-o a agir de forma diferente na tentativa de uma reorganização de vida.

É por demais sabido que muitos desses fatos são apresentados sob forma de tragédias e em muitas situações decorrem em grandes perdas ao homem e à sociedade. Nesse contexto se encontram os grandes acidentes que proporcionam os mais diversos transtornos e desencadeiam em alguns casos em fortes prejuízos às organizações, gerando em consequência, severas transformações econômico-sociais buscando-se a recuperação ou minimização dessas perdas para o homem e o ambiente em que está inserida a ocorrência.

Nesse contexto estão inseridos grandes acidentes que impuseram à sociedade situações de tal sorte alarmante que impõem uma constante reflexão sobre esses eventos. Dentre os grandes acidentes, cita-se o caso do que ocorreu na cidade indiana de Bhopal, em dezembro de 1984, no qual mais de 8.000 pessoas morreram em decorrência de lançamento de gases letais que vazaram da Indústria Química Union Carbide. Este que foi considerado o maior desastre industrial do mundo. Outro acidente de proporções alarmantes ocorreu no mar do Norte com a plataforma de exploração de petróleo no mar, a Piper Alpha considerado o maior acidente com petróleo do século XX, no qual resultou a perda de 167 vidas. Esses e outros acidentes de proporções semelhantes levam a uma importante reflexão sobre como atuar para corrigir ou prevenir de situações como essas.

Surge então um grande questionamento a ser resolvido para restituir à sociedade os requisitos de vida necessários para uma condição de vida adequada. O que fazer para manter a relação homem - meio ambiente - sistemas (ativos físicos) em equilíbrio?

No outro lado da questão está a necessidade de reduzir os custos com a manutenção dos sistemas de forma que se garanta o perfeito estado de operação e assegurando a redução de fatos indesejáveis que possam contribuir para os acidentes. Para atender aos requisitos de segurança e custos, muitas estratégias de manutenção de sistemas têm sido desenvolvidas e a cada dia se visualiza ganhos significativos no processo de manutenção. Dentre as estratégias existentes, a MCC tem se apresentado como uma das importantes estratégias de manutenção. Essa filosofia, estabelecida no início da década de 1960, é uma das ferramentas revolucionárias na forma de se atuar na manutenção.

### **1.1 O problema**

Nas empresas de eletricidade onde estão em operação grande número de equipamentos de potência, a segurança passa a ser elemento fundamental para a efetiva contribuição da empresa para a sociedade, tendo em vista que a atual conjuntura social, na qual não é mais suportável a ocorrência de falhas nos sistemas instalados sem que se tenha justificativas convincentes, uma estrutura de gerenciamento de riscos passa a ser primordial para as empresas de energia elétrica.

Considerando essa questão a presente dissertação tem como objetivo apresentar um modelo para gerenciamento de riscos aplicando as ferramentas da reconhecida técnica de MCC.

Esse modelo tem como base fundamental o tratamento dos riscos com uma visão estruturada de maneira tal que o processo de gerenciamento de riscos seja aplicado nas diversas áreas das empresas de energia elétrica podendo ser extensivo para outros segmentos da sociedade.

### **1.2 A organização da dissertação**

O crescimento dos sistemas elétricos, além de tornar as instalações existentes mais complexas, com a introdução de equipamentos tecnologicamente atualizados, como é o caso de sistemas de proteção digitalizadas, também favoreceu a uma convivência de tecnologias diferentes, gerando por conseqüência uma necessidade de capacitação do homem nesse novo contexto. Com isso, as possibilidades de falhas aumentaram, principalmente pela dependência aos sistemas de automação, requerendo, portanto que ações sejam tomadas no sentido de preservar a segurança do homem e da instalação

nesse ambiente evolutivo. No Capítulo 2 é apresentada a contextualização do problema no qual são apresentados também o contexto da Empresa, a síntese do ambiente de risco e as motivações que nortearam a elaboração da dissertação. Neste capítulo são apresentadas as hipóteses e a metodologia adotada.

Para a análise teórica do assunto, a fundamentação teórica está centrada nos aspectos probabilísticos envolvidos no processo de risco. Desse modo o estudo busca a aplicação dos conceitos matemáticos de probabilidade como apoio ao gerenciamento de riscos. No Capítulo 3 é incluída essa fundamentação como suporte para a dissertação, considerando tanto os aspectos de ferramentas para o levantamento, análise e gerenciamento de riscos, como a metodologia de manutenção centrada na confiabilidade. Considerando o caráter científico, a base matemática também é apresentada nesse capítulo. Os fundamentos de probabilidades associados a distribuição de probabilidade e taxa de falha também são discutidos nesse capítulo.

A modelagem proposta está apresentada no capítulo 4. São apresentadas as abordagens de gerenciamento de riscos e a aplicação das técnicas de MCC para uma instalação de transmissão de energia elétrica. Nessa aplicação são desenvolvidas as etapas da MCC indicando os sistemas, subsistemas e funções associadas. São também desenvolvidas as análises de modos de falhas e criticidade das falhas. Através da matriz de riscos que quantificarão os riscos, pode-se determinar a priorização das ações a serem tomadas visando gerenciar os riscos identificados. Ainda nesse estágio é apresentada a estratégia para implementação do modelo. Finalmente é apresentada uma alternativa de programa de gerenciamento de riscos para uma organização.

No Capítulo 5 é apresentada uma aplicação do modelo proposto em uma unidade de operação da CHESF, enfocando os aspectos de gerenciamento de riscos na visão da manutenção da Empresa. É ressaltada toda a metodologia do modelo aplicada nesse caso prático, bem como os resultados obtidos.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e sugestões que podem ser adotadas em trabalhos futuros afins.

As informações complementares, tabelas e resultados da aplicação estão incluídos nos apêndices (Capítulo 7).

# CAPÍTULO 2

## Contextualização do problema

### 2.1 Introdução

Nas últimas décadas as transformações que têm sido impostas pelo próprio desenvolvimento têm conduzido a humanidade a uma reflexão cada dia mais aprofundada com respeito a segurança. A segurança considerada dentro de uma conceituação mais abrangente onde além da visão tradicional de assegurar a funcionalidade dos equipamentos também se aborda o homem como elemento fundamental no contexto da segurança.

Alguns fatos motivadores dessa preocupação são identificados da análise das grandes tragédias mundiais em que centenas e até milhares de vidas foram subtraídas em cujas tragédias se encontra, além dos aspectos de falha humana, que ocupa o maior percentual de contribuição (cerca de 80%), as condições de operação dos sistemas instalados são aspectos de preocupação. O estudo sobre os aspectos de erros humanos não serão tratados no presente trabalho.

Embora a humanidade, ao longo dos últimos 30 anos, essencialmente após a segunda guerra mundial, tenha evoluído sobremaneira em comparação com décadas anteriores, essa evolução muitas vezes visou apenas o engrandecimento dos países e organizações que ao largo da importância do ser humano, enfocou os aspectos de desenvolvimento industrial, gerando, por conseguinte, forte vulnerabilidade ao próprio homem que construiu esse desenvolvimento.

A arrancada do desenvolvimento tecnológico, em contraposição aos perigos propiciados ao homem, também contribuiu para alertar a própria sociedade na visão de se prever contra os aspectos que recaem sobre si próprio.

O crescimento industrial das últimas décadas, além de demonstrar um grande avanço tecnológico, passou a representar um papel de grande importância para a sociedade moderna, devida não só a geração de empregos, mas também pela necessidade do homem utilizar os bens produzidos pela indústria, alguns considerados essenciais para os nossos tempos. Essa corrida impulsionou a competitividade e a necessidade do aperfeiçoamento dos processos que tornaram as instalações cada vez mais complexas.

Na área do setor elétrico mundial, a energia elétrica, nestes 15 anos que sucederam a crise do petróleo, foi o único energético que teve um crescimento acentuado, colaborando em muitos casos com a redução do componente energético no produto final.

A intensificação da eletricidade no uso final permite uma diversificação nas fontes de energia primária, uma vez que pode ser gerada através de diferentes tipos de energéticos. Por outro lado, os países grandes consumidores de energia buscam alternativas para que os problemas internacionais reflitam da menor maneira possível no abastecimento dos insumos energéticos. Assim, antevê-se que dentro das limitações advindas, e na busca de uma maior autonomia com relação à energia, o crescimento da energia elétrica seja cada vez mais acentuado. No caso do Brasil constata-se que a evolução do consumo de energia elétrica na última década foi superior ao produto interno bruto no mesmo período com apresentado na tabela 2.1 (CCPE, 2000).

Tabela 2.1 - Evolução do consumo de energia

<b>ANO</b>	<b>PIB (R\$ 1999 -bi)</b>	<b>Consumo de energia elétrica (TWh)</b>
<b>1989</b>	<b>806,6</b>	<b>207,0</b>
<b>1990</b>	<b>771,9</b>	<b>211,8</b>
<b>1991</b>	<b>779,6</b>	<b>220,9</b>
<b>1992</b>	<b>775,4</b>	<b>224,9</b>
<b>1993</b>	<b>813,5</b>	<b>233,9</b>
<b>1994</b>	<b>861,1</b>	<b>239,7</b>
<b>1995</b>	<b>897,3</b>	<b>258,0</b>
<b>1996</b>	<b>921,2</b>	<b>276,3</b>
<b>1997</b>	<b>951,3</b>	<b>292,4</b>
<b>1998</b>	<b>953,4</b>	<b>304,9</b>
<b>1999</b>	<b>960,9</b>	<b>316,2</b>
<b>Taxas de crescimento (% ao ano)</b>		
<b>1989/94</b>	<b>1,3</b>	<b>3,0</b>
<b>1994/99</b>	<b>2,2</b>	<b>5,7</b>
<b>1989/99</b>	<b>1,8</b>	<b>4,3</b>

Com essa demanda crescente, o sistema elétrico brasileiro na direção de atender o mercado expansivo, aumentou significativamente suas instalações adequando-as ao mercado. O crescimento dos sistemas elétricos, além de tornar as instalações existentes mais complexas, com a introdução de equipamentos tecnologicamente atualizados, como é o caso de sistemas de proteção digitalizadas, também favoreceu a uma convivência de tecnologias diferentes, gerando por consequência uma necessidade de capacitação do homem nesse novo contexto. Com isso, as possibilidades de falhas aumentaram, principalmente pela dependência aos sistemas de automação, requerendo, portanto que ações sejam tomadas no sentido de preservar a segurança do homem e da instalação nesse ambiente evolutivo.

Deve ser considerado também que um dos maiores custos de uma empresa de eletricidade está na operação e manutenção dos sistemas em operação. Essa pressão de controle dos custos deve ser equilibrada com os impactos de falhas de equipamentos observando-se a segurança e o meio ambiente (Beehler, M.E., 1996).

## **2.2. A contextualização da CHESF**

A CHESF manteve ao longo da última década um constante trabalho de adequação do seu sistema às necessidades impostas pelo mercado. O sistema CHESF dispõe atualmente de uma capacidade instalada de 10.704 MW, atendendo a uma população em torno de 42 milhões de habitantes, cobrindo uma área de mais de 1 milhão de quilômetros quadrados. O sistema de transmissão é composto de um total de 18 mil quilômetros de linhas de transmissão em 500, 230, 138 e 69 kV e 87 subestações, distribuídas nos estados do Nordeste (exceto o Maranhão). O sistema de geração da CHESF é composto de 14 usinas Hidroelétricas e 02 termelétricas, sendo a maior empresa de geração do país.

Com todo esse potencial, a responsabilidade social se torna cada vez maior, o que impõe à Empresa a aplicação de medidas que ao mesmo tempo em que atende ao mercado consumidor, também se coadune com as necessidades e bem estar do homem que produz ou utiliza os benefícios desse sistema.

## **2.3. Contextualização dos riscos**

### **2.3.1. Introdução**

Cada instalação (Subestação e Usina) do complexo CHESF é composta de uma quantidade de equipamentos e componentes que pela própria natureza do negócio da empresa (a energia elétrica), compõem um ambiente de severos riscos para o homem e para os ativos em operação que, pela essencialidade do serviço prestado, de atendimento ao mercado com o suprimento de energia elétrica, requer uma contínua e eficaz gestão permitindo que sejam atendidas as obrigações de fornecimento de energia de forma segura para os agentes envolvidos, ou seja, sociedade, tendo o homem como principal



receptor dos resultados do serviço prestado e da garantia de convivência com o meio ambiente sem agredi-lo.

Embora não se tenha dados que caracterizem uma gestão sofrível para os agentes citados, a Empresa tem buscado ao longo dos anos aumentar o grau de segurança ao homem e às instalações sob sua responsabilidade, sendo tomadas medidas de gestão dos empreendimentos em operação e mantido sistemas de salvaguarda para as situações indesejáveis de falha operacional.

Apesar do estado de relativa conformidade com relação a administração dos riscos envolvidos no sistema, alguns novos aspectos estão sendo introduzidos no contexto atual do setor elétrico brasileiro que impõem um realinhamento da gestão de riscos. Dentre esses aspectos estão a necessidade de aumentar a disponibilidade do sistema em operação, implicando em conseqüência na adoção de medidas que aumentem a permanência dos equipamentos à disposição dos Órgãos que gerenciam a operação elétrica do sistema, bem como, medidas que reduzam os tempos de indisponibilidade dos equipamentos que por extrema necessidade estejam fora de operação, visando o seu retorno no menor tempo possível à condição de operação. Outro fator importante que leva a otimização da gestão do sistema em operação é o aspecto financeiro. Com a atual estratégia do setor elétrico, resultante da reestruturação do mesmo, onde é exigida a manutenção máxima dos equipamentos disponíveis para a operação sob pena de pagamento de rigorosas multas caso não se atenda aos requisitos de disponibilidade, se torna imperiosa a adoção de ações que minimizem o tempo de indisponibilidade dos equipamentos.

A solução para o binômio segurança das instalações e do homem associado à minimização dos custos de indisponibilidade levou a Empresa a pensar em um processo de gerenciamento dos riscos existentes em cada instalação e graduá-los de forma que se tenha a administração desses riscos como elemento de gestão da empresa.

Essa dissertação propõe alternativa para o gerenciamento desses riscos utilizando metodologia que reúna os objetivos de tratamento de riscos com base nas ferramentas auxiliares de gerenciamento associando-as aos conceitos e filosofias oriundas da metodologia de manutenção centrada na confiabilidade.

**2.3.2. Conceituação**

No nosso dia a dia é coloquial o uso de expressão associada a riscos e perigos de forma que intuitivamente é entendido o significado desses termos, no entanto, se faz necessário considerar um termo padrão que possa dar uma visão apropriada do que se entende por risco e termos associados evitando-se a admissão de interpretação dúbia que dificulte o entendimento real desses termos. Para o contexto dessa dissertação, pode-se atribuir a seguinte conceituação:

Perigo:

Há muitas versões do conceito de perigo. Uma delas indica que o perigo é uma característica do sistema que tem o potencial para causar falha ao sistema, ferimentos em pessoas, danos à propriedade e ao meio ambiente, etc. (PIRES,2000). Esse conceito leva a alguma reflexão sobre o que se pode estabelecer um perigo. Se um sistema tem essas características, então o ele é perigoso, ou seja, estará sempre em condições de causar as conseqüências mencionadas. Ocorre, no entanto, que nesse mesmo sistema, caso não ocorra uma ação sobre o mesmo não haverá nenhuma conseqüência danosa. Assim o conceito do perigo fica associado a uma ação dinamizadora. O perigo, portanto, é o grau de exposição ao risco.

Risco:

Risco é a combinação de freqüência e das conseqüências inerentes a um evento perigoso específico (PIRES,2000).

Do ponto de vista das conseqüências, o risco pode ser definido como sendo a medida de perda econômica e/ou de danos à vida humana, resultante da combinação entre a freqüência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos .

Gerenciamento de risco:

Identificação, análise, avaliação dos riscos e formulação e implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos que têm como objetivo prevenir, controlar e reduzir os riscos e ainda manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis.

Para a quantificação das conseqüências decorrentes de falhas que impliquem em acidentes é importante o conhecimento de alguns conceitos que na avaliação de riscos são necessários para que o tratamento desses riscos sejam uniformizados e compreendidos facilmente. De acordo com (FANTAZZINE;SERPA, 2002) tem-se os seguintes conceitos:

Índices de risco:

Os índices de risco são números simples, utilizados de forma absoluta ou relativa. As limitações no uso de índices se devem à não existência de critérios para a aceitabilidade ou rejeição dos riscos, além dos mesmos não representarem medidas relativas aos riscos individual e social. A seguir estão apresentados alguns índices de risco.

Taxa de acidente fatal - *Fatal accident rate* (FAR):

A FAR representa a estimativa do número de fatalidades por  $10^8$  horas de exposição, que corresponde a aproximadamente a vida útil de trabalho de 1000 trabalhadores.

Índice de perigo individual - *Individual Hazard Index* (IHI):

Esse índice pode ser definido como uma FAR para um perigo específico, considerando o período de tempo em que a pessoa está exposta ao perigo em questão. O IHI estima sempre o maior risco.

Taxa média de morte - *Average Rate of Death*:

Esse índice representa o número médio de fatalidades esperadas por unidade de tempo de todos os acidentes possíveis. É também conhecido por *Accident Fatality Number*.

Índice econômico :

Esse índice mede a possível perda financeira em função da ocorrência de acidentes. As empresas têm desenvolvido índices econômicos específicos para a comparação com o índice de risco estimado. O índice econômico é também muito utilizado para a avaliação do custo-benefício das medidas para a redução de riscos a serem implementadas em unidades industriais em que os riscos estimados sejam elevados.

Risco Individual:

O risco individual pode ser definido como o risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, considerando a natureza da falha que pode ocorrer e o período de tempo em que o dano pode acontecer.

Os danos às pessoas podem ser expressos de diversas formas, embora as conseqüências sejam mais difíceis de serem avaliadas, considerando a indisponibilidade de dados estatísticos para serem utilizados em critérios comparativos de riscos; assim, normalmente o risco é estimado em termos de danos irreversíveis ou fatalidades, uma vez que há uma maior facilidade de obtenção de dados sobre estes tipos de danos às pessoas.

O risco individual pode ser estimado para um indivíduo mais exposto a um perigo ou para um grupo de pessoas presentes na zona de efeito.

Uma forma comum de apresentação do risco individual é através dos contornos de risco individual, onde através de curvas pode-se apresentar a distribuição geográfica do risco em diferentes regiões. Assim, o contorno de um determinado nível de risco individual apresenta a freqüência esperada de um evento capaz de causar um dano num local específico.

A Figura 2.1 apresenta o risco individual através de diversos contornos de risco (curvas de iso-risco) desenhadas na zona de efeito de um acidente. Locais de vulnerabilidades específicas, como por exemplo, escolas, hospitais e áreas de grandes concentrações de pessoas podem ser facilmente identificados através dessa forma de representação do risco.

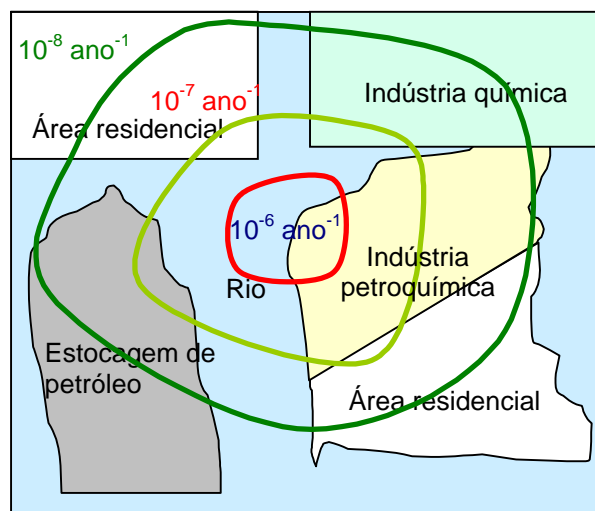


Figura 2.1 - Contornos do risco individual

O perfil do risco individual é função da distância da fonte de perigo. Este tipo de representação gráfica em duas dimensões (risco x distância) é uma simplificação do contorno do risco.

Para o cálculo do risco individual num determinado ponto da vizinhança de uma planta industrial, pode-se assumir que a contribuição de todos os eventos possíveis é somada. Considera-se como eventos todas as falhas decorrentes de um acidente na região considerada, tal como, vazamento de gás, (FANTAZZINE;SERPA, 2002). Dessa forma, o risco individual total num determinado ponto pode ser calculado pela somatória de todos os riscos individuais nesse ponto, como segue:

$$RI_{x,y} = \sum_{i=1}^n RI_{x,y,i} \quad (2.1)$$

onde:

$RI_{x,y}$  = risco individual total de fatalidade no ponto x,y;  
(chance de fatalidade por ano (ano<sup>-1</sup>))

$RI_{x,y,i}$  = risco de fatalidade no ponto x,y devido ao evento i;  
(chance de fatalidade por ano (ano<sup>-1</sup>))

n = número total de eventos considerados na análise.

Os dados de entrada na Equação (2.1) são calculados a partir da Equação (2.2).

$$RI_{x,y,i} = f_i \cdot p_{fi} \quad (2.2)$$

Onde:

$RI_{x,y,i}$  = risco de fatalidade no ponto x,y devido ao evento i;  
(chance de fatalidade por ano (ano<sup>-1</sup>))

$f_i$  = frequência de ocorrência do evento i;

$p_{fi}$  = probabilidade que o evento i resulte em fatalidade no ponto x,y, de acordo com os efeitos resultantes das conseqüências esperadas.

Com base na Equação (2.2), pode-se observar que o risco individual calculado no ponto  $x,y$ , devido ao evento  $i$ , é função da frequência de ocorrência do evento considerado, bem como das conseqüências causadas por esse evento.

De acordo com o objetivo do estudo, é razoável proceder a simplificação do cálculo do risco uma vez que o traçado dos contornos do risco individual pode ser bastante complexo. Na maioria das vezes, o uso de programas de computador específico é requerido para facilitar tal tarefa.

#### Risco Social:

O Risco Social refere-se ao risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos de um ou mais acidentes. Essa forma de expressão do risco foi originalmente desenvolvida para a indústria nuclear.

Uma forma comum de apresentação do risco social é através de curvas do tipo F-N, correspondentes aos dados de frequência de ocorrência de acidentes e suas respectivas conseqüências, estas representadas em números de vítimas fatais. A Figura 2.2 apresenta um exemplo de uma curva do tipo F-N (BALL; FLOYD,1998).

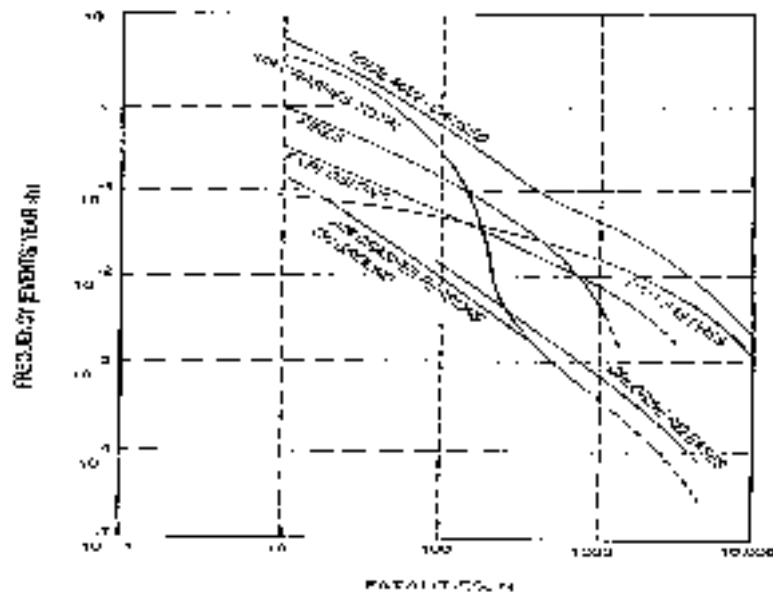


Figura 2.2 - Curva F-N

A estimativa do risco social num estudo de análise de riscos requer basicamente o mesmo tipo de dados que para o cálculo do risco individual, ou seja:

- Informações sobre o tipo de população (residências, estabelecimentos comerciais, indústrias, áreas rurais, escolas, hospitais, etc) para avaliação das medidas de mitigação a serem consideradas;
- Informações sobre efeitos em diferentes horários ou dias, para dimensionamento adequado do número de pessoas expostas;
- Informações sobre as características das edificações onde as pessoas expostas se encontram, de forma que possam ser levadas em consideração eventuais medidas ou ações de proteção.

Diferentes distribuições ou características das pessoas expostas podem ser consideradas na estimativa do risco através de simplificações, por exemplo, através do uso de dados médios de distribuição populacional. No entanto, deve-se estar atento quanto ao emprego dessas generalizações, as quais podem levar a erros significativos na estimativa dos riscos, razão pela qual esses procedimentos devem ser tratados com a devida cautela.

O número de pessoas afetadas pelas conseqüências de cada uma das hipóteses acidentais consideradas no estudo pode ser estimado por:

$$N_i = \sum_{x,y} P_{x,y} \cdot p_{fi} \quad (2.3)$$

em que:

$N_i$  = número de fatalidades resultante do evento  $i$ ;

$P_{x,y}$  = número de pessoas existentes no ponto  $x,y$ ;

$p_{fi}$  = probabilidade de que o evento  $i$  resulte em fatalidade no ponto  $x,y$ , de acordo com os efeitos resultantes das conseqüências esperadas.

O número total de pessoas afetadas por todos os eventos gerados pelas diversas hipóteses acidentais consideradas deve ser determinado, resultando numa lista de número de fatalidades para cada um dos casos considerados, com as respectivas freqüências de ocorrência. Estas informações devem então ser trabalhadas em termos de freqüência acumulada, possibilitando assim que a curva do tipo F-N, para o estudo em questão, seja determinada.

$$F_N = \sum_i F_i, \quad (2.4)$$

para todos os danos causados pela hipótese  $i$  para os quais  $N_i \geq N$  sendo

$F_N$  = frequência de ocorrência de todos os danos, afetando  $N$  ou mais pessoas;

$F_i$  = frequência de ocorrência de todos os danos causados pela hipótese  $i$ ;

$N_i$  = número de pessoas afetadas pela hipótese  $i$ .

A quantidade de cálculos requerida para a estimativa do risco social pode, muitas vezes, ser reduzida, limitando-se, por exemplo, o número de dados de entrada considerados de parâmetros meteorológicos, como velocidade e direção de ventos, devendo-se, no entanto considerar que os resultados certamente serão sacrificados, em termos do risco estimado.

A avaliação dos riscos impostos a uma determinada comunidade por uma instalação industrial depende de uma série de variáveis, muitas vezes pouco conhecidas, e cujo resultado normalmente apresenta um nível razoável de incerteza. Esse fato decorre principalmente em função das dificuldades para a determinação, com exatidão, de todos os riscos de uma instalação, dada a escassez de dados disponíveis para a realização desses estudos.

Além dos riscos às pessoas, numa avaliação criteriosa de um empreendimento, devem também ser considerados outros tipos de impactos causados por eventuais acidentes maiores que uma determinada instalação pode causar, como por exemplo, danos agudos causados em termos de poluição do solo, do ar e da água, e de impactos à fauna e à flora.

A avaliação de riscos deve sempre ser realizada de forma criteriosa, levando em conta, entre outros, os seguintes aspectos:

- Valores sociais, éticos, econômicos e ambientais;
- Capacidade de percepção dos riscos, considerando os seguintes aspectos:
  - Voluntariedade;
  - Benefícios;
  - Possibilidade de reconhecer e compreender os riscos;
  - Controle individual e capacidade de proteção.



De acordo com a literatura a respeito de avaliação de riscos de instalações elétricas no Brasil, os estudos no sentido de se estabelecer um critério para a tolerabilidade de riscos, impostos por instalações ou atividades perigosas, ainda se encontram em fase inicial, não havendo, portanto, critérios quantitativos estabelecidos no setor elétrico. A prática utilizada, em especial para nortear o licenciamento ambiental, tem sido a adoção de critérios internacionais para subsidiar a tomada de decisão quando da aprovação da instalação de empreendimentos de maior risco.

Com relação ainda a outros impactos causados por eventuais acidentes, em uma instalação devem ser observadas também as perdas decorrentes dos reflexos à imagem da empresa perante a sociedade, considerando tanto a perda de suprimento quanto à credibilidade da empresa. Outro aspecto importante está relacionado à perda de equipamentos de potência. Essa perda além de causar sérias dificuldades para o sistema devido à necessidade de reposição do equipamento sinistrado, também resulta em altos custos. Associado a indisponibilidade do equipamento o sistema elétrico fica em várias situações com fragilidade facilitando a possibilidade de defeito em cascata, com a possibilidade de danificação de outros equipamentos por sobrecarga.

## **2.4. O problema**

### **2.4.1 Fatores motivadores/justificação**

Semelhantemente às grandes empresas que operam com produtos químicos, nucleares ou petrolíferos, as empresas de eletricidade atuam com o fenômeno da eletricidade que por sua natureza podem gerar grandes prejuízos às instalações ou acidentes graves ao homem e à sociedade em geral.

Diversos casos de acidentes são registrados no Brasil e no mundo no campo da eletricidade. No caso de empresas de eletricidade as grandes falhas têm afetado substancialmente a sociedade na medida em que resulta no não fornecimento de energia resultando em perdas sociais irreparáveis como: transtornos em trânsito sequenciando em acidentes; paralisação das principais atividades produtivas da sociedade, como indústrias e comércios; redução das atividades financeiras; interrupção dos processos de extrema necessidade às pessoas como hospitais, etc. Todas essas situações geram conseqüências que extrapolam qualquer quantificação.

Como exemplos de perdas importantes nessas condições estão as subtrações de vidas humanas e prejuízos ao meio ambiente. É importante ressaltar as ocorrências em que além de causar prejuízos de toda natureza à sociedade, também têm levado a perdas de vidas dos próprios empregados que estão atuando nas empresas de eletricidade.

Embora algumas falhas não resultem em prejuízos sociais significantes, estas afetam profundamente a imagem da empresa, considerando as atuais exigências tanto da sociedade quanto dos órgãos reguladores do setor elétrico.

Ainda se registram situações de falhas em que não são refletidas diretamente na sociedade, como é o caso de sinistros com equipamentos, cujo desligamento muitas vezes não provoca perdas de fornecimento de energia, mas afetam sobremaneira a confiabilidade do sistema elétrico. Essas falhas, cujo grau de ocorrência é muito elevado, requerem que ações sejam tomadas visando prevenir a sua ocorrência ou minimizar a sua frequência. Ressalte-se que esses casos também geram prejuízos financeiros à empresa tendo em vista a atual regulamentação.

Cada instalação da CHESF tem em média em torno de 20.000 itens, incluindo-se aí desde equipamentos de potência como transformadores, reatores, disjuntores, sistema de baterias, até componentes de baixa tensão como relés, medidores, sistemas de controle, fiação, etc. Esses equipamentos/componentes são potenciais de riscos de explosões, incêndios, choque elétrico, etc, que estão permanentemente em seu estado potencial e podem ser dinamizados a partir de operações incorretas, choques físicos, vazamentos, aquecimentos por sobrecarga ou falha de conexões, perda de isolamento, etc. Essas situações podem ser potencializadas a qualquer instante nas instalações e são facilitadas principalmente em função do número de itens em operação e a necessidade de ações humanas sobre esses itens, elevando significativamente a probabilidade de ocorrência de falhas.

É natural que quando de ocorrência de falhas em um sistema ou subsistema, sejam analisados os fatores que determinaram a ocorrência e que medidas sejam tomadas para evitar que situações similares venham ocorrer no futuro. Além de medidas corretivas, freqüentemente são adotadas recomendações que buscam bloquear as causas fundamentais que geraram a falha.

Ainda dentro desse contexto as empresas promovem divulgação nos ambientes propícios e conduzem todo o ambiente e pessoas no sentido de salvaguardar de novas ocorrências. Ocorre, no entanto que, por razões culturais e até por características de decisores ou ainda por razões de restrições de recursos, essas medidas não têm um caráter definitivo de forma a alterar o contexto dos riscos, resultando por consequência em residuais de possibilidade de novos fatos que favoreçam novas ocorrências.

Analisando os aspectos associados às medidas corretivas, constata-se que são ações originadas a partir de uma análise rigorosa sobre cada falha ocorrida e têm como finalidade atuar sobre as causas fundamentais que geraram a falha, sendo encaminhadas ações que eliminam os indutores da falha, ou seja, as condições inseguras e os procedimentos inadequados. Essas ações são, via de regras, pontuais, pois se buscam atuar diretamente no contexto do fato ocorrido.

Embora os desdobramentos de uma determinada falha resultem em extenso material de recomendações e divulgação na empresa, essas ações têm uma tendência a não serem, como um todo, absorvidas pelas pessoas mais envolvidas em virtude da cultura do "só vendo para crer". No contexto da CHESF, tem se constatado que essa administração não tem se mostrado eficiente por atacar o problema de forma pontual, sendo caracterizado como gerenciamento por catástrofe.

Nesse aspecto são percebidas tomadas de decisões em curto espaço de tempo, até por razões de apresentação de resultados de análise e relatórios elucidativos de ocorrências, que muitas vezes podem não cobrir o máximo de atividades que favorecem novas ocorrências.

Em outras situações muitas recomendações são sugeridas baseadas em sentimentos de gestores deixando de contemplar pontos que seriam mais detalhados caso se tivesse um processo sistematizado de avaliação de ocorrências. Em face da ausência de processos sistemáticos as ações corretivas são incluídas em planos emergenciais cujos balizadores estão muito mais voltados a fatos ocorridos não se evoluindo adequadamente para as medidas de caráter preventivo cujos resultados sejam mais efetivos. Constata-se que em função dos aspectos levantados, é comum não se ter soluções efetivas e permanentes e que não se salvaguardam de situações outras não especificamente similares às ocorridas, mas que tenham uma abrangência maior, que contemplem situações não ocorridas, mas factível de ocorrer, dentro de contexto real.

Outros pontos motivadores para o estabelecimento de processo sistematizado para análise de risco são as características da gestão sob catástrofe onde decorre em soluções não definitivas. Essa situação é freqüente em face das medidas adotadas serem quase sempre pontuais, o que conduz a geração de medidas similares a cada ocorrência de evento indesejável.

A falta de política estruturada de tratamento de riscos tem levado as empresas a gastos além do necessário para gerir os riscos sem a efetividade esperada.

Um fato importante observado no contexto atual da administração dos riscos está associado ao tratamento de forma segmentada dentro da organização. Considerando que a empresa tem uma distribuição de funções estabelecidas de forma estrutural em organograma onde são incluídas as atividades por especialização ou por distribuição geográfica, não é raro se ter fronteiras de atividades nas quais se torna visível a possibilidade de administração de problemas de falhas no sistema com lacunas e às vezes sem a "passagem do bastão" na cadeia administrativa da empresa. Ainda considerando que as medidas são voltadas para a correção pontual, nem sempre se tem o retorno necessário para que os órgãos de engenharia procedam a ajustes nos projetos visando evitar a permanência de qualquer condição inadequada que favoreçam a ocorrências de falhas que poderiam ser prevenidas nos projetos .

Outros aspectos constatados na configuração de tratamento dos riscos atualmente estão aqueles relacionados com os recursos disponíveis para a administração adequada dos riscos. Em virtude do caráter catastrófico como são tratados as falhas, em decorrência não se tem a participação efetiva de todos os envolvidos no processo gerando como consequência uma visão com viés da falha e soluções limitadas.

#### **2.4.2 As hipóteses**

Com uma visão voltada para o tratamento dos riscos de forma sistemática, e considerando os aspectos motivadores, constata-se uma carência importante na forma de identificar, avaliar e gerenciar os riscos, observando o caráter amplo em que devem ser inseridos os riscos inerentes a cada instalação. Assim, propõe-se um modo de fazer o tratamento desses riscos de forma que se tenha um resultado mais consistente e que as medidas saneadoras tenham um caráter definitivo evitando-se improvisações que são

próprias quando se analisa falhas. Portanto, tomando-se como base as atuais fragilidades sistêmicas no contexto das empresas de energia elétrica busca-se com a dissertação, soluções adequadas para o tratamento de falhas de forma organizada e estruturada com fundamentação em técnicas já comprovadas.

Considerando todos os aspectos envolvidos com os riscos depreende-se que a utilização das ferramentas de identificação e análise de riscos aplicando-se as técnicas de MCC se constitui como um dos instrumentos fundamentais para a obtenção de processo sistematizado e estruturado para a administração de riscos em equipamentos de instalações elétricas.

Métodos probabilísticos, especialmente aqueles envolvendo conhecimento *a priori* e confiabilidade, podem ser utilizados para a quantificação de riscos, bem como para a determinação de prioridades a serem adotadas no gerenciamento de riscos.

### 2.4.3 Metodologia proposta

Os riscos aos quais as instalações estão submetidas exigem uma nova forma de tratamento de forma que as ações para a redução de suas conseqüências ou ações de proteção tenham resultados efetivos.

Diante desses aspectos, propõe-se a utilização das técnicas de MCC como apoio ao processo de identificação de falhas e conseqüentemente contribuindo para o estabelecimento de estratégia sistematizada para o gerenciamento de riscos.

Embora a MCC seja uma filosofia de gestão voltada para a administração técnica de ativos, a estratégia se presta fortemente no apoio ao gerenciamento de riscos considerando que a o processo da MCC utiliza mecanismos de identificação de falhas de fácil assimilação.

Na base dessa aplicação estão incluídos em uma seqüência lógica os procedimentos utilizados na MCC, enfocando os riscos dos ativos como foco de análise.

Considerando a diversidade de equipamentos e ambientes que compõem uma instalação do sistema elétrico, para a proposta de gerenciamento de riscos aplicando-se as técnicas de MCC, foram selecionados os seguintes sistemas para a aplicação da metodologia: *transformadores de potência, disjuntores, sistemas de proteção, sistemas de serviços auxiliares e barramentos de alta tensão*. Esses sistemas foram escolhidos considerando suas importâncias no contexto de transmissão de energia, em cuja situação de falhas, se

tem prejuízos imediatos e severos no fornecimento de energia ou, por outro lado, suas conseqüências são extremamente críticas para a sociedade, visto que até perdas de vidas humanas são susceptíveis em caso de ocorrências de acidentes nesses sistemas.

A direção do estudo se pautou nesses equipamentos considerados de maior essencialidade, no entanto a aplicação pode perfeitamente ser expandida para outros sistemas de tão importância como aqueles em análise. Dentre esses sistemas estão as instalações prediais, os sistemas hidráulicos, os ambientes em que se armazenam produtos perigosos, etc.

O estudo será abordado a partir da decomposição dos sistemas em subsistemas, suas fronteiras e as falhas funcionais e em seguida os modos de falhas associados a cada falha funcional. De acordo com a metodologia de avaliação e quantificação dos riscos associados serão apresentadas tabelas que permitem a quantificação dos riscos. Essas tabelas permitirão aos decisores uma estrutura para o gerenciamento de cada modo de falha.

A abordagem matemática será utilizada na definição dos riscos envolvidos nos sistemas sob análise. Nesse ponto serão avaliados os aspectos de quantificação dos riscos através da abordagem probabilística e serão incluídas as características de confiabilidade dos sistemas considerados.

# CAPÍTULO 3

## Fundamentação teórica

### 3.1. Introdução

Pretende-se com a dissertação oferecer aos decisores ferramentas que permitam, de forma segura, se proceder à gestão de riscos de instalações elétricas, de forma que sejam otimizados os recursos para o bloqueio de riscos, atuando no contexto do risco ou gerenciamento dos riscos residuais, canalizando os recursos aonde se caracterize, através dessa metodologia, para as necessidades priorizadas dentro das políticas de gestão da Empresa. Para isso, a análise nesse trabalho se fundamenta no contexto de risco de cada equipamento ou família de equipamentos instalados. Nesse sentido serão levados em consideração suas características, os procedimentos atuais de manutenção, o histórico de falhas, a indisponibilidade, etc. Com isso, toda a análise será feita com base em dados disponíveis em banco de dados e no conhecimento *a priori* dos especialistas responsáveis pela instalação.

Para a análise do assunto do ponto de vista matemático, na fundamentação teórica são avaliados os aspectos probabilísticos envolvidos no processo de risco. Desse modo o estudo busca a aplicação dos conceitos matemáticos de probabilidade como apoio ao gerenciamento de riscos, a partir dos modelos de falhas de equipamentos.

### 3.2. Suporte matemático

As políticas de gerenciamento de riscos estão intrinsecamente baseadas em condições de incertezas, no entanto, qualquer que seja a política, essa tem desdobramentos e conseqüências sobre a confiabilidade dos sistemas e influenciam de forma determinante nos custos de correção dos riscos. Nesse contexto a análise de modo de falha, frequência de ocorrência, tendência de evolução do risco, etc, são avaliados à luz dos fundamentos de probabilidades. É, portanto, necessário uma análise dos conceitos de probabilidades que são utilizados na dissertação.

Todo o estudo será feito utilizando-se para os modelos matemáticos as abordagens determinísticas ou probabilísticas, de acordo com a aderência mais conveniente para cada análise do problema.

### 3.2.1 Abordagens probabilísticas e determinísticas

No processo de gerência de riscos é necessário que o decisor tenha pleno conhecimento das bases sobre as quais se assentam os dados catalogados, pois o exame crítico das informações é o estágio mais importante para a tomada de decisão, sendo, portanto a caracterização das abordagens adotadas, um requisito fundamental no estudo de modelos.

A abordagem apropriada utilizada para a formação de dados se torna fundamental para que sejam asseguradas as bases que mais se aproximem da realidade. Nessas abordagens são considerados os dados dentro de duas vertentes: A partir das informações disponíveis na empresa baseada em banco de dados existentes a respeito de modos de falhas, já catalogados - caso em que se analisa a partir de informações históricas, constituindo-se a abordagem determinística, ou quando não se tem dados históricos ou estes não são adequados para a análise, consideram o conhecimento *a priori* de especialistas para os quais pode-se fazer inferências de forma a apoiar as decisões e se adotar o gerenciamento de riscos utilizando requisitos técnicos ou econômicos apropriados.

#### 3.2.1.1. A Abordagem determinística

Na abordagem determinística o tratamento é feito através da probabilidade frequencista. Segundo (ALMEIDA, 1989), em uma análise de avaliação de desempenho de um sistema, "na abordagem determinística, faz-se uso de indicadores. Do ponto de vista do usuário implica na manipulação de índices numéricos representando as amostras de dados coletados, em um determinado período. Na visão técnica corresponde às estatísticas descritivas obtidas a partir de dados coletados em um dado período e não são, do ponto de vista estatístico, representações testadas em significância e consistência podendo ser tendenciosas. Apresentam apenas uma síntese do seu comportamento em um dado período, sem considerar a natureza aleatória deste comportamento, sem considerar a natureza aleatória deste comportamento"



Considerando esta restrição de caráter técnico (não consideração da aleatoriedade), com essa abordagem não se tem um apoio mais consistente nas decisões, a não ser quando se tem um volume muito grande de ocorrências e onde a natureza do problema investigado apresente uma tendência acentuada nos dados observados. Estes indicadores permitem utilizações diversificadas, pela sua natureza quantitativa são fáceis de serem manipulados, ou seja, não exige um tratamento especializado. Infelizmente, por motivos culturais é o mais utilizado, não se agregando valor nas decisões através de sua utilização, inclusive, na maioria das vezes trazem decisões inadequadas (ALMEIDA, et al, 2001). É importante ressaltar que no contexto de risco deve-se conceber que a prevenção deve ser feita não apenas com base em fatos históricos, mas na possibilidade de ocorrência de um fato inusitado, inédito.

### 3.2.1.2. A Abordagem probabilística

Em algumas situações não se tem dados para a tomada de decisão segura. Nesse momento o pensamento estatístico é fundamental. Considerando esse fato, o ser humano intuitivamente faz uso freqüente, e às vezes inconsciente, de atribuições probabilísticas subjetivas baseadas na sua experiência sobre aquilo que está sob decisão. Na maioria das situações, nos trabalhos cotidianos, o homem é impulsionado a fazer inferências sobre eventos em análise mesmo porque nem sempre se tem dados a respeito.

Considerando ainda que em muitas situações os indicadores históricos, quando disponíveis, não garantem a avaliação do processo na sua totalidade, por razões peculiares de certos processos, a abordagem probabilística se torna necessária para a tomada de decisão. Essa abordagem é tratada no campo da probabilidade subjetiva.

Na abordagem probabilística não se utiliza indicador direto da variável em questão. Todo o tratamento é desenvolvido sobre inferências estatísticas. O emprego de métodos estatísticos e de otimização permite uma abordagem quantitativa, a partir de critérios e técnicas consolidadas para este fim. Em função do objetivo podem ser desenvolvidas inferências, testes de hipótese ou aderência em dados de um período, ou uso de modelos de decisão (ALMEIDA, 1989).

### 3.2.2. Utilização do conhecimento *a priori*

No tratamento de riscos a avaliação dos dados históricos é sobremaneira importante para a tomada de decisão. Entretanto a carência de dados quando do levantamento de situações de riscos é muito alta tendo em vista que nas hipóteses concebidas na maioria das vezes ainda não se tem fato similar à hipótese levantada. Embora se constate em alguns casos a ocorrência de acidentes ou incidentes em outras organizações, nem sempre é possível se configurar o mesmo contexto nesses casos. Daí a análise de hipótese de ocorrências de falhas fica limitada ao conhecimento daqueles especialistas que estão permanentemente no ambiente do risco. Levando-se em conta o conhecimento dos especialistas, a identificação de potenciais de riscos existentes na instalação é feita através de técnicas apropriadas para esse fim (como a análise árvore de falha, AAF, a técnica "e se...", entre outras) e para a identificação das causas leva em consideração o conhecimento *a priori* daquelas pessoas que atuam no ambiente de risco. O uso do conhecimento *a priori* no caso de avaliação de potenciais riscos é muito apropriado em função da ausência de dados de ocorrência, ou quando esses dados existem, não refletem a situação real não são adequados para se tirar conclusões de possíveis ocorrências com base apenas no histórico de ocorrências.

Essa alternativa de se obter informações a partir de conhecimento de especialista é valioso tendo em vista que essa utilização está associada à vivência desses especialistas que detêm o conhecimento significativo do comportamento da estrutura na qual estão inseridos os riscos.

No contexto de identificação de perigos, a utilização do conhecimento *a priori* dos especialistas tem como função primordial a formação de dados que podem ser analisados na macro visão de hipótese de ocorrências, no que se refere a frequência, deixando-se de considerar os aspectos quantitativos de distribuição de probabilidade tendo em vista que a análise matemática será analisada dentro do contexto de taxa de falha, quando for o caso.

No caso de se utilizar as informações dos especialistas (conhecimento *a priori*), alguns ganhos são facilmente visíveis como:

1. Interpretação simples: A probabilidade de ocorrência é vista como o grau de credibilidade; a probabilidade a posteriori mede a precisão final.
2. Lógica simples: Para inferência, obtém-se distribuição a posteriori para as variáveis desejadas; nas decisões, as ações maximizam a utilidade esperada.
3. Aplicabilidade universal: Sempre que houver incerteza, há também probabilidades pessoais (subjetivas).
4. Comportamental: Permite que crenças, valores e inferências sejam interpretadas em termos de comportamento.
5. Garante coerência e consistência com respeito ao comportamento do decisor.
6. Fornece um esquema formal para utilizar a informação *a priori*, principalmente no caso de gerenciamento de sistemas homem-máquina.(BARROS FILHO, 1995)

### 3.2.3 Análise probabilística

Os processos de um modo geral têm algum caráter probabilístico associado, traduzido pelo teor de incerteza quanto à previsão de resultados. Assim também o universo de processos de riscos não poderia ficar fora dessa regra. Dessa forma alguns conceitos revelam a essência probabilística na qual estão inseridos os equipamentos.

Um dos conceitos importantes no tratamento probabilístico é aquele que caracteriza a confiabilidade de um equipamento. Tratando-se de um dos aspectos mais difundidos no campo da probabilidade, a confiabilidade tem ao longo dos anos gerado muitas interpretações, principalmente quando se trata de avaliar o conceito de confiabilidade dentro de abordagens matemáticas ou na visão coloquial desse termo. Algumas definições são clássicas com respeito a confiabilidade, dentre elas citam-se(CARTER,1986):

1. European Organization for Quality Control (1965)

*Confiabilidade é a medida da habilidade de um produto funcionar sucessivamente quando requerido por um período determinado em um ambiente especificado. É medido como uma probabilidade.*

## 2. U.S. Military handbook (1970)

*Confiabilidade é a probabilidade de que um item realizará sua função sob as condições estabelecidas de uso e manutenção para um estado de medida estabelecida (tempo, distancia, etc).*

## 3. British Standards Institution (1971)

*Confiabilidade é a habilidade de um item realizar uma função requerida sob condições estabelecidas por um período de tempo estabelecido.*

## 4. U. K. Ministry of Defense (1979):

*Confiabilidade é a habilidade de um item realizar ou estar capacitado a realizar uma função requerida sem falhar sob as condições estabelecidas por um período de tempo estabelecido. Pode ser expresso como uma probabilidade.*

A confiabilidade definida como uma probabilidade é muito atrativa porque nos habilita a quantificar a confiabilidade de maneira que é geralmente entendida e nos leva a um entendimento de probabilidade contida no assunto de estatística.

Uma definição interessante de confiabilidade foi apresentada por ALMEIDA, 1989:

“Confiabilidade  $R(t)$  é a probabilidade de que um equipamento não deixará de operar em um dado intervalo de tempo  $t$ , ou seja, o mesmo não está no estado de falha. Entende-se por falha, uma degradação que ocasiona uma paralisação no funcionamento do equipamento”.

A característica de anormalidade através de graus de degradação neste funcionamento, em que a operação não é interrompida, mas a variação nos componentes produz uma mudança nas características de funcionamento do sistema além do limite desejável e para o qual foi projetado, é um problema de qualidade de serviço.

A frequência na qual as falhas ocorrem é usada como um parâmetro para uma formulação matemática da confiabilidade e é chamada de taxa de falhas. Esta é uma probabilidade (instantânea) de falhas para um dado equipamento. Outro parâmetro empregado é o MTBF (tempo médio entre falhas), que no modelo exponencial é o inverso da taxa de falhas ( $\lambda$ ), ou seja,  $\lambda = 1/\text{MTBF}$ .

Estudos desenvolvidos sobre confiabilidade mostram a distinção entre três tipos característicos de falhas (excluindo danos causados por manuseio inadequado, armazenamento ou operação imprópria), os quais são intrínsecos ao equipamento. São

eles: falhas prematuras, falha por desgaste e falha casual que pode ser chamada de aleatória pura.

A falha prematura é resultante de técnicas infelizes de fabricação e controle de qualidade durante o processo de produção e ocorre nas primeiras horas de operação. Há processos para eliminação ou minimização deste efeito e são conhecidos por "burn-in" e "debugging". O segundo tipo de falhas ocorre em função do desgaste físico natural dos componentes e implica em um tempo de vida médio de desgaste de peças. Estas podem ser prevenidas pela substituição de peças, sujeitas a esse efeito a intervalos menores que a vida média. O desgaste é uma característica mais presente em peças mecânicas.

Falhas casuais são aquelas que ocorrem como se não houvesse nenhum elemento de causalidade. O fenômeno é então, aleatório "puro". Estas ocorrem em intervalos aleatórios irregulares e inesperados. Não se pode prever sua ocorrência com muita precisão, entretanto, elas seguem certas regras de comportamento coletivo, tal que a taxa de falha é assumida como sendo constante. Nos estudos de confiabilidade estes três tipos de falhas são diferenciados, pois cada um tem uma distribuição de probabilidade específica, requerendo tratamento diferenciado e adequado, e assim métodos distintos devem ser utilizados para eliminá-los."

Na Figura 3.1, é apresentado de forma gráfica esses tipos de falhas.

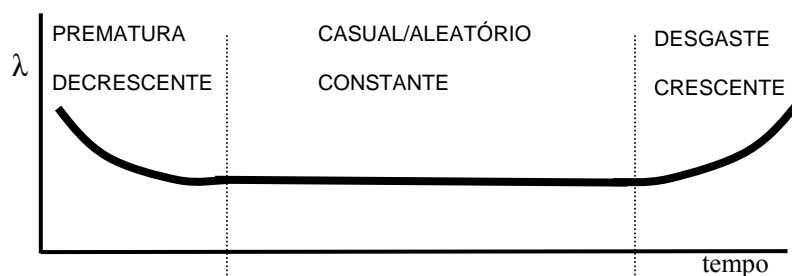


Figura 3.1 – Curva da banheira

Conforme se pode observar a característica indicada pela figura apresenta a particularidade de se ter a taxa de falha constante no período considerado de vida útil, ou seja, quando o equipamento já passou de sua fase de mortalidade infantil e ainda não atingiu a idade de desgaste. Essa característica especial é decorrente de uma distribuição exponencial. Ocorre que nem sempre se tem uma distribuição com esse comportamento. De uma forma geral pode-se obter as características de comportamento dos equipamentos a partir do conceito matemático de probabilidade.

A classificação das falhas é feita também se avaliando os inter-relacionamentos de componentes no sistema e com os agentes envolvidos. Nessa consideração, as falhas podem ser classificadas em falhas primárias (normalmente causadas por deficiências de projeto, fabricação e montagem, uso inadequado ou excessivo, ou quando não é feita a necessária ou apropriada manutenção do sistema), falhas secundárias (ocorrem num ambiente e sob condições em que o componente não foi projetado) e falhas de comando (ocorrem devido a sinais de controle incorretos ou ações externas, como ruído).

Analisando o comportamento das falhas numa visão probabilística tem-se:

Considerando uma função acumulada de falhas como  $F(t)$ , tem-se que a função densidade de falhas, que representa a variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo, é dada pela expressão:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}, \quad (3.1)$$

a função de distribuição acumulada em um intervalo de tempo  $t_1$  até o tempo  $t_2$  é dada por

$$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (3.2)$$

Em confiabilidade a preocupação é com a probabilidade de um item "sobreviver" a um dado intervalo de tempo estabelecido. Isto é, não haverá falhas no intervalo de 0 a  $x$ . A confiabilidade é dada pela função confiabilidade  $R(t)$ . Por essa definição tem-se:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t) dt = 1 - F(t), \quad (3.3)$$

logo  $F(t)$  é a probabilidade de falha do sistema, ou seja:

$$F(t) = 1 - R(t). \quad (3.4)$$

A taxa de falha é a probabilidade de ocorrer uma falha em um intervalo  $t$  a  $t+dt$ , dado que não houve falha em  $t$ . Essa função também conhecida como função de risco, é representada matematicamente como:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}. \quad (3.5)$$

Analisando a confiabilidade no contexto de sistemas, uma metodologia de tratamento de confiabilidade é feita utilizando as formas de conexões das partes dos sistemas. Em geral essas partes estão conectadas de acordo com funcionalidade do sistema podendo ser em série, em paralelo e misto. Os sistemas instalados nas instalações de acordo com a sua complexidade têm de uma forma geral seus componentes interligados de forma mista, ou seja, com ligações série - paralelo.

Segundo (BILLINTON; ALLAN, 1983), para o caso da operação do sistema depender de todas as partes do mesmo, o sistema está em série. Considerando  $n$  componentes em série, a confiabilidade resultante é dada por:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i . \quad (3.6)$$

Onde  $R_i$  é a confiabilidade do componente  $i$  e  $n$  é o número de unidades em série.

No caso em que a operação do sistema ocorrer for necessária apenas a operação de um componente, o sistema é dito em paralelo, ou seja, o sistema é totalmente redundante, ou ainda, o sistema só estará em falha se todos os seus componentes falharem. A confiabilidade resultante é dada por:

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) . \quad (3.7)$$

Onde  $R_i$  é a confiabilidade do componente  $i$  e  $n$  é o número de unidades em paralelo.

Uma variação dessa configuração é aquela em que  $m$  componentes entre  $n$  outros componentes do sistema são necessários para que o sistema funcione. Nesse caso tem-se um sistema parcialmente redundante. Nesse caso a confiabilidade resultante de um sistema  $m/n$ , com  $n$  componentes independentes no qual todas as confiabilidades das unidades são iguais, é calculada como (LIMA, E, S, 1997):

$$R = \sum_{i=0}^{m-1} \binom{n}{i} R^i (1 - R)^{n-i} . \quad (3.8)$$

### **3.3 Ferramentas de identificação e análise de perigos**

Para se analisar os riscos, uma gama de metodologias pode ser utilizada de forma que sejam coletadas todas as situações em que se tenha potencial de riscos e que se possa tomar medidas saneadoras no sentido de bloquear a dinamização do risco ou administrar da forma mais apropriada quando da ocorrência de falhas. Estudos têm sido feito visando tratar a questão dos riscos desde a sua identificação até a tomada de decisão que, para o efetivo bloqueio ou convivência com o mesmo de maneira que as conseqüências sejam minimizadas.

Para se ter um tratamento criterioso a respeito de riscos de uma forma geral é imprescindível que sejam adotados procedimentos já consolidados de forma que se atue em todos os pontos considerados dinamizadores do risco. Esses procedimentos, também caracterizados como ferramentas de identificação e análise de riscos, são instrumentos que podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, dependendo do enfoque que está analisando para se obter uma adequada visão do contexto do risco para que as medidas a serem tomadas sejam efetivas.

Dentre as ferramentas mais usuais cita-se:

#### **I) Análise de subsistema - ASS:**

Esta é uma ferramenta para análise de riscos, de caráter auxiliar, ou seja, apoia o desenvolvimento de outras técnicas. Com essa ferramenta procura-se identificar cada sistema e os subsistemas envolvidos e suas funções. A análise é feita em cada subsistema funcional. O conceito de sua aplicação é a abordagem sistêmica, na qual é possível interpretar o objeto de estudo (equipamento, instalação, planta de processo, etc.) como um sistema, e definir os subsistemas correlacionados. Nesse contexto sistema é entendido como arranjo ordenado de componentes que estão inter-relacionados e que atuam e interagem com outros sistemas, para cumprir uma tarefa ou função (objetivos), num determinado ambiente. Um subsistema é parte integrante de um sistema, que, com outros subsistemas, permitem que a missão seja cumprida.

Essa subdivisão nos auxilia a pesquisar riscos específicos dentro de cada subsistema, e a verificar como a missão do sistema é degradada por tais ineficiências ou condições potenciais de danos. A adoção de medidas corretivas também se torna mais fácil e mais



clara, a partir do ponto no qual podemos individualizar os vários subsistemas responsáveis por uma tarefa.

Um sistema tem as seguintes características:

- Possui elementos/componentes que se inter-relacionam entre si e com suas fronteiras
- Cumpre objetivo/finalidade/missão.
- É Dinâmico.

## II) Série de riscos - SR

Com essa ferramenta procura-se identificar através de um processo de regressão, as causas contribuintes e as seqüências dos fatos. É utilizada com freqüência para avaliar fatos ocorridos. Essa técnica se assemelha à técnica a análise de árvore de falha na medida em que faz a regressão de um evento catastrófico e se busca as causas origens. Busca-se com a técnica identificar as seqüências de riscos envolvidos e as causas que conduziram ao evento, bem como a causa fundamental. Com essa classificação obtém-se a seqüência de riscos inicial, risco contribuinte e risco principal. O risco principal é aquele que pode direta e imediatamente causar:

- morte ou lesão;
- danos a equipamentos, veículos, estruturas;
- degradação de capacidades funcionais (serviços e utilidades)
- perda de material (por exemplo, derramamentos de óleo, combustíveis)

Na elaboração de série de riscos, são apresentados passo a passo, a partir do risco ou riscos iniciais, todos os riscos capazes de contribuir na série, que irá resultar finalmente no risco principal e nos possíveis danos. Uma vez obtida a série, cada risco é analisado em termos das possíveis inibições que podem ser aplicadas a cada caso, desde o risco inicial até a inibição dos danos (efeitos).

Alguns passos básicos devem ser seguidos para a elaboração do diagrama de regressão de risco:

- Identificar um elemento da série;
- Recuar, logicamente, até o risco (s) inicial(ais);
- Avançar, logicamente, até os efeitos/danos finais;
- Prever as possíveis inibições dos eventos:
  - a) eliminando/contendo os danos
  - b) eliminando/ minimizando os riscos

### III) Técnica de incidente crítico - TIC

Essa ferramenta tem caráter qualitativo e busca-se através dela a detecção de incidentes críticos e tratamento dos potenciais de riscos que representam. É utilizada na fase operacional dos sistemas. Nesse contexto, os incidentes são considerados as situações de quase acidente, ou seja, embora não tenha ocorrido uma situação de fato com danos, lesões ou perdas, já se pode avaliar esses possíveis efeitos. Considerando tratar-se de inferência sobre probabilidades associadas, a metodologia de se proceder à aplicação dessa ferramenta é feita da seguinte forma:

- Toma-se uma amostra aleatória de observadores-participantes oriundos de diversas áreas da empresa;
- Através de entrevistas são questionadas diversas situações em que se poderia ter o dinamismo do risco devendo ser registrados atos inseguros cometidos ou observados ou condições inseguras que chamaram a atenção;
- Os incidentes críticos são registrados e classificados em suas categorias de riscos;
- Define-se a área-problema e identificam-se as causas potenciais de acidentes;

Essa técnica é de suma importância, pois tendo uma visão preventiva, pode-se evitar grandes perdas, tanto para o sistema como para o homem.

### IV) E se... (*What if -Check list*)

Essa técnica tem como objetivo avaliar as condições em que se encontram instalações, equipamentos e demais objetos de riscos e verificar o grau de cumprimento de rotinas e de procedimentos. Confere parâmetros já estabelecidos. É qualitativo. (CHESF, 2000). É recomendada a sua utilização em qualquer sistema ou processo, para análise de suas condições físicas e operacionais.

Princípios/metodologia: A técnica E se... é um procedimento de revisão de riscos de processos que se desenvolve através de reuniões de questionamento de procedimentos, instalações etc. de um processo, gerando também soluções para os problemas

levantados. Utiliza-se de uma sistemática técnica administrativa que inclui princípios de dinâmica de grupos.

Benefícios e resultados: Revisão de um largo espectro de riscos. Consenso entre áreas de atuação (produção, processo, segurança) sobre a operação segura da planta. Gera um relatório detalhado, de fácil entendimento, que é também um material de treinamento e base de revisões futuras.

Essa técnica possui uma estruturação e sistemática que a torna um instrumento capaz de ser altamente exaustivo na detecção de riscos. Excelente como primeiro ataque de qualquer situação seja operacional ou não, sua utilidade não está limitada às empresas de processo.

#### V) Estudo de perigo e operabilidade (HAZOP)

HAZOP é um método de análise do processo que utiliza “experiência induzida”, ou seja, é suportada em experiência das pessoas que já tiveram ocorrências outras e que podem contribuir na avaliação de riscos. O método consiste em efetuar revisão de riscos do projeto ou processo em estudo, aplicando palavras-guia, que geram desvios nas condições operacionais, sendo os riscos identificados através dessas supostas condições operacionais. As palavras-guia são usadas para garantir que as perguntas feitas para testar a integridade do processo irão explorar todas as alternativas possíveis em que possam ocorrer desvios da intenção do projeto.

O trabalho é desenvolvido por um grupo de pessoas que buscam visualizar formas como uma planta industrial pode apresentar problemas operacionais e de segurança. O processo de imaginação por si só não é suficiente, a imaginação dos membros do grupo de trabalho deve ser dirigida e estimulada de forma criativa e sistemática, cobrindo todas as partes e etapas do processo produtivo e todos os defeitos e problemas operacionais concebíveis.

A idéia do “HAZOP” baseia-se no estudo completo da planta industrial, questionando sistematicamente cada operação, de forma a descobrir como desvios da intenção do projeto do processo podem acontecer e decidir se os mesmos apresentam qualquer tipo de risco potencial. Isto irá dar origem a uma série de desvios, sendo cada um deles considerado e tomadas decisões de possíveis causas e conseqüências para o mesmo. Algumas causas não são realistas e, portanto as

conseqüências devem ser rejeitadas. Algumas conseqüências são triviais e não merecem maior exame, entretanto, existem alguns desvios que possuem causas que são concebíveis e conseqüências que apresentam risco potencial, as quais, devem ser anotadas e definidas medidas para minimizar ou eliminar estes perigos, ou na própria reunião de HAZOP ou após exame mais criterioso.

O resultado de um estudo de HAZOP é uma planilha onde constam além das palavras-guia, os desvios, as conseqüências, as causas e as recomendações para cada parte do sistema que está sendo estudado. Nesse estudo devem ser analisadas as variáveis do processo.

A seguir são listadas algumas palavras-guia mais usuais e seus significados:

Tabela 3.1 - Listagem de palavras-guia

<b>NÃO / nenhum</b>	No	Negação da intenção do projeto.
<b>MAIS / maior</b>	more / higher	Um aumento quantitativo no parâmetro operacional.
<b>MENOS / menor</b>	less / lower	Uma diminuição quantitativa no parâmetro operacional.
<b>ALÉM DE/ também</b>	as well as	Aumento qualitativo,
<b>PARTE DE</b>	part of	Diminuição qualitativa,
<b>REVERSO</b>	reverse	O oposto da intenção do projeto,
<b>OUTRO</b>	other than	Completa substituição.
<b>COMO</b>	how	Ex.: as instalações são adequadas para o operador concluir a etapa especificada?
<b>PORQUE</b>	why	Ex.: existe uma razão lógica para esta etapa?
<b>QUANDO</b>	when	Ex.: é importante a duração da etapa?
<b>ONDE</b>	where	Ex.: é importante onde ocorre a reação?
<b>QUEM</b>	who	Ex.: está definido quem deve se envolvido p/ “by-passar o sistema de segurança do reator?
<b>VERIFICAÇÃO</b>	check	Ex.: como se sabe que determinada etapa foi concluída
<b>ORDEM</b>	order	Ex.: A ordem das etapas é importante?

## VI) Análise de árvore de falha

A Análise de Árvore de Falhas (AAF) foi desenvolvida pelos Laboratórios Bell Telephone, em 1962, a pedido da Força Aérea Americana, para uso no sistema do míssil balístico intercontinental “Minuteman”.

Os primeiros textos sobre as AAF foram apresentados em 1965, em um simpósio sobre segurança patrocinado pela Universidade de Washington e pela Boeing Company, empresa na qual um grupo aplicou e expandiu a AAF.

A partir daí, houve uma crescente disseminação, tanto da metodologia como da literatura descritiva da técnica, destacando-se os trabalhos de Haasl, Fussel e Henley & Kumamoto.

J. Fussel, citado em FANTAZZINI, M.L. & SERPA, R.R, 2002) assinala em sua obra que uma Árvore de Falhas:

- Direciona a análise para a investigação das falhas do sistema;
- Chama a atenção para os aspectos do sistema que são importantes para a falha de interesse;
- Fornece um auxílio gráfico, através de uma visibilidade ampla, àqueles que devem administrar sistemas e que, por qualquer razão, não participam das mudanças nos projetos desses sistemas;
- Fornece opções para análise quantitativa e qualitativa da confiabilidade de sistemas;
- Permite ao analista concentrar-se em uma particular falha do sistema num certo instante;
- Permite uma compreensão do comportamento do sistema.

A Análise de Árvore de Falhas (AAF) é uma técnica dedutiva para a determinação tanto de causas potenciais de acidentes como de falhas de sistemas, e para a estimação de probabilidades de falha.

Em seu sentido mais restrito, a AAF pode ser vista como uma forma alternativa para a determinação da confiabilidade de sistemas, em substituição ao uso de diagramas de blocos de confiabilidade.

Construção e desenvolvimento das Árvores de Falhas:

A AAF consiste fundamentalmente na determinação das causas de um evento indesejado, denominado “evento-topo”, assim chamado porque é colocado na parte mais alta da “árvore”.

A partir do evento-topo, o sistema é “dissecado”, de cima para baixo, num número crescente de detalhes, até se chegar à causa ou combinações de causas do evento indesejado (o qual, na maioria das vezes, é uma falha de graves conseqüências não só para o sistema, como também para o meio ambiente, a comunidade e terceiros, em termos de danos humanos, materiais e/ou financeiros).

A AAF pode ser desenvolvida tanto qualitativa como quantitativamente. Assim, ela pode ser usada, na forma qualitativa, para analisar e determinar que combinações de falhas de componentes, erros operacionais ou outros defeitos podem causar o evento-topo, e na forma quantitativa, para calcular a probabilidade de falha, a não-confiabilidade ou a indisponibilidade do sistema em estudo.

A estrutura básica de uma Árvore de Falhas (AF) está ilustrada na Figura 3.2.

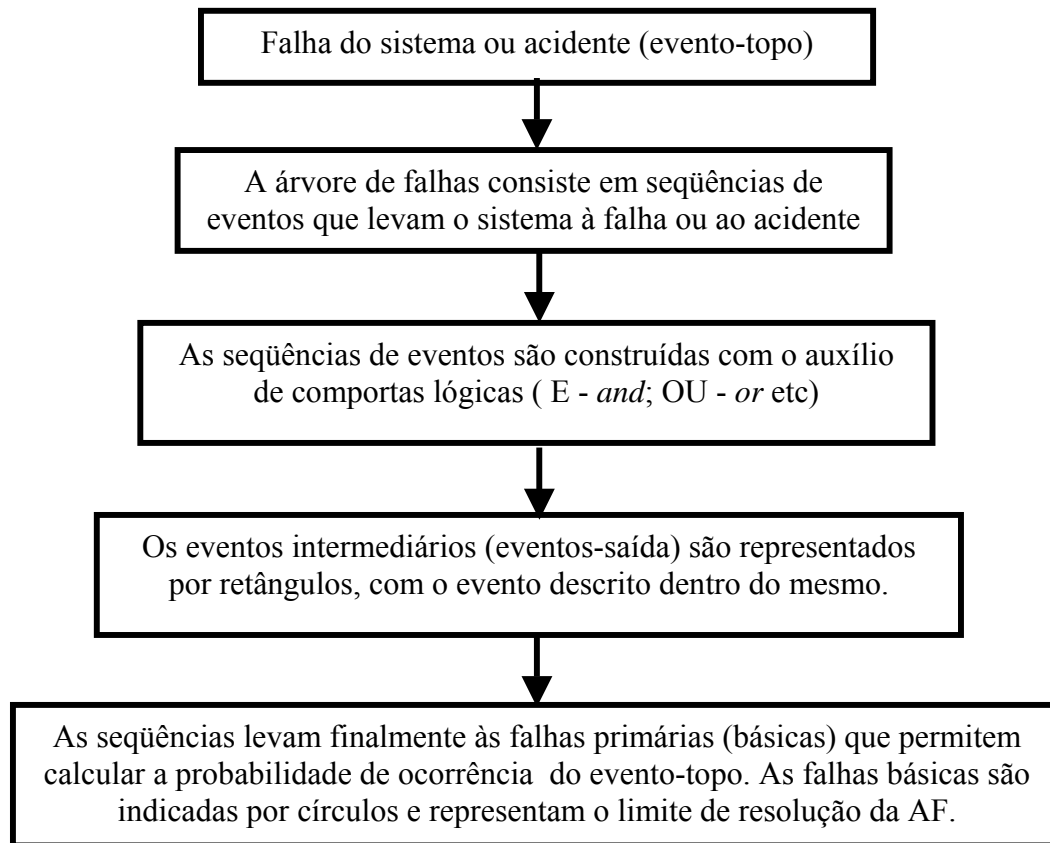


Figura 3.2 - Estrutura de árvore de falhas

Portanto, a árvore de falha é uma estrutura de módulos ou portas *E* e *OU*, com retângulos contendo a descrição de eventos intermediários. Se tivermos os valores das probabilidades de falha de cada componente, poderemos então calcular a probabilidade de ocorrência do evento-topo.

As Árvore de Falhas mais simples e diretas são aquelas, em que todas as falhas primárias significativas são falhas de componentes. Neste caso, podemos então obter a Arvore de Falha a partir do diagrama de blocos de confiabilidade, e vice-versa.

A simbologia mais freqüente usada nas Análises de Árvore de Falhas está exposta na Figura 3.3:



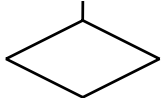
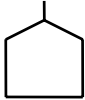
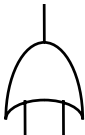
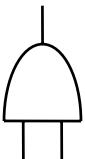
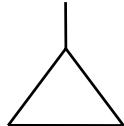
SÍMBOLO	NOME
	Retângulo
	Círculo
	Losango
	Casa
	Porta OU
	Porta E
	Triângulo

Figura 3.3 - Simbologia de árvore de falhas

A porta *OU* representa uma situação em que qualquer um dos eventos abaixo da porta (chamados eventos-entrada) levará ao evento acima da porta (chamado evento-saída). O evento-saída ocorrerá se ocorrer somente um ou qualquer combinação dos eventos-entrada. Representa, portanto, a união de conjuntos (eventos).

A porta *E* representa uma situação em que todos os eventos-entrada devem estar presentes para que ocorra o evento-saída. Isto é, o evento-saída ocorrerá se todos os eventos-entrada existirem ao mesmo tempo. Representa, portanto, a interseção de conjuntos (eventos).



Os retângulos, por sua vez, indicam o evento-topo e os eventos intermediários; eles aparecem como eventos-saída das portas.

Os eventos-entrada das portas podem ser representados de várias formas:

- O círculo representa um evento independente, isto é, um evento cuja ocorrência não depende de outros componentes do sistema. Via de regra, indica uma falha primária ou básica de um componente (também chamada “evento básico”), significando que foi alcançado um limite de resolução adequado da Árvore de Falha.
- O losango identifica um evento não-desenvolvido, isto é, um evento não analisado em detalhes devido à falta de informação ou recursos para prosseguir a análise, ou por não ser considerado um evento suficientemente importante. Representa as chamadas falhas secundárias de componentes. Pode também ser usado para indicar a necessidade de ser realizada uma maior investigação, quando se puder dispor de informação adicional. Qualquer “ramo” de uma Árvore de Falha pode, portanto, também ser encerrado com o losango.
- A figura da casa é usada para descrever um evento normal, isto é, um evento que se espera que ocorra normalmente durante a operação do sistema. Não representa, portanto, uma falha, mas é um evento que deve ser analisado posteriormente em detalhes. A casa também pode ser usada para encerrar qualquer “ramo” da Árvore de Falha.
- O triângulo é um símbolo de transferência de um “ramo” da Árvore de Falha a outro local dentro da Árvore. Com o uso deste símbolo, não há necessidade de repetir uma seqüência de eventos iguais em diferentes áreas da Árvore de falha. É usado também quando necessitamos de mais de uma página para desenhar a Árvore de Falha. Quando o triângulo é conectado à árvore com uma linha horizontal, tudo o que é mostrado abaixo do ponto de conexão é transferido para outra área da Árvore de Falha. Essa área é, então, identificada por outro triângulo, o qual é conectado à árvore com uma vertical. Sempre que for necessário utilizar mais de um conjunto de símbolos de transferência, deve-se identificar cada um deles com uma letra ou qualquer outra figura dentro dos triângulos.

### Classificação das Falhas

Um sistema consiste basicamente em vários componentes, tais como equipamentos, materiais e pessoas.

O termo componente não deve ser entendido como sendo necessariamente o menor constituinte do sistema; ele pode ser perfeitamente uma unidade ou até mesmo um subsistema.

No desenvolvimento de uma Análise de Árvore de falha, é fundamental conhecer os diversos inter-relacionamentos e características de cada componente do sistema.

Usualmente as falhas de componentes são classificadas em falhas primárias ou básicas, falhas secundárias e falhas de comando.

Por definição, uma falha primária ocorre num ambiente e sob condições nos quais o componente foi projetado. Por exemplo, a ruptura de um vaso numa pressão menor que a especificada no projeto seria classificada nessa categoria.

As falhas primárias (ou básicas) são, portanto causadas por deficiências de projeto, fabricação e montagem, uso inadequado ou excessivo, ou quando não é feita a necessária ou apropriada manutenção do sistema.

Em linhas gerais, pode-se dizer que elas decorrem do envelhecimento natural dos componentes, e são representadas na Análise de Árvore de Falha pelo círculo.

As falhas secundárias ocorrem num ambiente e sob condições para as quais o componente não foi projetado. Por exemplo, se a ruptura do vaso ocorresse devido a uma pressão excessiva, para a qual ele não foi projetado, essa falha seria classificada como secundária.

Como o próprio nome indica, a falha não é exatamente do componente, mas está na solicitação excessiva ou no ambiente em que ele opera. São representadas na Análise de Árvore de Falha pela figura do losango.

A falha de comando é devido a sinais de controle incorretos ou impróprios e ruído. Na maioria das vezes, ela não exige ações de reparo para que o componente volte a funcionar.

### Avaliação das Árvores de Falhas

A avaliação de uma Árvore de Falha é sempre feita em duas etapas. Na primeira, desenvolvida de forma qualitativa, é montada uma expressão lógica para o evento-topo, em termos de combinações (uniões e interseções) de eventos básicos.

Na segunda etapa, desenvolve-se finalmente a avaliação quantitativa da Árvore de falha. Após a simplificação Booleana, utiliza-se a expressão lógica para o cálculo da probabilidade do evento-topo, a partir das probabilidades de ocorrência das falhas básicas (ou primárias) de cada componente.

### Avaliação quantitativa

Para a avaliação quantitativa recorreremos ao exemplo em que a simplificação de uma árvore de falha resulte em:

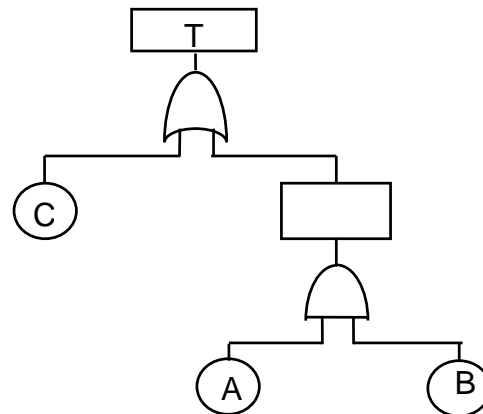


Figura 3.4 - Exemplo de árvore de falhas

Tendo obtido, na sua forma mais simplificada, a expressão lógica para o evento-topo T, em termos de falhas básicas, o próximo passo é calcular a probabilidade de ocorrência do evento-topo.

Observando a expressão simplificada:

$$T = C \cup (B \cap A), \quad (3.9)$$

verifica-se que deve-se aplicar primeiramente o princípio da união, para calcular a probabilidade de ocorrência do evento-topo T, que pode ser designado por P(T).

Assim, obtém-se:

$$P(T) = P(C) + P(B \cap A) - P(A \cap B \cap C). \quad (3.10)$$

Se os eventos básicos (falhas primárias) forem independentes, as interseções podem ser traduzidas pelo produto das respectivas probabilidades individuais. Dessa forma, tem-se:

$$P(T) = P(C) + P(B) \cdot P(A) - P(A) \cdot P(B) \cdot P(C) \quad (3.11)$$

Entretanto, se houver dependência entre eventos, deve-se determinar os valores de  $P(B \cap A)$  e  $P(A \cap B \cap C)$ , utilizando-se tratamentos específicos para esses casos.

Uma vez que as probabilidades de falha dificilmente são conhecidas com uma precisão maior do que duas ou três casas após a vírgula, somente poucos termos têm significância efetiva. Por exemplo, supondo-se que na equação (3.11) as probabilidades de A, B e C fossem respectivamente,  $10^{-2}$ ,  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ . Cada um dos dois primeiros termos da Equação (3.11) seria então da ordem de  $10^{-6}$ ; já o último termo seria da ordem de  $10^{-12}$ , o qual poderia ser considerado desprezível, quando comparado aos dois primeiros.

Outra abordagem bastante utilizada na prática é a chamada aproximação pelo evento raro, a qual também fornece aproximações aceitáveis para valores de probabilidades inferiores a 0,10.

Assim, nessa abordagem, quando houver a equação básica para  $P(X \cup Y)$ , ou seja:

$$P(X \cup Y) = P(X) + P(Y) - P(X \cap Y), \quad (3.12)$$

poderá ser assumido que a probabilidade da interseção  $(X \cap Y)$ , isto é, a probabilidade da ocorrência simultânea dos eventos X e Y é, aproximadamente zero.

Desta forma, se adotará:

$$P(X \cup Y) \approx P(X) + P(Y), \quad (3.13)$$

que dará uma aproximação conservadora (pessimista) da probabilidade de falha do sistema.

Avaliação de Árvore de Falhas Através de conjuntos de corte - "Cut Sets"

Os procedimentos discutidos no item anterior permitem avaliar AF com relativamente poucos "ramos" e eventos básicos.

No caso de Árvores de Falhas maiores, por exemplo, com mais de 20 falhas primárias, tanto a avaliação como as interpretações dos resultados tornam-se consideravelmente mais difíceis, sendo então recomendável o emprego de códigos de computadores.

Tais códigos são normalmente formulados em termos dos chamados “Conjuntos Mínimos Catastróficos (CMCs)”.

Um CMC (ou MCS - Minimal Cut Set, em inglês) é definido como sendo a menor combinação de falhas primárias que causará a ocorrência do evento-topo, se todas elas ocorrerem. É, portanto, uma combinação (isto é, interseção) de falhas básicas suficientes para causar o evento-topo. Todas elas têm que ocorrer no CMC, pois se uma delas não acontecer, não ocorrerá o evento-topo.

#### VII) Análise preliminar de riscos (APR)

A Análise Preliminar de Riscos consiste no estudo, durante as fases de projeto e/ou operacional, com o fim de se determinar os perigos que poderão estar presentes.

Trata-se de um procedimento que possui especial importância nos casos em que o sistema a ser analisado possui pouca similaridade com quaisquer outros existentes, seja pela sua característica de inovação, ou pioneirismo, o que vale dizer, quando a experiência em riscos na sua operação é carente ou deficiente.

A APR é uma análise qualitativa, não voltada para um aprofundamento, uma vez que existem técnicas de análise mais apuradas e adequadas para tais fins. Possui a capacidade de identificar as principais situações de perigo e de estabelecer linhas de ação de controle, desde o início do ciclo de vida do sistema. É usada para que seus benefícios sejam relacionados no sentido de proporcionar uma maior segurança ao meio ambiente e à comunidade.

O objetivo principal é a determinação de riscos e adoção de medidas de controle.

Princípios/metodologia: Revisão geral de aspectos de segurança através de um formato padrão tabular levantando-se causas e efeitos de cada risco, medidas preventivas e/ou corretivas e categorizando-se os riscos para priorização de ações.

Benefícios e resultados: Elenco de medidas de controle desde a fase de projeto, permitindo revisões em tempo hábil no sentido de maior segurança.

Para se categorizar os perigos, uma seqüência de gravidade deve ser atribuída para que se possa priorizar as ações. Uma das classificações para a gravidade utilizadas é a seguinte:

I. Insignificante (ou desprezível): a falha não irá resultar numa degradação maior do sistema, nem irá produzir danos funcionais ou lesões, ou contribuir com um risco ao sistema.

II. Pequeno (ou marginal): a falha irá degradar o sistema numa certa extensão, porém, sem envolver danos maiores ou lesões, podendo ser compensada ou controlada adequadamente.

III. Moderado: a falha poderá degradar o sistema em níveis consideráveis com perda temporária de produção com possibilidade de provocar lesões de porte.

IV. Significativo (ou crítica): a falha irá degradar o sistema causando lesões, danos substanciais, ou irá resultar num risco aceitável, necessitando ações corretivas imediatas.

V. Catastrófica: a falha irá produzir severa degradação do sistema, resultando em sua perda total, lesões ou morte.

O modelo da Figura 3.5 mostra a forma mais simples para uma APR. Outras colunas poderão ser adicionadas, completando a informação.

ITEM	RISCO	CAUSAS	EFEITOS	CATEGORIA DO PERIGO	RECOMENDAÇÕES / OBSERVAÇÕES

Figura 3.5 - Análise Preliminar de Riscos

As seguintes etapas devem ser seguidas para a elaboração da APP:

- Rever problemas conhecidos;
- Revisar a missão;
- Determinar os riscos principais;

- Determinar os riscos iniciais e contribuintes;
- Revisar os meios de eliminação ou controle dos perigos;
- Analisar os métodos de restrição de danos;
- Indicar quem levará a cabo as ações corretivas;

A Análise Preliminar de Riscos deverá ser sucedida por análises mais detalhadas ou específicas, logo que forem possíveis. Deve ser lembrado que para sistemas bem conhecidos, nos quais há bastante experiência acumulada em perigos, a APR apenas sistematiza a informação (para benefício gerencial).

#### VIII) FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*

A FMEA (análise de modo de falha e efeitos - AMFE) é uma técnica de análise qualitativa/quantitativa de riscos que se aplica somente para equipamentos ou outros sistemas, não cabendo nessa ferramenta a inclusão de falhas operacionais ou humanas. Limita-se, e com profundidade de detalhamento, ao sistema “físico”.

Sua importância na detecção de falhas e modos de falhas é tão consagrada na área de prevenção, que extrapola as barreiras deste campo profissional e hoje está, por exemplo, também presente em vários sistemas de gestão de qualidade, através da qual se estudam as falhas e até riscos de um produto, visando incrementar a qualidade do mesmo. O objetivo dessa ferramenta é a determinação de falhas de efeito crítico e componentes críticos, análise da confiabilidade de conjuntos, equipamentos e sistemas.

Princípios/metodologia: Determinar os modos de falha de componentes e seus efeitos em outros componentes e no sistema, determinar meios de detecção e compensação das falhas e reparos necessários e categorizar falhas para priorização das ações corretivas.

Como benefícios e resultados obtém-se o relacionamento das contramedidas e formas de detecção precoce de falhas e aumento da confiabilidade de equipamentos e sistemas através do tratamento de componentes críticos.

Esta técnica permite analisar como podem falhar os componentes de um equipamento ou sistema, estimar as taxas de falha, determinar os efeitos que poderão advir e, conseqüentemente, estabelecer as mudanças que deverão ser feitas para aumentar a probabilidade de que o sistema ou equipamento realmente funcione de maneira satisfatória.

A FMEA é uma análise detalhada, de utilização totalmente geral, sendo, contudo, especialmente aplicável às indústrias de processo.

Sua sistemática a torna ferramenta importante quando o sistema possui instrumentação e sistemas de controle, apontando necessidades adicionais e evidenciando deficiências de projeto. Também ajuda a definir as configurações seguras, para os sistemas de controle, na ocorrência de falhas de componentes críticos e de suprimentos. Também subsidiam a determinação e o encadeamento dos procedimentos para contingências operacionais (planos de emergência), momentos nos quais o sistema é colocado em risco e muitas vezes depende unicamente da ação correta dos operadores, justamente nos instantes em que sabidamente a probabilidade de erro em ações não estruturadas é muito alta.

Geralmente, uma FMEA é efetuada, em primeiro lugar, de uma forma qualitativa. Os efeitos das falhas humanas sobre o sistema, na maioria das vezes, não são considerados nesta análise; eles estão incluídos, no campo da Ergonomia (Engenharia Humana).

Numa etapa seguinte, poder-se-á também aplicar dados quantitativos, a fim de se estabelecer uma confiabilidade ou probabilidade de falha do sistema ou subsistema e estabelecer prioridade de ação de acordo com a criticidade da falha.

#### IX) Ferramenta G - U - T

Essa ferramenta de análise de riscos tem como objetivo a avaliação de prioridade a ser adotada quando de detecção de falhas em determinado sistema em operação. Através da pontuação utilizada para a gravidade (G), são atribuídos valores para o nível de urgência (U) para a correção da falha e são verificadas as tendências (T) de evolução da falha caso não sejam tomadas medidas saneadoras. É comum a utilização dos seguintes pontos para cada fator de Gravidade(G), Tendência(T) e Urgência(U) conforme tabela 3.2:

Tabela 3.2 - Pontuação G x U x T

Gravidade	Urgência	Tendência	G x U x T
5 - catastrófico	5 - ação imediata	5 - evolui para pior	125
3 - moderado	3 - programa a ação	3 - mantém-se	27
1 - leve	1 - posterga a ação	1 - regredirá	1

Existem algumas outras ferramentas para análise de riscos, que de alguma forma são composições das anteriormente apresentadas.



É importante ressaltar que, como para todas as demais técnicas de análise de riscos, é de extrema importância conhecer e compreender o objeto de estudo (equipamento, processo industrial, etc.), podendo ser focado como um sistema, daí, conhecer também seus subsistemas, as interações existentes, as restrições (ambiente) sob as quais irá operar e, principalmente, a missão do sistema como um todo. Uma vez conhecidas essas bases, pode-se finalmente iniciar a análise do sistema.

### **3.4 Técnicas de manutenção centrada na confiabilidade - MCC**

A MCC é definida como um processo usado para determinar o que precisa ser feito para assegurar que qualquer item físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no contexto operacional atual. Dentro desse conceito observa-se que o foco principal no processo é o estado de operação de cada item. Assim, na análise de riscos pode-se atribuir a definição para qualquer situação em que os equipamentos ou componentes de uma instalação estão dando as respostas requeridas pelos mesmos, ou seja, os equipamentos cumprem a sua missão, dentro da concepção para a qual foi projetado. Essa situação envolvida no ambiente operacional é concebida em um universo de riscos que a qualquer momento podem ser dinamizados acarretando a quebra de funcionalidade do equipamento, além de resultar em conseqüências indesejáveis e até catastróficas para o sistema e para o homem. É importante também considerar a relação custo benefício no tratamento dos ativos quanto aos aspectos de manutenção e riscos (SHERWIN, 1999).

O processo MCC tem sua origem a partir de trabalhos feitos na indústria internacional de aviação comercial que em busca de uma nova filosofia de tratamento da manutenção considerando os novos paradigmas da visão manutenção, decorrente especialmente pela incidência de acidentes aéreos em progressão e os custos envolvidos nesse processo, essa indústria necessitou desenvolver um processo novo e compreensivo para decidir que trabalho é necessário para manutenção do transporte aéreo. Esse processo se desencadeou no início dos anos 60.

Em 1978, foi apresentado um relatório ao Departamento de defesa dos Estados Unidos pelos Eng. Stanley Nowlam e Howard Heap, da United Airlines. Esse relatório recebeu

o título de "Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC" ou do inglês RCM (Reliability Centered Maintenance). No início dos anos 80, a filosofia MCC passou a ser usada em outras empresas de aviação.

Tem se constatado a utilização da metodologia de manutenção centrada na confiabilidade atualmente em milhares de organizações no mundo inteiro tendo em vista os resultados apresentados com essa metodologia. Considerando o caráter empírico dessa filosofia são muito comuns iniciativas no sentido de aplicá-la de forma incompleta, gerando por conseqüência algumas derivações equivocadas e até produzindo resultados incorretos. Para regulamentar a aplicação da utilização da estratégia de manutenção centrada na confiabilidade, a Sociedade Internacional de Engenheiros Automotivos (SAE), publicou uma norma em agosto de 1999, intitulada "Critérios de Avaliação para Processos de Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC. Esta norma prevê um padrão de medida que auxilia os usuários a assegurar que estes estão utilizando uma interpretação válida do processo MCC.

O processo de manutenção centrada na confiabilidade tem se tornado muito atrativo para diversas indústrias tendo em vista a sua abrangência. Essa abrangência de atuação é importante em função das atuais exigências da sociedade para as quais a manutenção tem significado relevante. Nessa visão observa-se entre outros, os seguintes campos em que se exigem ações sobre os ativos de uma empresa que conduzam a um processo de manutenção que atendam às necessidades impostas pela sociedade:

- Maximização da disponibilidade dos ativos;
- Necessidade de redução dos custos de manutenção atualmente em ascendência em face do aumento de complexidade de automação;
- Exigência de novos padrões de qualidade;
- A imperiosa necessidade de reduzir as possibilidades de acidentes, implicando por conseqüência em maior segurança;
- Regulamentações rigorosas com relação ao meio ambiente;

A manutenção centrada na confiabilidade tem como pilares as seguintes questões que devem ser respondidas a partir da aplicação dessa filosofia:

- *Quais são as funções e padrões de desempenhos associados ao ativo no seu contexto operacional atual?*

- *De que forma ele falha em cumprir suas funções?*
- *O que causa cada falha funcional?*
- *O que acontece quando ocorre cada falha funcional?*
- *De que forma cada falha tem importância?*
- *O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?*
- *O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva apropriada?*

As respostas a essas questões constituem as bases do processo de manutenção centrada na confiabilidade. Para isso todo um procedimento se faz necessário para se estabelecer essas respostas.

#### **3.4.1. Sistemas, subsistemas, funções e falhas:**

Em instalações elétricas nas quais cada equipamento cumpre suas funções para em conjunto se ter os resultados desejados daquele empreendimento, a determinação explícita das funções específicas de cada equipamento é muito importante e base para uma análise de seu desempenho e definição do que se espera desse equipamento dentro da instalação. Na concepção da MCC, a definição de funções de um determinado ativo é precedida da delimitação desse ativo, ou seja, as funções de cada ativo estão contextualizadas no sistema ao qual o ativo está inserido. Daí se faz necessário a definição do sistema para em seguida se definir as funções associadas. Dependendo do tamanho e complexidade do sistema pode-se ter divisões desses em subsistemas. Essa classificação é livre e dependerá do nível de detalhe que se está estudando.

A função representa o que o usuário quer que o item ou sistema faça, dentro de um padrão de performance especificado (SIQUEIRA, 2001). No caso dos sistemas associados a instalações elétricas essas funções são definidas considerando a finalidade de cada equipamento instalado. As funções podem ter classificações de acordo com a contribuição do ativo ao sistema. As funções podem ser primárias ou secundárias. Para as funções primárias consideram-se as razões para as quais o ativo foi projetado, ou seja, quais as finalidades do ativo. As funções secundárias dão maior abrangência às funções primárias. Ainda se classificam as funções em auxiliares supérfluas. Embora essas funções tenham caráter secundário, são incluídas separadamente no estudo das funções com o objetivo de abrir a análise para uma melhor identificação das funções de determinado ativo.

Com a delimitação dos sistemas e a identificação de suas funções, o passo seguinte no processo de MCC é a identificação daquilo que impede o ativo cumprir a sua missão. Esse impedimento é decorrente da ocorrência de falhas. A falha é conceituada como o evento que interrompe ou altera a capacidade de funcionamento de um ativo. Portanto quando um componente está estado de falha o mesmo não poderá exercer a sua função preestabelecida (FU, W et al, 2002). Na MCC são consideradas as falhas funcionais que consiste na interrupção ou incapacitam o ativo de cumprir sua missão dentro de padrões de desempenho aceitável para o usuário. Para uma análise adequada no processo de MCC é fundamental que todo o desenvolvimento seja balizado em detalhamentos que facilitem a busca de soluções para o restabelecimento do desempenho funcional do ativo. Dessa forma é necessária uma abertura no que diz respeito aos tipos de falhas.

Existem várias formas de classificar as falhas. Entre outras, pode-se classificar as falhas quanto as suas conseqüências para a funcionalidade do ativo (parcial ou total); quanto a velocidade de ocorrência (gradual ou repentina); quanto à forma de manifestação (por degradação, catastróficas ou intermitentes); quanto a sua criticidade (crítica ou não-crítica). Uma classificação importante das falhas diz respeito a sua influência na vida útil de um item. Nessa classificação se encontram as falhas prematuras, que ocorrem durante o período inicial de vida de um equipamento, geralmente decorrente de problemas durante a fabricação. Falhas aleatórias que ocorrem de forma imprevisível durante todo o período de vida útil do equipamento e falhas que ocorrem por deterioração progressiva, que são aquelas que acontecem após o período de vida útil do equipamento, como resultado de envelhecimento.

No contexto da MCC, as falhas podem ser categorizadas de acordo com o efeito que elas provocam sobre as funções do equipamento. Dessa forma tem-se e falhas funcionais e falhas potenciais. As falhas funcionais são conceituadas como aquelas que provocam a incapacidade do item realizar a sua missão dentro do desempenho esperado. As falhas potenciais são condições identificáveis e mensuráveis que indicam que uma falha funcional está em processo de ocorrência. As falhas funcionais são classificadas no processo de MCC em três categorias: falhas evidentes (detectável pela operação); falhas ocultas (não detectável pela operação) e falhas múltiplas.

### 3.4.2. Modos de falha

Identificadas as falhas funcionais, o próximo passo no processo de MCC é a identificação de todos os eventos que são prováveis de causar cada falha funcional, também entendido como estado de falha. Esses eventos constituem ponto fundamental na aplicação da MCC, pois através de análise de possíveis causas de falhas ocorridas no equipamento ou em similar ou ainda aquelas que não aconteceram, mas que são possíveis de ocorrer determinam as medidas que deverão ser tomadas na manutenção do equipamento. A maioria das listas de modos de falha incorpora falhas causadas por deterioração ou desgaste normal. Entretanto, a lista deve incluir falhas causadas por erros humanos e falhas de projeto assim como todas as prováveis causas de falhas podem ser identificadas e tratadas apropriadamente. O gerenciamento mais adequado dependerá do grau de detalhe de cada falha de forma que se possa tomar decisão sobre a política a ser adotada.

Dentro dessa consideração na administração de manutenção de um equipamento deverá ser visto item a item tendo em vista que os componentes de um equipamento podem ter diversos modos de falha requerendo, portanto um tratamento próprio para cada caso. Depreende-se daí que a identificação dos modos de falhas é uma das etapas mais importantes no desenvolvimento de qualquer programa de gestão de ativos que assegure o cumprimento da missão de cada item. É importante observar que o modo de falha está associado ao evento ou estado físico que provoca a transição de estado normal para um estado anormal, descrevem como as falhas acontecem, ou seja, o mecanismo de falha. O estudo de mecanismos de falha objetiva identificar características diferenciais entre as diversas formas como as falhas acontecem. Os comportamentos típicos observados nos mecanismos de falhas em componentes industriais são: desgaste progressivo, que ocorre com uma diminuição gradativa da capacidade funcional ao longo da vida útil; falha intempestiva, que ocorre com perdas bruscas e totais de capacidade funcional; desgaste por fadiga que ocorre com uma diminuição gradativa do número de ciclos necessários para falha e Mortalidade infantil, que ocorre com uma perda brusca da capacidade funcional no início da vida útil do item.

Um aspecto importante na identificação dos modos de falha está associado à raiz da causa da falha. Esse ponto deve ser avaliado com rigor tendo em vista que a identificação errônea da raiz da causa pode levar a tomada de decisão errada da mesma

forma. Assim muitas supostas causas de falha assinalam para políticas de manutenção que quase sempre geram altos custos e não atendem ao objetivo da MCC.

Outro aspecto importante se refere ao comportamento de falha do equipamento. Por muitos anos tem sido representado o comportamento do mecanismo de falha de equipamentos de uma forma através da conhecida “curva da banheira”. Essa curva, que representa a composição ponderada de todos os componentes de um determinado equipamento tem essa denominação devido ao seu perfil se assemelhar a uma banheira. Nessa curva, Figura 3.1, p.30, são destacadas três regiões preponderantes. A parte inicial, com a probabilidade condicional de falha decrescente, corresponde a um mecanismo de falha governado pela mortalidade infantil. A parte central da curva, apresentada por uma probabilidade condicional de falha constante, decorrente da contribuição dos componentes com seu mecanismo de falha aleatória. Na parte final da curva se tem uma probabilidade condicional crescente e representa a contribuição dos componentes em final de sua vida útil, resultante do envelhecimento dos componentes com mecanismo de falha sujeito a desgaste.

Com os estudos decorrentes da MCC foi constatado que nem sempre o comportamento do mecanismo de falha ocorre segundo a curva da banheira tradicional. Esses estudos concluíram que alguns componentes têm mecanismos de falhas cuja representação se distancia daquela da “curva da banheira”. A seguir, na Figura 3.6, apresentam-se alguns tipos de componentes e suas curvas de desgastes típicas:

Tipo A: Motores elétricos, Engrenagens, Controles;

Tipo B: Máquinas a pistão, Discos, Aerofólios;

Tipo C: Turbinas, compressores, Selos de ar;

Tipo D: Flaps de turbinas, itens pré-testados;

Tipo E: Lâmpadas;

Tipo F: Eletrônicos, softwares

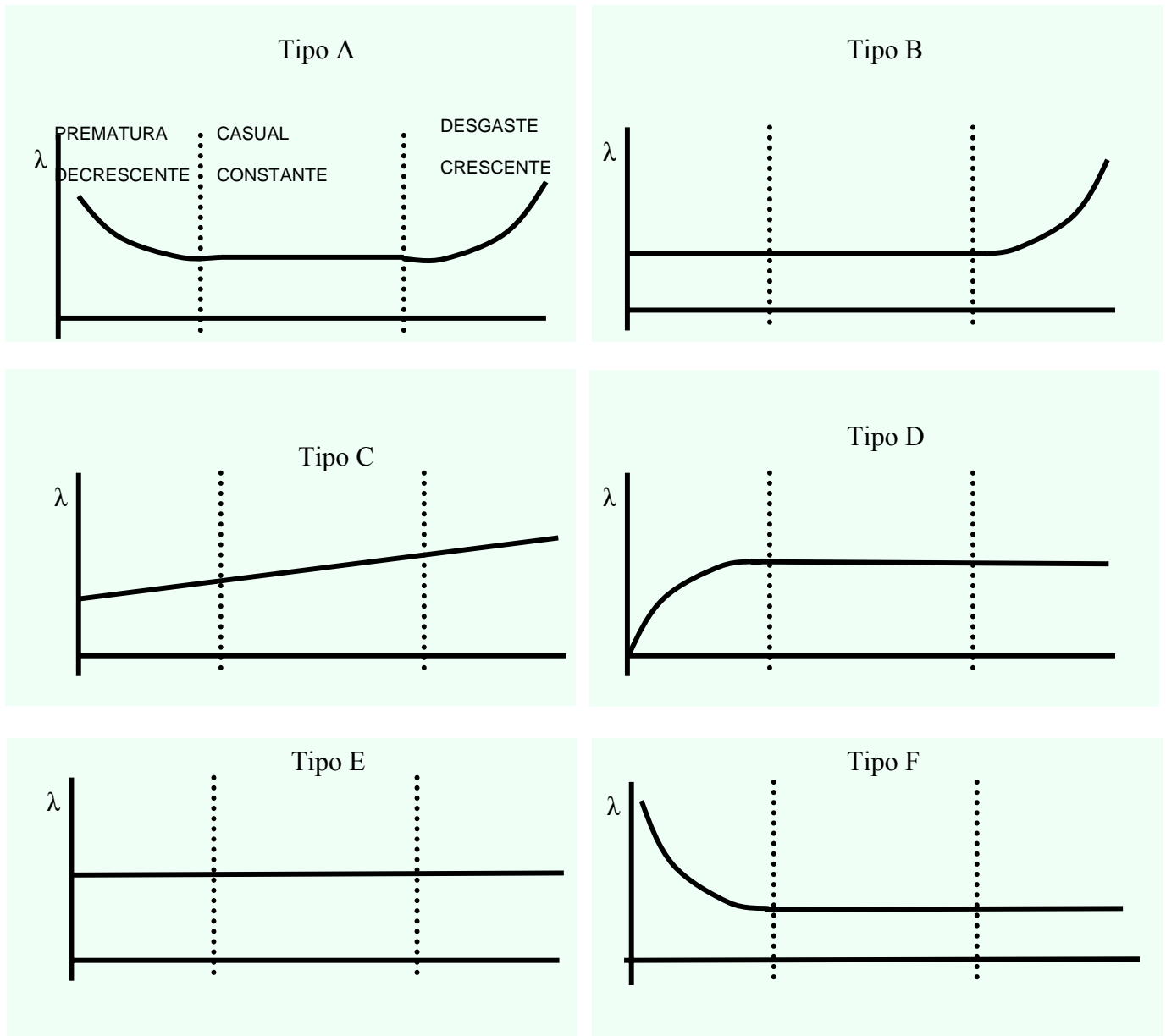


Figura 3.6 - Curvas de taxa de falha típicas

### 3.4.3. Efeitos das falhas

O passo seguinte no processo da MCC é a determinação dos efeitos das falhas. Quando um modo de falha é apresentado, tem-se de imediato um efeito. Os efeitos das falhas constituem, portanto o resultado decorrente da ocorrência do modo de falha. Esse ponto é importante visto que através dele se busca a adoção de medidas que atuem sobre esses efeitos minimizando ou eliminando as conseqüências.

A descrição desses efeitos deve suportar a avaliação das conseqüências das falhas. Especificamente quando da descrição dos efeitos das falhas deve-se registrar:

- Qual a evidência de que a falha ocorreu;  
Que pode ser identificada através dos sistemas de alarmes e supervisão existentes ou através de observações de cheiro, fumaça, ruído, etc;
  
- De que modo ela coloca ameaça à segurança ou ao meio ambiente;  
Esse aspecto é muito importante no processo de identificação dos efeitos e são observados através de uma análise de riscos associados a cada efeito, como explosões, incêndios, acidentes com pessoas e equipamentos, choque elétrico, etc;
  
- De que modo ela afeta a operação ou produção;  
O impacto sobre a produção é identificado analisando aspectos como indisponibilidades de equipamentos ou linhas de transmissão, restrições operacionais, perda de confiabilidade, etc;
  
- Que dano físico é causado pela falha;  
Esse aspecto visa observar o que efetivamente resultou da falha. Devem ser detalhados todos os resultados decorrentes da falha, atentando-se para o fato de que os efeitos considerados levam em consideração os fatos decorrentes das falhas, ou seja, nessa fase não devem ser confundidos os efeitos (resultados das falhas) com as conseqüências (impactos dos efeitos na segurança física, no meio ambiente e no processo).
  
- O que deve ser feito para reparar a falha;  
A decisão sobre o que fazer para reparar a falha está associado aos prejuízos decorrentes, portanto deve-se observar as conseqüências da parada de um processo ou a indisponibilidade do equipamento falhado, especialmente com respeito à multa e perdas financeiras e de imagem da organização. Nesse aspecto é fundamental um plano de ação que otimize a recuperação do equipamento em falha de forma a minimizar as conseqüências.



#### 3.4.4. Conseqüências das falhas

No processo de MCC a análise das conseqüências das falhas é o ponto mais importante no processo. Essa fase se torna o diferencial na MCC, pois através da estratificação dessas conseqüências é que se estabelece um plano de ação efetivo, resultando em medidas mais adequadas para cada caso. Dependendo das conseqüências de cada falha deve-se tomar medidas diferenciadas buscando-se ajustar a relação custo-benefício, evitando-se a tomada de decisão de forma padronizada ou presa a filosofias preestabelecidas sem observar cada situação. As ações, portanto, devem ser adotadas a partir de seleção daquelas conseqüências que de fato requeiram ações reparadoras. Com essa seleção são identificadas as falhas significantes, ou seja aquelas que efetivamente trazem prejuízos à segurança (operadores, usuários, público em geral), ao meio ambiente ( ambiente da instalação e circunvizinhança), à operação e à economia (indisponibilidade, custo).

O processo de MCC classifica as conseqüências de acordo com as características das falhas, se *evidente* (quando é percebida pelo operador) ou *oculta* (quando não é facilmente percebida). Essa caracterização é feita tendo em vista a importância que deve ser dada a falhas ocultas considerando que a sua ocorrência pode não ter imediatamente impacto sobre o sistema mas poderá deixar latente a fragilidade desse sistema expondo o sistema a situações catastróficas. Devem ter, portanto, um tratamento muito cuidadoso no processo de identificação de falhas e adoção de medidas especiais quando da detecção de falhas.

De forma geral as conseqüências das falhas são agrupadas da seguinte forma:

- Conseqüências de falhas ocultas;
- Conseqüências sobre a segurança e o meio ambiente;
- Conseqüências operacionais;
- Conseqüências não operacionais;

Conseqüências de falhas ocultas:

As conseqüências das falhas ocultas são consideradas importantes a medida em que ao ocorrerem não são percebidas e mantêm o sistema sob condições inadequadas de operação podendo se ter situações de sérios riscos quando de ocorrência de outras falhas

no sistema, que se associem ou dependam da falha anterior. Entre as falhas ocultas mais importantes estão aquelas associadas aos dispositivos de proteção que não dispõem de auto supervisão. Os dispositivos de proteção são equipamentos ou sistemas que, em geral, têm as seguintes funções:

- Alertar o operador de uma condição anormal;
- Desligar o equipamento principal em caso de ocorrência de falha;
- Eliminar ou minimizar as condições anormais que se sucedem a uma falha e que poderá causar sérios prejuízos;
- Isolar a falha do sistema;
- Evitar que situações perigosas sejam agravadas

Em resumo, a função desses dispositivos é assegurar que as conseqüências das falhas da função protegida sejam muito menores do que essas conseqüências seriam se não existissem esses dispositivos.

Duas considerações devem ser feitas com relação aos dispositivos de proteção, a saber: Dispositivos que dispõem de auto-supervisão e aqueles que não dispõem dessa supervisão. Analisando o caso de dispositivos que dispõem de auto supervisão, a consideração do contexto da falha e do risco envolvido é reduzida visto que em caso de ocorrências de falhas um aviso ou alerta será dado ao operador que por sua vez poderá tomar medidas que atenuem as conseqüências, ou seja, a falha oculta se tornará uma falha evidente e as ações serão adotadas segundo o comportamento para esse tipo de falha.

Com respeito aos dispositivos que não dispõem de auto-supervisão as conseqüências decorrentes de falhas nesses dispositivos são de altíssimos riscos visto que ao acontecer, o sistema protegido fica sob condições completamente inadequadas e sujeito a desdobramentos irreparáveis com prejuízos sem comparações em algumas situações. Nesses casos, quando os sistemas são protegidos com tais dispositivos, não fica evidente em condições normais a condição de falha, caso o dispositivo de proteção se encontre inabilitado para o cumprimento de sua função principal – proteger o sistema. Nos sistemas elétricos os dispositivos de proteção em geral dispõem de alguma supervisão, tais como detector de sinal de tensão de medida e tensão auxiliar, no

entanto, a maioria das falhas que acontecem a esses dispositivos não são supervisionadas e ao surgirem deixam os sistemas por eles protegidos, em condições fragilizadas.

Uma importante conclusão decorrente da característica da falha oculta é o aumento de exposição ao risco que é imposto ao sistema quando de ocorrência desse tipo de falha. É, portanto, muito importante a avaliação do comportamento desses dispositivos associando as probabilidades de falhas dos mesmos e os tempos de indisponibilidade desses dispositivos às probabilidades de falhas do sistema protegido.

No tratamento dos riscos de uma instalação que dispõem de vários equipamentos com dispositivos de proteção associados, a abordagem deve levar em consideração alguns aspectos tanto de caráter técnico como gerencial para se estabelecer planos de ações que minimizem os riscos envolvidos. Dentre esses aspectos deve-se observar:

- Qual a importância do equipamento protegido, na instalação, o que determinará o nível de aceitabilidade, pela empresa, de uma falha oculta no dispositivo de proteção?
- Qual a probabilidade de que uma função protegida venha a falhar em um determinado período?
- Qual a possibilidade de uma falha oculta reduzir os riscos quando de ocorrência de falha múltipla?

Nessa avaliação observa-se como ponto fundamental a estratégia que deve ser adotada para a manutenção de sistemas que dispõem de dispositivos de proteção sem auto supervisão. A redução das conseqüências indesejáveis pode ser obtida a partir da redução da probabilidade do equipamento falhar (através de realização de manutenção preventiva, alterando a forma de operação do equipamento, evitando *stress* ou alterando o projeto desse equipamento) ou ainda aumentando a disponibilidade dos dispositivos de proteção (através de realização de manutenção preventiva, observando a taxa de falha desses dispositivos ou alterando o projeto).

A análise das conseqüências que se seguem, ou seja, conseqüências sobre a segurança, conseqüências operacionais e conseqüências não operacionais estão associadas a falhas

evidentes, ou seja, aquelas falhas que são percebidas imediatamente pelo operador. As seguintes observações são feitas para essas conseqüências:

- Conseqüências sobre a segurança e o meio ambiente:

Um modo de falha tem conseqüências sobre a segurança quando a falha causa uma perda de função ou outros prejuízos que poderiam causar ferimentos ou morte de pessoas. Em um outro nível de segurança poderia se referir a prejuízos ao bem estar da sociedade.

Com relação ao meio ambiente, um modo de falha tem conseqüências para o meio ambiente se a falha causa uma perda da função ou prejuízos que afetasse o meio ambiente em descumprimento a qualquer norma ou regulação conhecida de meio ambiente.

- Conseqüências operacionais:

Uma falha tem conseqüência operacional se ela tem um efeito direto contrário à capacidade operacional, ou seja, a sua ocorrência afetará o modo de operação da instalação. Em geral as falhas afetam a operação de quatro formas:

- Afetam a operação total (saída do equipamento).
- Afetam a qualidade de produção (o equipamento continua a trabalhar em condições inadequadas).
- Afetam a prestação de serviço aos usuários.
- Aumentam os custos de operação associados aos custos direto de reparo.

- Conseqüências não operacionais:

As conseqüências de uma falha evidente que não afete diretamente a segurança, o meio ambiente ou a capacidade operacional são classificadas como não operacionais. As únicas conseqüências associadas com essas falhas são os custos diretos com reparo, assim sendo essas conseqüências são também chamadas de conseqüências de caráter econômico.

### **3.4.5. Diagrama de decisão**

O processo utilizado pela metodologia de MCC para determinar as ações que devem ser tomadas para eliminar ou diminuir as conseqüências de cada modo de falha é feito utilizando o diagrama de decisão. O diagrama de decisão integra todos os processos de decisão em uma única estrutura estratégica. Esse diagrama é construído a partir de questões básicas que são desenvolvidas em acordo com as conseqüências mencionadas.

Essas questões visam estratificar cada falha e tomar as decisões apropriadas para cada caso, em consonância com as conseqüências identificadas. O diagrama de decisão deve ser construído para cada modo de falha e para isso devem ser consideradas as seguintes questões:

1. A falha é evidente?
2. Se for evidente, afeta a segurança ou meio ambiente?
3. Se for oculta, afeta a segurança ou meio ambiente?
4. Se não afeta a segurança ou meio ambiente, afeta a capacidade operacional?
5. Que ações devem ser tomadas para prevenir a falha, se possível?

Um modelo desse diagrama é apresentado na Figura 3.7 a seguir:

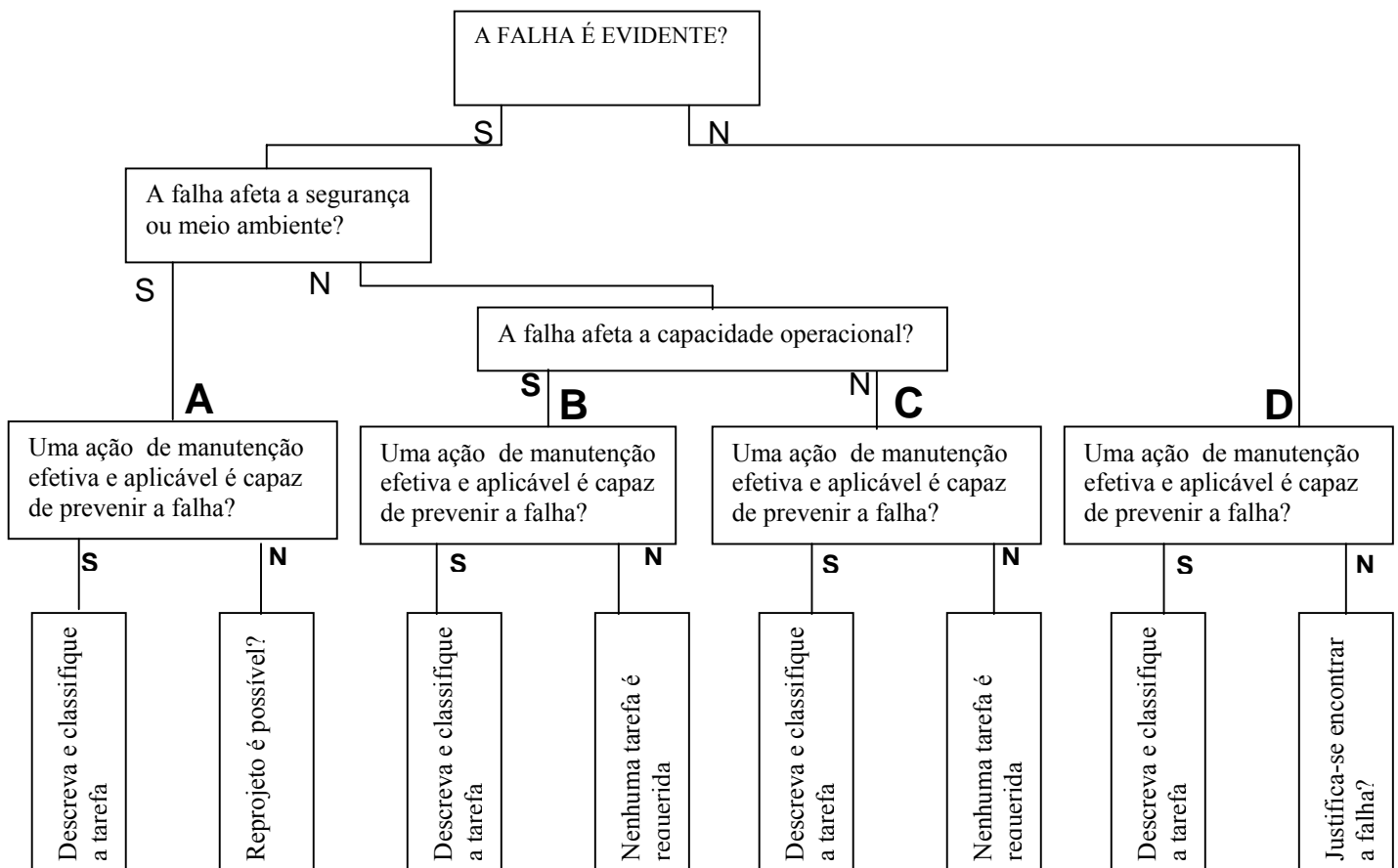


Figura 3.7 - Diagrama de decisão

Alguns pontos são observados na construção do diagrama de decisão: O diagrama deve ser feito para cada modo de falha. Com as respostas às questões, as tarefas de manutenção são estabelecidas para cada modo de falha. Um conjunto de mesma questão é feito para todos os modos de falhas, independentemente de suas falhas funcionais e subsistemas. Este procedimento contribui para um tratamento adequado de todos os modos de falha. São incluídas no diagrama quatro classificações (A, B, C e D) que são as classificações de criticidade das falhas. A categoria A está associada aos modos de falhas que afetam a segurança. Os modos de falhas da categoria B não estão associados a segurança, mas afetam a operação. Os modos da categoria C não afetam a segurança nem a operação, mas podem ser potencialmente prevenidos por tarefas de manutenções e se ter redução de custos fazendo a manutenção. Na categoria D estão os casos de falhas ocultas e que tarefas programadas de localização de falhas(detectivas) podem ser viabilizadas. No apêndice está incluído um diagrama de decisão típico utilizado pela ALADON LTD.

A partir do diagrama de decisão, a MCC utiliza um procedimento para registro das decisões a serem tomadas. Isso é feito através de um formulário no qual são registradas as tarefas selecionadas para cada falha, bem como detalhes de quando e quem deve executar cada ação identificada. Esse procedimento é importante devido ao fato do mesmo traduzir sob forma de tabela todos os passos seguidos na construção do diagrama de decisão além de estabelecer um plano de ação para o encaminhamento de solução da falha. Considerando que essa etapa é o ponto mais importante da MCC, pois explicita o que deve ser feito para se restaurar as funções do sistema, uma série de procedimentos devem ser utilizados para a construção do plano de ação.

De acordo com Moubrey, 1995, as tarefas devem ser detalhadas o suficiente para não deixar dúvidas ao executante. Entre outros aspectos importantes na descrição das tarefas deve-se incluir: a descrição do equipamento no qual será aplicada a tarefa; Quem deve fazer a tarefa, identificando o nível do executor; A frequência com que será feita a tarefa; As condições de liberação do equipamento; As ferramentas necessárias para a execução.

Uma visão simplificada do processo de decisão considerando os aspectos de riscos pode ser observada a partir do diagrama lógica abaixo, adaptado de HAUGE & JONHSON, 2001 como apresentado na figura 3.8:

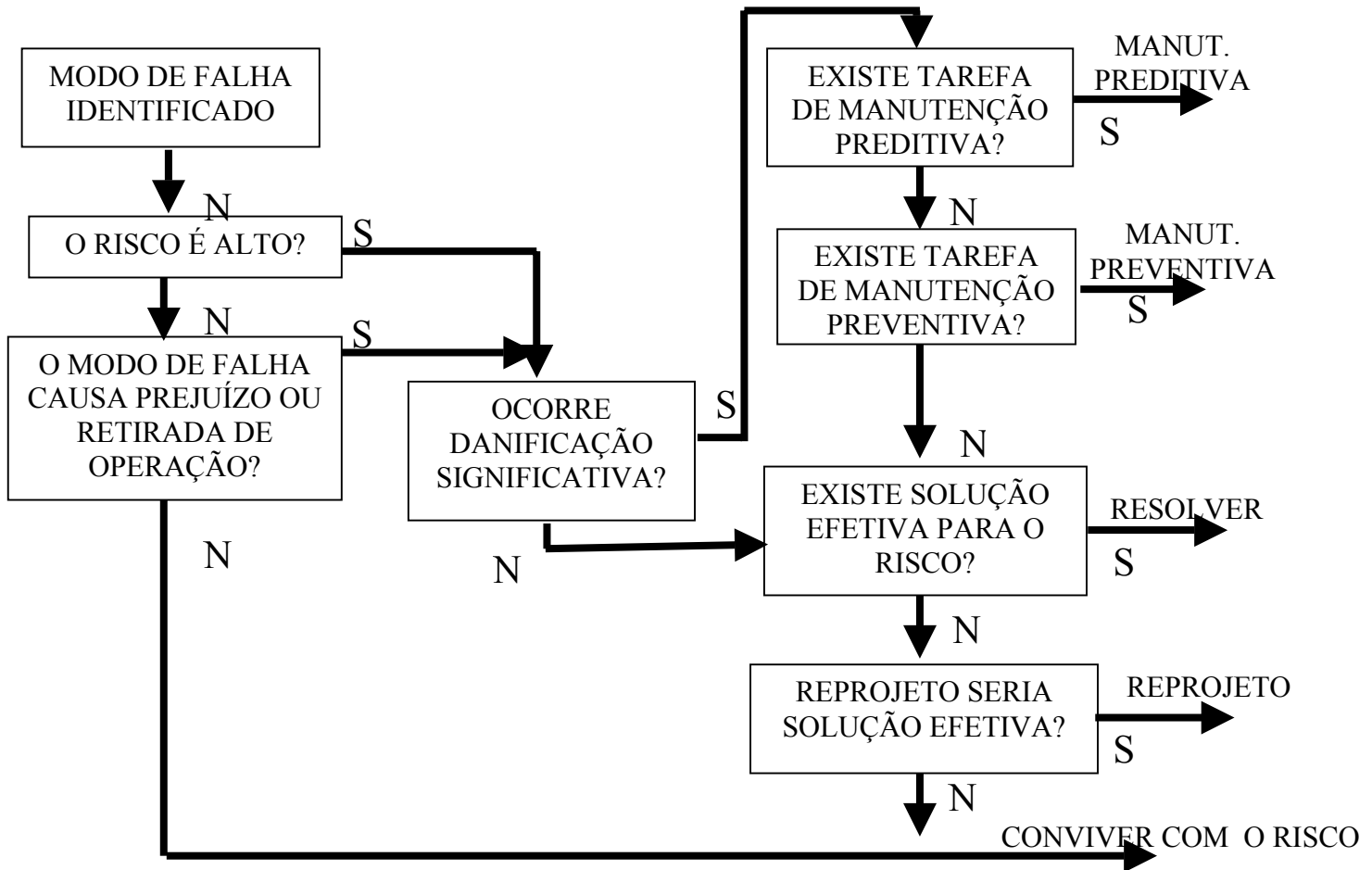


Figura 3.8 - Diagrama lógico de decisão. Adaptado de (HAUGE, JONHSON, 2001)

# CAPÍTULO 4

## Modelo de gerenciamento de riscos utilizando as ferramentas de manutenção centrada na confiabilidade

### 4.1 Introdução

O objetivo central desse estudo é apresentar uma alternativa de tratamento de riscos em instalações do sistema elétrico tendo como suporte as técnicas utilizadas no processo de MCC.

Para uma compreensão da proposta de como se desenvolve o tratamento de riscos inicialmente será apresentado o contexto de gerenciamento de risco para em seguida incluir as ferramentas empregadas na MCC para o gerenciamento de riscos de instalações elétricas.

Considerando que a estratégia de manutenção centrada na confiabilidade é aberta e que, portanto são permissíveis a sua aplicação com as adaptações necessárias para cada empresa, a aplicação das ferramentas normalmente empregadas na MCC e a aplicação de outras associadas, trazem uma formulação aderente ao processo de gerenciamento de risco.

Por que utilizar as ferramentas de MCC? Um dos pilares da MCC é o tratamento dos problemas de ativos de forma estruturada e com objetivos bem definidos e diferenciados, de acordo com o interesse dos decisores.

Com relação à estruturação, a MCC utiliza ferramentas já conhecidas e de largo uso em diversos tipos de processos. Especificamente no contexto da manutenção, como é o propósito da MCC, são utilizadas como ferramentas principais à análise de modo de falha, efeitos e criticidade (FMEA/FMECA) e outras como análise de árvore de falha (AAF) e análise probabilística de riscos (PRA).



Essas ferramentas são usadas dentro de um modelo estruturado com a utilização de um padrão de documentação, através de formulários específicos, os quais podem servir de entrada de dados para sistemas de informação.

De acordo com a estratégia de aplicação da MCC, serão descritos os sistemas e subsistemas principais envolvidos no contexto de riscos de uma instalação. Em seguida serão identificadas todas as funções dos subsistemas e as falhas funcionais correspondentes a cada função. Com as falhas funcionais estabelecidas o passo seguinte será a explicitação dos modos de falhas correspondentes às falhas funcionais.

Com os modos de falhas colocados serão identificados os efeitos de cada falha utilizando-se a ferramenta FMEA. Essa ferramenta será utilizada em um sistema e será delineada a aplicação para os demais sistemas escolhidos. A partir desse ponto serão estabelecidas todas as conseqüências de cada modo de falha e serão direcionadas essas conseqüências para os riscos associados. O gerenciamento dos riscos será abordado de acordo com a severidade da falha e da freqüência com que é presumível ocorrer cada falha.

#### **4.2. Gerenciamento de riscos**

Os estudos de análise de riscos (identificação, avaliação e controle) podem ser considerados como importantes “*ferramentas*” de gerenciamento, tanto sob o ponto de vista ambiental, como de segurança de processo, em instalações e atividades perigosas, uma vez que esses estudos fornecem, entre outros, os seguintes resultados:

- Conhecimento detalhado da instalação e de seus riscos;
- Avaliação dos possíveis danos às instalações, aos trabalhadores, à população externa e ao meio ambiente;
- Subsídios para a implementação de medidas para a redução e gerenciamento dos riscos existentes na instalação.

Considerando que o risco é uma função da freqüência de ocorrência e dos danos (conseqüências), gerados por eventos indesejáveis, a redução dos riscos, numa instalação, pode ser conseguida, através da implementação de medidas que visem, tanto

reduzir as frequências de ocorrência de acidentes (ações preventivas), como as suas respectivas consequências (ações de proteção), conforme apresentado na figura abaixo.

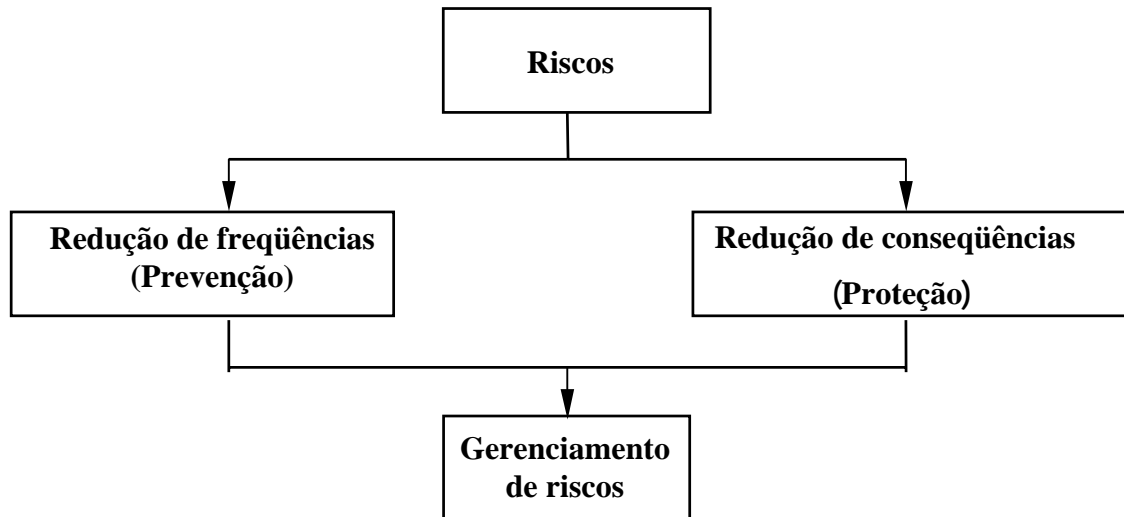


Figura 4.1 - Processo de gerenciamento de riscos

As ações voltadas para a redução das frequências de ocorrência de acidentes normalmente envolvem melhorias tecnológicas nas instalações, bem como medidas relacionadas com a manutenção de equipamentos e treinamento de pessoal.

Medidas preventivas:

- Melhoria da qualidade do sistema:
  - Aumento da confiabilidade individual dos componentes;
  - Aperfeiçoamento da configuração do sistema.
- Aumento da disponibilidade dos sistemas de segurança;
- Revisão da frequência de inspeções nos equipamentos vitais, essenciais e ordinários;
- Programa de capacitação e treinamento de pessoal, contemplando:
  - Formação profissional;
  - Experiência na atividade;
  - Tempo disponível para a execução de tarefas;

- Comportamento e procedimentos adotados em situações rotineiras e emergenciais;
- Local e ambiente de trabalho.

As medidas relacionadas com a redução de conseqüências não têm o caráter preventivo, já que visam minimizar os danos decorrentes de eventuais acidentes.

Exemplos dessas medidas:

- Diminuição da quantidade estocada ou manipulada de substâncias perigosas;
- Medidas para a contenção de vazamentos (diques e bacias de contenção, sistemas de drenagem fechados, etc.);
- Limitação dos danos resultantes de incêndios e explosões:
  - Eliminação de locais de confinamento de gases e vapores;
  - Sistemas de revestimento;
  - Sistemas de prevenção e combate ao fogo;
  - Reforço de estruturas;
  - Alteração da disposição de equipamentos e unidades (distanciamento).

A questão da avaliação da intensidade de um risco é uma tarefa por demais difícil, pois se trata de uma questão onde a percepção assume uma posição importante na avaliação, ou seja, sempre haverá a decisão de pessoas que dentro de determinadas circunstâncias podem ter opiniões divergentes com respeito ao nível de risco de determinado sistema (JONES,1995). Como citado anteriormente, uma avaliação do grau de risco pode ser estabelecida a partir da resposta às seguintes questões:

- *O que aconteceria caso houvesse uma falha no sistema em análise?*
- *Qual a frequência de ocorrência da falha?*

A combinação das respostas a essas questões pode dar uma avaliação do grau de risco ao qual está exposto o sistema, o meio ambiente e as pessoas.

Observa-se que a primeira questão está associada à conseqüência da falha, indicando, portanto o grau de gravidade, enquanto que a segunda questão leva a identificação da possibilidade de ocorrência da falha. Assim a combinação da gravidade e da frequência da falha dá uma visão adequada do grau de risco de um sistema.

Dentro dessa consideração o risco é entendido como uma função direta da consequência e da frequência. A composição desses aspectos em termos quantitativos é incluída em uma matriz de risco que de forma didática pontua o risco.

Considerando que a formulação dessa matriz tem um caráter empírico em face da característica de avaliação, com base no sentimento, muitos autores adotam graduação de gravidade e de frequência de modo variado, mas que tentam atingir de forma aproximada os níveis de riscos dentro de uma faixa aceitável que permite uma decisão adequada.

Dentre as considerações dessas graduações pode-se adotar a seguinte:

*Graus de severidade (consequências):*

De acordo com JONES, 1995, p.183, a consequência denota a magnitude da perda. É algo subjetivo no sentido em que a quantificação da perda pode ser vista diferentemente por pessoas diferentes e assim sendo é um desafio quantificar a consequência. Não existe um padrão para se calcular consequências. Em geral não se tem uma estimativa da consequência. Normalmente as consequências descrevem aquilo que se perde. Dessa forma a análise da consequência vista a partir das perdas envolvidas pode ser graduada de várias formas. Uma dessas graduações mais utilizadas considera os seguintes níveis:

Nível 5 - **Catastrófico**: Esta é a categoria mais importante. Está associada a segurança. Resulta em perda da capacidade de manter a produção do sistema ou pode causar morte de seres humanos ou ainda grandes danos ao meio ambiente, por exemplo:

- Perda da capacidade de produção substancial (50% ou mais);
- Acidentes com lesões fatais

Nível 4 - **Significativo**: Nesta categoria estão incluídas as perdas de produção ou redução da capacidade de cumprimento da missão, por exemplo:

- Perda de capacidade produtiva em curto prazo (de 3 a 6 meses);
- Significativa redução da qualidade de fornecimento;
- Perdas financeiras;
- Possibilidade de ferimentos severos;

Nível 3 - **Moderada**: Interrupção nas operações normais, com efeito, limitado no cumprimento dos objetivos gerando, por exemplo, perda temporária de produção,

impacto corrigível, perdas de ativos. Nesse nível se constata a perda de qualidade de serviço ou produto;

Nível 2 - **Pequena**: Não há impacto material sobre o cumprimento dos objetivos previstos;

Nível 1 - **Insignificante**: A sua consequência não tem influência ou afeta de forma mínima o sistema. Têm influência nos custos de manutenção e reparo.;

*Níveis de frequências:*

A avaliação quantitativa da frequência é feita através da análise de probabilidade. Essa análise pode ser abordada de forma determinística ou probabilística. No item 3.2.1. são apresentadas essas visões. Para esse trabalho são utilizadas as duas abordagens de acordo com o modo de falha e considerando os dados disponíveis. Muitas classificações são utilizadas para a categorização dos níveis de frequências. Uma das graduações utilizadas é a seguinte:

Nível 5 - **Frequente ou comum**: O risco é quase certo de ocorrer mais de uma vez nos próximos 12 meses;

Nível 4 - **Provável**: O risco é quase certo de ocorrer uma vez nos próximos 12 meses;

Nível 3 - **Remota**: O risco é quase certo de ocorrer pelo menos uma vez nos próximos 2 a 10 anos;

Nível 2 - **Improável**: O risco é quase certo de ocorrer pelo menos mais de uma vez nos próximos 10 a 100 anos;

Nível 1 - **Raro ou inacreditável**: Provavelmente o risco não ocorrerá, ou seja, menos de uma vez em 100 anos;

Com essa pontuação para a severidade e frequência pode-se construir a matriz de risco e nela, através da composição severidade x frequência, estabelecer a graduação do risco.

Um dos critérios mais utilizados para a graduação de risco considera a seguinte escala de aceitabilidade e as ações a serem adotadas:

*Risco muito grave ou intolerável:* Ações imediatas devem ser adotadas para eliminação do risco ou reduzi-lo a um mínimo tolerável;

*Risco grave ou indesejável:* É necessário um plano de ação detalhado para reduzir o risco ao nível mínimo, tolerável;

*Risco tolerável:* Gerenciar o risco para mantê-lo sob controle através de práticas adequadas;

*Risco Baixo:* Gerenciar através de práticas adequadas;

*Risco muito baixo:* Nenhuma ação é necessária;

Combinando essas definições a matriz de risco fica conforme tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Matriz do risco

		FREQÜÊNCIA				
		INACREDITÁVEL	IMPROVÁVEL	REMOTA	PROVÁVEL	FREQÜENTE
SEVERIDADE	CATASTRÓFICA	TOLERÁVEL	GRAVE	MUITO GRAVE	MUITO GRAVE	MUITO GRAVE
	SIGNIFICATIVO	TOLERÁVEL	TOLERÁVEL	GRAVE	MUITO GRAVE	MUITO GRAVE
	MODERADO	BAIXO	BAIXO	TOLERÁVEL	GRAVE	MUITO GRAVE
	PEQUENO	MUITO BAIXO	BAIXO	BAIXO	TOLERÁVEL	GRAVE
	INSIGNIFICANTE	MUITO BAIXO	MUITO BAIXO	MUITO BAIXO	BAIXO	TOLERÁVEL

### 4. 3. Aplicação das técnicas de manutenção centrada na confiabilidade.

A aplicação das técnicas de MCC enfocando os riscos em uma unidade complexa, como é o caso das instalações de transmissão de energia elétrica, requer uma ordenação do processo com o objetivo de facilitar o desenvolvimento do mesmo de forma seqüencial e de fácil entendimento.

Essa ordenação do processo é feita a partir da repartição da unidade em sistemas. A definição de sistemas é uma das etapas mais importantes no processo da MCC. No

contexto da MCC, os sistemas são definidos a partir de suas funções específicas (GOODFELLOW,2000). Em seguida esses sistemas são divididos em sistemas menores que são os subsistemas (etapa 1). Com os subsistemas definidos, são identificadas as funções de cada subsistema (etapa 2). Em seqüência são determinadas as falhas funcionais de cada subsistema e as causas das falhas, ou seja, os modos de falhas (etapa 3). Essas etapas são chamadas de decomposição das funções dos sistemas (JONES, 1995).

Na etapa seguinte as falhas identificadas são categorizadas de acordo com sua criticidade e importância (etapa 4). Finalmente na etapa 5 são determinadas as ações de manutenção e gestões necessárias para o gerenciamento das falhas. Essas ações podem ser manutenções programadas, manutenções preditivas, restauração, intervenções detectivas, reprojeto, ou ações corretivas para reduzir os riscos ao nível mínimo aceitável ou ações de gerenciamento do risco visando mantê-lo sob controle através de práticas adequadas.

Todo o processo deve ser feito de forma organizada para que se possa utilizar planilhas ordenadas com as listagens dos elementos componentes de cada etapa.

#### **4.3.1. Escopo da aplicação**

Para a aplicação das técnicas de MCC, é necessário o estabelecimento de contornos. Esse passo é a definição do escopo de análise. Esse escopo dá o balizamento para a aplicação da metodologia norteando, por conseguinte, o grau de profundidade que é requerido para os sistemas sob aplicação da MCC. Nesse sentido as seguintes decisões devem ser tomadas para a aplicação do modelo e definição dos sistemas e subsistemas observando-se os aspectos de custos e resultados desejados:

##### **4.3.1.1. Abrangência da aplicação**

No que se refere à abrangência da aplicação, o modelo leva em consideração as possibilidades de ocorrências que sejam viáveis dentro de uma limitação racional, ou seja, não se considerarão hipóteses de riscos de pouquíssimas possibilidades de acontecer levando-se em consideração a coerência de raciocínio e do conhecimento *a priori* daqueles que atuam direta ou indiretamente com as atividades na instalação. Assim, por exemplo, não serão considerados riscos de queda de avião sobre a instalação (possibilidade remotíssima devido à área não ser rota de aviões e não haver histórico

nenhum na região e circunvizinhança), ocorrência de terremoto (região imune a esse fenômeno pela sua localização e inexistência de histórico a respeito). Com esse entendimento o fator custo fica restrito a uma base de referência lógica e admissível de análise. Além dessa consideração, devem ser avaliadas também as limitações de recursos financeiros, natural em qualquer organização. Essa limitação, embora tende a restringir as ações de correção não deve gerar viés significativo no processo tendo em vista que não devem ser desprezadas sugestões de solução pelo simples aspecto de que não se têm recursos para tal. Essa limitação, no entanto tem caráter seletivo, onde se busca otimizar os custos para a solução do problema e não o descarte de sugestão pura e simplesmente.

#### 4.3.1.2. Abrangência dos resultados – Nível de profundidade

Para a definição dos sistemas, outro ponto importante a ser considerado é a abrangência dos resultados. Esse aspecto está associado à estratégia da organização no que se refere à tomada de decisão sobre os resultados da aplicação. A medida em que se divide cada sistema em subsistemas, as gestões de solução passam a ser mais minuciosas e requerem maiores exigências nas soluções. É, portanto, uma decisão estratégica considerando que as ações devem ser adotadas até no nível aonde se detém o domínio do sistema ou subsistema ou componente.

#### 4.3.2. Sistema de numeração

Existe uma hierarquia generalizada de dependência funcional de um sistema para seus subsistemas, falhas funcionais e modos de falhas.

Cada modo de falha é único para uma falha funcional, cada falha funcional é única para cada subsistema e cada subsistema é único para cada sistema. Um dos indexadores do sistema, desenvolvido por (JONES, 1995), utiliza uma estrutura de numeração largamente usada em estudos de MCC em qualquer nível.

Este sistema de numeração é útil e rapidamente são identificados os sistemas, subsistemas, falhas funcionais e modos de falha e seus relacionamentos.



A aplicação de índice para os sistemas é utilizada quando se tem uma aplicação da MCC para grandes instalações, no entanto, um projeto de MCC pode utilizar apenas um sistema com vários subsistemas. Nesse caso se torna desnecessário a indexação do sistema (visto que o mesmo é único).

Historicamente a MCC era utilizada para estudo detalhado de sistemas, onde um sistema era extensivamente analisado. Espera-se que, no futuro, a MCC seja usada para extensos estudos de projetos de manutenção incluindo grupos de sistemas com uma visão mais dinâmica. Nesses casos necessariamente deve ser utilizada a indexação para os sistemas.

A indexação desenvolvida por (JONES, 1995) pode ser aplicada para os casos gerais de mais de um sistema. Sua estrutura é versátil e permite simplificações sem modificação na ordem numérica. A indexação hierárquica estabelecida para dependências funcionais de um super sistema (bloco de sistemas) é baseada no uso de 06 dígitos. O dígito mais a esquerda identifica o sistema (nesse caso considera-se um bloco de sistema com no máximo 09 sistemas). Os dois dígitos seguintes identificam os números dos subsistemas. Os dígitos #4 e #5 identificam as falhas funcionais do subsistema. Os dois últimos dígitos se referem aos modos de falhas de cada falha funcional. Abaixo se apresenta um exemplo:

1.00.00.00: Sistema # 1

1.02.00.00: Subsistema # 2 do sistema # 1

1.02.03.00: Falha funcional # 3 do subsistema # 2 do sistema # 1

1.02.03.04: Modo de falha # 4 da falha funcional # 3 do subsistema # 2 do sistema # 1

A figura 4.2 apresenta o relacionamento entre hierarquia numérica e funcional:

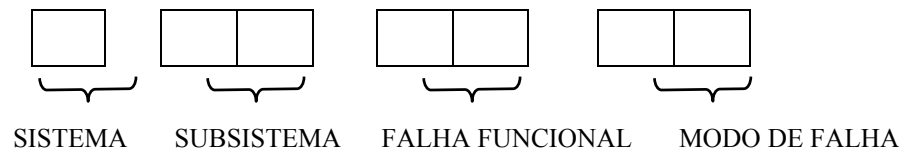


Figura 4.2 - Sistema de numeração

Observa-se que as funções dos sistemas não são explicitamente consideradas na indexação numérica. Isto é porque as funções dos subsistemas estão incluídas na numeração das falhas funcionais. Em uma perspectiva prática, as funções próprias não são os alvos de manutenção. Na MCC o que é importante é como as funções falham. As tarefas de manutenção são projetadas para evitar que as falhas aconteçam. Esta é a razão por que as funções dos subsistemas não são indexadas.

#### **4.3.3. Definição dos sistemas, subsistemas e falhas funcionais associadas a cada subsistema e os modos de falhas correspondentes.**

Considerando os balizamentos explicitados no escopo da aplicação, os seguintes sistemas foram selecionados para o estudo em uma instalação do sistema de potência:

1. Transformadores de potência;
2. Disjuntores de alta tensão;
3. Barramentos;
4. Sistema de serviços auxiliares;
5. Sistema de proteção.

Como mencionado no item 2.4.3 (metodologia proposta), esses sistemas foram escolhidos considerando suas importâncias no contexto de transmissão de energia, em cuja situação de falhas, se tem imediatos e severos prejuízos no fornecimento de energia ou por outro lado, suas conseqüências são extremamente críticas para o homem.

#### **1. Sistema - Transformadores de potência:**

Esses equipamentos foram identificados como sistemas tendo em vista que compõem o segmento mais importante de uma instalação de transmissão em uma

empresa de energia elétrica, ou seja, através da função principal desses equipamentos – a transformação de níveis de tensão – se obtém a finalidade básica da instalação. Um ponto importante na escolha desse sistema é a característica desses equipamentos enquanto potenciais de riscos. Conduzindo altas correntes em altos níveis de tensão, portanto, suportando alta potência, esses equipamentos são susceptíveis a perdas de isolamento, desgastes de material, fugas de correntes, etc. Considerando que esses equipamentos são isolados com grandes volumes de óleo, é natural a possibilidade de perdas de características de isolamento desse óleo e vazamentos que podem comprometer o desempenho do equipamento tendo por consequência a grande probabilidade de acidentes ou perdas de continuidade de fornecimento de energia ou ainda redução da confiabilidade do sistema quando de ocorrência de desligamento de uma unidade de transformador. No sistema CHESF existem em operação 463 transformadores de potência distribuídos nas unidades executivas regionais do sistema, conforme tabela abaixo:

Tabela 4.2 - Quantitativo de transformadores CHESF

TENSÃO	REGIONAL						TOTAL
	CENTRO	C. OESTE	LESTE	NORTE	OESTE	SUL	
500 KV	51	15	18	6	6	12	108
230 KV	50	13	45	29	16	41	194
138 KV	2		5				7
115 KV	-	-	-	-	-	9	9
69 KV	19	9	53	27	11	26	145
TOTAL	122	37	121	62	33	88	463

Como já mencionado, os transformadores de potência constituem grandes potenciais de riscos. Nesse contexto observa-se que dentre os pontos de riscos envolvidos nos transformadores, o óleo isolante cujas suas duas funções distintas são: uma de natureza isolante e a outra de transferir para as paredes do tanque o calor produzido pelas perdas, na parte ativa do equipamento, se apresenta como o elemento de maior risco, considerando principalmente que em ocorrência de falhas nesse sistema, são grandes as possibilidades de explosões e vazamentos com consequências fortemente danosas ao ser humano, ao sistema elétrico e ao ambiente.

Utilizando a estratégia da MCC, o desenvolvimento da metodologia é feito subdividindo cada sistema identificado em subsistemas que caracterizam os processos desse sistema. Para cada sistema denominado "Transformadores de potência", os seguintes subsistemas podem ser identificados:

- *Subsistemas do sistema Transformadores de potência:*
  - 1.01.00.00. Sistema de transformação*
  - 1.02.00.00. Sistema de refrigeração forçada;*
  - 1.03.00.00. Sistema de isolamento e resfriamento;*
  - 1.04.00.00. Sistema de controle e supervisão;*

Os subsistemas selecionados constituem as partes do transformador e foram selecionados considerando que através desses se desencadeiam importantes conseqüências de riscos.

- *1.01.00.00. - Sistema de transformação:*
  - a) Descrição do subsistema e suas funções:

Esse subsistema constitui a parte ativa dos transformadores e é composto pelos enrolamentos primários, secundários e terciários e conexões ao sistema elétrico (buchas, leads, etc.) além do núcleo de ferro. Constituem os pontos de geração dos maiores acidentes, decorrentes de curto circuito, falhas nas espiras, perdas de isolamento etc.

Considerando a alta potência envolvida nos sistemas elétricos, as partes desse subsistema envolvem altas correntes e tensões, necessitando por conseqüência que sejam adequadamente protegidos e isolados do meio ambiente. A isolação é feita pelos seguintes componentes principais:

- Buchas;
- Leads;

A função desse subsistema é transformar as tensões de um nível em outro com o objetivo de transmitir a potência em níveis compatíveis com a carga envolvida. Essa transformação é feita através dos enrolamentos juntamente com o núcleo de ferro. Para a simplicidade do estudo será considerado transformador de dois enrolamentos (alta e baixa tensão).

## b) Identificação das falhas funcionais do subsistema

Considerando a função principal desse subsistema pode-se agrupar algumas falhas que caracterizem o não cumprimento da missão do subsistema em análise. Analisando do ponto de vista dos riscos associados a esse subsistema as seguintes falhas funcionais são identificadas:

1.01.01.00. Incapacidade de transformar as tensões;

## c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional:

Analisando as falhas funcionais identificadas os seguintes modos de falhas estão associados:

**1.01.01.00. Incapacidade de transformar as tensões**

1.01.01.01. Curto circuito entre as espiras do enrolamento de alta tensão devido à deterioração do material

1.01.01.02. Curto circuito entre as espiras do enrolamento de alta tensão devido à vibração excessiva

1.01.01.03. Curto circuito no enrolamento de baixa tensão devido à deterioração do material

1.01.01.04. Curto circuito no enrolamento de baixa tensão devido à vibração excessiva

1.01.01.05. Abertura de espiras no enrolamento de alta tensão devido à deterioração do material

1.01.01.06. Abertura de espiras no enrolamento de alta tensão devido à vibração excessiva

1.01.01.07. Abertura de espiras no enrolamento de baixa tensão devido à deterioração do material

1.01.01.08. Abertura de espiras no enrolamento de baixa tensão devido à vibração excessiva

- *1.02.00.00 - Subsistema de refrigeração forçada:*

## a) Descrição do subsistema e suas funções:

Esse subsistema compreende todas as funções que permitem a conservação do sistema transformador em níveis de temperatura aceitáveis para o seu funcionamento dentro do ambiente natural. Em condições normais essa temperatura

fica em torno de 75°C. Os seguintes componentes estão associados a esse subsistema:

- Grupo de radiadores;
- Grupo de ventiladores;
- Sensores de temperatura;

Pode-se definir o subsistema de refrigeração como o subsistema que recebe entrada de ar natural através de aletas dos radiadores ou ar forçado, através de acionamento do grupo de ventiladores e considerando o movimento natural do óleo isolante, movimento esse causado pela diferença de temperatura do óleo nos diversos pontos do transformador, proporciona uma distribuição de temperatura buscando a equalizar esta em todo o corpo do transformador reduzindo por consequência a temperatura do óleo mais próximo às partes ativas (enrolamentos).

O grupo de radiadores tem como função principal promover por radiação a redução dessa temperatura no corpo do transformador.

O grupo de ventiladores atua no sentido de acelerar essa radiação na medida em que força a entrada de um volume maior de ar nas aletas dos radiadores acelerando a redução de temperatura do óleo em movimento nesses radiadores.

A entrada principal do subsistema de refrigeração forçada é a quantidade/velocidade de ar que circula entre as aletas dos radiadores. Como principal interface desse subsistema pode ser considerado o acionamento do grupo de ventiladores. Esse acionamento associado a um outro subsistema – o de controle e supervisão, forma uma retroalimentação para o sistema de refrigeração forçada visto que aquele subsistema envia ordem aos ventiladores de acordo com sensibilidade de temperatura dos enrolamentos e do óleo do transformador.

Sensibilizado pelo nível de temperatura, o grupo de ventiladores é acionado injetando ar nas aletas dos radiadores formando o ciclo de refrigeração. Quando a temperatura cai a valores aceitáveis e preestabelecidos é enviada ordem de desativação dos ventiladores.

Em resumo, as seguintes funções são identificadas para o subsistema de refrigeração forçada:

- Reduzir a temperatura das partes ativas do transformador;
- Aumentar o fluxo de ar entre as aletas dos radiadores;

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema

1.02.01.00. Não redução da temperatura do transformador;

1.02.02.00. Fluxo de ar insuficiente para refrigerar o transformador;

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional:

O subsistema de refrigeração proporciona a manutenção da temperatura da parte ativa do transformador próxima da temperatura ambiente por ação da injeção de fluxos de ar intenso nas aletas dos radiadores. Como essa injeção é feita através do acionamento dos grupos de ventiladores, a missão desse subsistema deixa de ser cumprida quando existem problemas de funcionamento desses ventiladores. Logo temos os seguintes modos de falhas associados às falhas funcionais:

**1.02.01.00. Não redução da temperatura do transformador**

1.02.01.01. Motor dos ventiladores sem funcionar quando acionado

1.02.01.02. Fiação aberta no circuito de acionamento dos ventiladores

**1.02.02.00. Fluxo de ar insuficiente para refrigerar o transformador**

1.02.02.01. Vazamento em radiadores

1.02.02.02. Motor dos ventiladores sem funcionar quando acionado

1.02.02.03. Fiação aberta no circuito de acionamento dos ventiladores

• *1.03.00.00 - Subsistema de isolamento e resfriamento*

a) Descrição do subsistema e suas funções:

O subsistema de isolamento é composto pelo óleo isolante que envolve todo o interior do equipamento. O óleo isolante tem as seguintes funções:

- Isolar a parte ativa do meio ambiente e entre as partes com níveis de tensão diferentes;

- Resfriamento da parte ativa através de transferência para as paredes do tanque do calor produzido pelas perdas na parte ativa do equipamento.

A função de transferir o calor produzido pela parte ativa é intensificada a partir do acionamento do subsistema de refrigeração forçada do transformador.

Como já salientado esse subsistema tem importância fundamental no estudo de risco tendo em vista o potencial de riscos desse subsistema, pelas suas características.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema

As seguintes falhas funcionais são identificadas para o óleo isolante:

1.03.01.00. Perda da capacidade de isolamento

1.03.02.00. Falha da condição de resfriar

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional:

**1.03.01.00. Perda da capacidade de isolamento**

1.03.01.01. Deterioração do óleo

1.03.01.02. Vazamento de óleo

1.03.01.03. Contaminação do óleo

**1.03.02.00. Falha na condição de resfriar**

1.03.02.01. Deterioração do óleo

1.03.02.02. Vazamento de óleo

- *1.04.00.00 - Subsistema de controle e supervisão*

a) Descrição do subsistema e suas funções:

Esse subsistema é formado pelos circuitos e componentes que fazem o comando dos ventiladores e disponibilizam todo o controle do equipamento e através desse controle são supervisionadas as temperaturas e pressão do óleo e comando em geral do equipamento.

Os principais componentes são os dispositivos de medição, relés de controle, cabeamento e fiação associada, botoeiras e chaves de comando.

As funções principais desse subsistema são:

- Controlar o acionamento dos ventiladores;



- Supervisionar a temperatura e pressão do óleo;
- Supervisionar a temperatura dos enrolamentos do transformador;
- Transmitir as informações de estado/nível dos componentes acessórios do transformador para a sala de comando

Do ponto de vista de riscos, esse subsistema é muito importante visto que em face de suportar os dispositivos de supervisão, as possíveis falhas de caráter ocultas são possíveis de acontecer nesse subsistema o que poderá fragilizar todo o sistema transformador decorrendo em acidentes graves. É importante salientar que devido o subsistema suportar toda a cabeção e fiações próprias do transformador, as possibilidades de curtos circuitos ou abertura de circuitos são prováveis, gerando significativos riscos ao sistema.

b) Identificação das falhas funcionais:

Considerando que o sistema de controle e supervisão suporta toda a cabeção e fiação do transformador as falhas funcionais são caracterizadas a partir de qualquer falha nesse bloco de componentes ou dispositivos acessórios do transformador. Dessa forma as seguintes falhas são identificadas:

- 1.04.01.00. Não acionamento dos ventiladores;
- 1.04.02.00. Não supervisionamento da temperatura do transformador;
- 1.04.03.00. Não supervisionamento do nível de pressão do transformador;
- 1.04.04.00. Interrupção de transmissão de informações para a sala de comando;

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional:

Embora outros modos de falhas também possam contribuir para as falhas funcionais, na análise focada para gerenciamento dos riscos do sistema transformador, os seguintes modos de falhas podem gerar as falhas funcionais do subsistema de supervisão e controle:

**1.04.01.00. Não acionamento dos ventiladores:**

- 1.04.01.01. Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
- 1.04.01.02. Relé auxiliar ou componentes do circuito de acionamento inoperante
- 1.04.01.03. Termostato com defeito

**1.04.02.00. Não supervisão da temperatura do transformador:**

- 1.04.02.01. Termostato com defeito interno
- 1.04.02.02. Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
- 1.04.02.03. Relé auxiliar ou componentes do circuito de supervisão inoperante

**1.04.03.00. Não supervisão do nível de pressão do transformador:**

- 1.04.03.01. Pressostato com defeito interno
- 1.04.03.02. Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
- 1.04.03.03. Relé auxiliar ou componentes do circuito de supervisão inoperante

**1.04.04.00. Interrupção de transmissão de informações para a sala de comando**

- 1.04.04.01. Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
- 1.04.04.02. Cabeação aberta entre a régua de terminais da caixa e os painéis da casa de comando
- 1.04.04.03. Fiação em curto circuito na caixa de controle e supervisão
- 1.04.04.04. Cabeação em curto circuito entre a régua de terminais da caixa e os painéis da casa de comando.

**2. Sistema Disjuntores de alta tensão**

Os disjuntores de alta tensão constituem os principais elementos de segurança para instalação e por consequência para todas as pessoas que atuam na instalação e para o sistema elétrico derivado daquela instalação. Esses equipamentos são os mais eficientes e complexos aparelhos de manobra em uso em instalações elétricas.

Possuem uma capacidade de fechamento e de ruptura que deve atender a todos os requisitos preestabelecidos de manobra sob todas as condições normais e anormais de operação. Quando de manobra de fechamento, o disjuntor deve também, no caso de um curto circuito, atingir de maneira correta a sua posição fechada e conduzir a corrente de curto circuito.

Quando de manobra de abertura, o disjuntor deve dominar todos os casos de manobra possíveis da instalação onde está instalado (COLOMBO, 1986).

É importante observar que embora os disjuntores estejam em seu estado normal ligado conduzindo as correntes nominais de carga sob diversas condições climáticas e submetido a agentes atmosféricos agressivos por longo tempo, deverá estar pronto para interromper a corrente de curto circuito sem o menor desvio de suas especificações, pois qualquer falha resulta quase sempre em danos incalculáveis à instalação e às pessoas. Considerando essas características depreende-se a importância desse equipamento no contexto de riscos.

Muitas são as situações em que ocorrem falhas em disjuntores, resultando em outras consequências graves para a instalação, visto que em caso de falha na solicitação de abertura ocorrerá a continuidade da passagem de correntes de curto circuito por tempo suficiente para danificar os demais equipamentos de alta tensão da instalação.

Em outras situações em que o disjuntor falha quando de abertura indevida, as consequências são no sentido inverso, ou seja, a interrupção desnecessária de um circuito acarretará a perda de continuidade de funcionamento do sistema gerando, via de regra, perda de suprimento decorrendo daí em prejuízos à confiabilidade e desligamentos de carga importantes com custo social irreparável.

No contexto da CHESF, atualmente existe em operação um total de 1.426 unidades de disjuntores distribuídos conforme tabela 4.3:

Tabela 4.3 - Quantitativo de disjuntores CHESF

TENSÃO	REGIONAL						
	C. OESTE	NORTE	CENTRO	LESTE	SUL	OESTE	TOTAL
500 KV	12	9	49	23	22	15	130
230 KV	42	87	54	143	132	47	505
138 KV	1	0	4	16	23	1	45
69 KV	41	109	36	197	128	34	545
<69 KV	22	33	32	57	42	15	201
TOTAL	118	238	175	436	347	112	1426

Os disjuntores, como mencionado anteriormente, são grandes potenciais de riscos, considerando tanto as conseqüências próprias desses equipamentos em caso de falha, quanto os desdobramentos sobre os demais equipamentos da instalação. Do ponto de vista dos riscos é considerado como principal fonte, a câmara de extinção de arco. Essa parte do disjuntor é sobremaneira susceptível a falha em face das condições em que é solicitada, ou seja, sob a passagem de correntes de curto circuito. O arco voltaico é o principal elemento no processo de interrupção de corrente nos disjuntores de alta tensão e apesar de intensas pesquisas a respeito da modelagem desse elemento, ainda não se tem um modelo aplicável aos vários tipos de manobras realizadas por um disjuntor e que simule exatamente o seu comportamento no instante da interrupção (CARVALHO et al, 1995).

De acordo com a estratégia de MCC e similarmente ao caso de transformador, o sistema disjuntor de alta tensão pode ser decomposto nos seguintes subsistemas:

2.01.00.00 *Subsistema de acionamento ou mecanismo de operação;*

2.02.00.00 *Subsistema de controle e supervisão ou unidade de comando;*

2.03.00.00 *Subsistema Câmara de extinção ou unidades interruptoras;*

Esses subsistemas traduzem as principais funções dos disjuntores e representam os principais pontos potenciais de riscos. Alguns disjuntores dispõem de outros subsistemas como compressores ou dispõem de unidade de comando agregada ao subsistema de acionamento, entretanto, esses são casos particulares. De uma forma geral, no sistema CHESF, a decomposição nesses subsistemas são aderentes aos estudos de riscos e de manutenção.

- 2.01.00.00 - *Subsistema de acionamento ou mecanismo de operação:*

a) Descrição do subsistema e suas funções:

É o subsistema que possibilita o armazenamento de energia necessária à operação mecânica do disjuntor, bem como a necessária liberação dessa energia através de mecanismos apropriados, quando do comando de abertura ou fechamento do mesmo. Esses acionamentos podem ser monopolares ou tripolares e são utilizados em conformidade com as necessidades da instalação. De acordo com as características dos disjuntores, os acionamentos são constituídos de diversos componentes específicos, no entanto, em geral dentre os principais componentes desse subsistema, incluem-se:

bobinas de fechamento e abertura, haste de acionamento, molas acionamento, válvulas, pressostato, etc.

A principal função desse subsistema é permitir que seja efetivada a operação do disjuntor (abertura e fechamento) quando solicitado, assegurando o cumprimento da missão de interromper a corrente através dos contatos. Todo esse processo só é garantido caso o subsistema armazene a energia necessária para as operações. Esse processo é desenvolvido a partir do sistema de acionamento utilizado. Alguns tipos de acionamento são:

Acionamento por solenóide;

Acionamento por mola;

Acionamento por ar comprimido;

Acionamento hidráulico.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema:

Observando a função principal do subsistema de acionamento, para cada tipo de acionamento, os componentes que desenvolvem a função principal têm suas características específicas podendo-se identificar as seguintes importantes falhas que impedem que o acionamento cumpra a sua missão:

2.01.01.00. Perda da capacidade de abrir os contatos

2.01.02.00. Perda da capacidade de fechamento dos contatos

2.01.03.00. Perda de funcionalidade do sistema de válvula (caso de acionamento hidráulico)

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional

**2.01.01.00. Perda da capacidade de abrir os contatos**

2.01.01.01. Falha na mola/solenóide de acionamento de abertura devido à quebra da mola por desgaste natural

2.01.01.02. Destravamento da mola por desajuste no bloco de travamento

2.01.01.03. Falha na mola/solenóide de acionamento de abertura devido à fadiga da mola/solenóide

2.01.01.04. Abertura do circuito do solenóide

**2.01.02.00. Perda da capacidade de fechamento dos contatos**

2.01.02.01. Quebra/soltura da haste de acionamento de fechamento devido à tensão mecânica inadequada sob a haste

2.01.02.02. Quebra/soltura da haste de acionamento de fechamento devido à fadiga do material da haste

2.01.02.03. Desconexão do ponto de apoio da haste (parafuso frouxo)

**2.01.03.00. Perda de funcionalidade do sistema de válvula de pressão do óleo (caso de acionamento hidráulico)**

2.01.03.01. Vazamento de óleo hidráulico

2.01.03.02. Defeito na válvula por fadiga de material

2.01.03.03. Abertura do circuito hidráulico

2.01.03.04. Abertura do circuito elétrico de acionamento

- 2.02.00.00 *Subsistema de controle e supervisão ou unidade de comando*

a) Descrição do subsistema e suas funções:

Similarmente ao caso de transformadores o subsistema de controle e supervisão compõe a parte do disjuntor que abrange os elementos de comando, controle e supervisão do disjuntor. Esta unidade varia fundamentalmente em função do tipo de acionamento e do meio extintor.

A unidade de comando pode variar no seu detalhamento em função das especificações do usuário. É muito comum especificar-se o tipo de fiação, terminais, circuitos especiais para controle e supervisão, etc., para atender necessidades específicas.

Esse subsistema é formado pelos circuitos e componentes que fazem o comando dos elementos de acionamento de abertura e fechamento do disjuntor e disponibilizam todo o controle do equipamento. Através desse controle são supervisionadas as pressões do óleo e gás e o comando em geral do equipamento.

Os principais componentes são os dispositivos de medição, relés de controle, cabeamento e fiação associada, botoeiras e chaves auxiliar de contatos, manômetros, etc.

As funções principais desse subsistema são:

- Comandar o processo de acionamento (abertura e fechamento);
- Supervisionar as pressões do óleo e gás;

- Transmitir as informações de estado/nível dos componentes acessórios do disjuntor para a sala de comando

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema:

Considerando que o sistema de controle e supervisão suporta toda a cabeaço e fiaço do disjuntor, as falhas funcionais são caracterizadas a partir de qualquer falha nesse bloco de componentes ou dispositivos acessórios do disjuntor. Dessa forma as seguintes falhas são identificadas:

- 2.02.01.00. Falha no comando de acionamento;
- 2.02.02.00. Não supervisionamento das pressões do óleo e gás;
- 2.02.03.00. Interrupção de transmissão de informações para a sala de comando;

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional

**2.02.01.00. Falha no comando de acionamento**

- 2.02.01.01. Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
- 2.02.01.02. Relé auxiliar ou componentes do circuito de supervisão inoperante
- 2.02.01.03. Falta de tensão auxiliar

**2.02.02.00. Não supervisionamento das pressões do óleo e gás:**

- 2.02.02.01. Pressostato com defeito interno
- 2.02.02.02. Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
- 2.02.02.03. Relé auxiliar ou componentes do circuito de supervisão inoperante

**2.02.03.00. Interrupção de transmissão de informações para a sala de comando**

- 2.02.03.01. Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
- 2.02.03.02. Cabeaço aberta entre a régua de terminais da caixa e os painéis da casa de comando
- 2.02.03.03. Fiação em curto circuito na caixa de controle e supervisão
- 2.02.03.04. Cabeaço em curto circuito entre a régua de terminais da caixa e os painéis da casa de comando

- 2.03.00.00 *Subsistema Câmara de extinção ou unidades interruptoras*

a) Descrição do subsistema e suas funções:

Esse subsistema constitui a principal parte do disjuntor visto que através desse subsistema é processado o fechamento e a abertura dos pólos do equipamento. No aspecto de riscos esse subsistema é muito importante, considerando que a formação de arco durante o processo de abertura é fonte forte de geração de possíveis explosões e danificação do equipamento e lesões em pessoas caso não se tenha a extinção desse arco de acordo com o esperado.

Esse subsistema é composto de contato fixo, contato móvel (solidário ao mecanismo de acionamento), e meio isolante (gás, ar comprimido).

A função principal desse subsistema é o estabelecimento da plena conexão dos contatos (no caso de abertura) e da plena desconexão dos contatos (no caso da abertura) com a extinção de arco dentro das condições preestabelecidas.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema:

As falhas que impedem que o subsistema não cumpra sua missão estão associadas a falhas no meio isolante e no mecanismo de acionamento. Considerando que o subsistema de acionamento já contempla as falhas específicas, a falha funcional do subsistema de câmara de extinção se resume no seguinte:

2.03.01.00. Perda da capacidade do meio isolante de extinguir o arco dentro das condições previstas.

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional

Para a falha funcional identificada pode-se ter os seguintes modos de falha:

**2.03.01.00. Perda da capacidade do meio isolante de extinguir o arco dentro das condições previstas.**

2.03.01.01. Entrada de umidade no sistema isolante

2.03.01.02. Perda de pressão do sistema



### 3. Sistema - Barramentos

O sistema de barramento de uma instalação representa o meio de escoamento da potência entre os equipamentos além de estabelecer o suporte à interligação entre esses equipamentos. É definido como o conjunto de cabos com seus acessórios e suportes que permitem a conexão dos equipamentos (procedimentos de redes - ONS). No contexto de riscos esse sistema é importante tendo em vista que ocorrências nos subsistemas associados quase sempre desencadeiam em curtos circuitos e desligamento da instalação e acidentes com pessoas. Os seguintes subsistemas fazem parte desse sistema:

*3.01.00.00 Subsistema de cabos de alta tensão, conectores e isoladores e estruturas;*

*2.02.00.00 Subsistema de cabos pára-raios e cabos de aterramento;*

Esses subsistemas foram selecionados em função de suas características e observando os riscos associados.

- *3.01.00.00- Subsistema de cabos de alta tensão, conectores, isoladores e estruturas:*

a) Descrição do subsistema e suas funções:

Os cabos associados a esse subsistema têm como função a transferência de potência de um ponto a outro da instalação em um mesmo nível de tensão. Os conectores têm como função fazer a conexão dos cabos aos equipamentos e cadeias de isoladores as quais têm a função de isolar as partes ativas de níveis de tensão diferentes e entre a parte ativa e a terra. As estruturas são o suporte físico dos cabos e equipamentos.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema:

Para que o subsistema não cumpra a sua função, qualquer falha nos componentes que caracterize a perda de função desse componente, leva a perda de função do subsistema.

Pode-se identificar as seguintes falhas funcionais:

3.01.01.00. Cabos não transferem a potência

3.01.02.00. Abertura dos circuitos devido à folga nos conectores

3.01.03.00. Incapacidade de suportar os cabos

3.01.04.00. Perda da capacidade de isolamento pelas cadeias de isoladores

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional

**3.01.01.00. Cabos não transferem a potência**

3.01.01.01. Rompimento das veias dos cabos devido a excesso de tensão mecânica

3.01.01.02. Rompimento das veias dos cabos devido à corrosão

3.01.01.03. Rompimento das veias dos cabos devido à fadiga do material

3.01.01.04. Curto circuito entre fases por vibração devido ao mau dimensionamento dos vãos

3.01.01.05. Curto circuito entre fases por vibração devido à dilatação dos cabos face sobrecorrentes

**3.01.02.00. Abertura dos circuitos devido à folga nos conectores**

3.01.02.01. Quebra de conector por fadiga de material

3.01.02.02. Excesso de tensão mecânica

3.01.02.03. Corrosão

3.01.02.04. Folga ou quebra de parafuso

**3.01.03.00. Incapacidade de suportar os cabos**

3.01.03.01. Tombamento de estruturas face corrosão das partes metálicas

3.01.03.02. Tombamento de estruturas devido a choque mecânico por agente externo

3.01.03.03. Tombamento de estruturas face folga ou quebra de parafuso

**3.01.04.00. Perda da capacidade de isolamento pelas cadeias de isoladores**

3.01.04.01. Curto circuito nas cadeias de isoladores devido à poluição

3.01.04.02. Curto circuito nas cadeias de isoladores devido a flash over

3.01.04.03. Curto circuito nas cadeias de isoladores devido ao efeito corona

3.01.04.04. Curto circuito nas cadeias de isoladores devido à trinca/danificação de isoladores por fadiga ou choque físico

- *3.02.00.00 Subsistema de cabos pára-raios e cabos de aterramento*

a) Descrição do subsistema e suas funções

Esse subsistema é formado pelos cabos que têm como função a proteção aos equipamentos da instalação contra queda de raios. São formados por segmentos de cabos que formam uma malha aérea sobre a instalação sendo montada na parte mais superior das estruturas e pelos cabos que fazem os correspondentes aterramento desses cabos e das estruturas.

Como elementos protetores são importantes para a instalação e do ponto de vista de riscos se caracterizam como potenciais considerando que a sua queda sobre a instalação provocará sérios problemas à instalação, ao homem e ao sistema devido à perda de suprimento.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema

As falhas desse subsistema estão associadas às condições de trabalho desses cabos em suas condições de operação, ou seja:

3.02.01.00. Impossibilidade dos cabos protegerem os equipamentos

3.02.02.00. Perda da capacidade de aterramento dos equipamentos e estruturas

c) Identificação dos modos de falhas de cada falha funcional

**3.02.01.00. Impossibilidade dos cabos protegerem os equipamentos**

3.02.01.01. Queda dos cabos face rompimento das veias devido à fadiga do material

3.02.01.02. Queda dos cabos face rompimento das veias devido a excesso de tensão mecânica

3.02.01.03. Queda dos cabos face rompimento das veias devido à vibração

**3.02.02.00. Perda da capacidade de aterramento dos equipamentos e estruturas**

3.02.02.01. Falha nas conexões dos cabos às estruturas/equipamentos devido à conexões folgadas face quebra ou soltura de parafuso

3.02.02.02. Falha nas conexões dos cabos às estruturas devido à fadiga do material

3.02.02.03. Falha nas conexões dos cabos às estruturas devido à trinca de conector face tensão mecânica excessiva

**4. Sistema - Serviços auxiliares**

Os serviços auxiliares representam para uma instalação a fonte que alimenta todo o sistema de controle, comando, proteção e supervisão da instalação e ainda supre as cargas selecionadas como essenciais com tensão de serviço independente da tensão do sistema. Considerada como a parte controladora do sistema principal, os serviços auxiliares são elementos fundamentais em uma instalação, visto que sem esse sistema a instalação não poderá operar, considerando os graves riscos aos quais ficam submetidos todos os equipamentos e a instalação como um todo.

No aspecto de riscos, esse sistema enquanto controlador é extremamente importante. As funções principais desse sistema são o suprimento de tensão firme e independente do sistema elétrico à instalação e prover algumas cargas de tensão própria derivada desse sistema considerando a importância e essencialidade dessas cargas quando da falta da tensão do sistema elétrico.

Para um estudo de MCC esse sistema pode ser composto dos seguintes subsistemas:

*4.01.00.00 – Subsistema Banco de baterias*

*4.02.00.00 – Subsistema Retificadores*

*4.03.00.00 - Subsistema grupo motor-gerador*

*4.04.00.00 - Painéis de distribuição*

- *4.01.00.00 – Subsistema Banco de baterias*

a) Descrição do subsistema e suas funções

O subsistema é composto de células com tensão de 2 volts DC cada, interligadas em série. A quantidade de célula varia de acordo com o nível de tensão auxiliar dos dispositivos da instalação. A função desse subsistema é suprir o sistema de comando, controle e supervisão da instalação com tensão DC própria.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema

Pode-se identificar a seguinte falha funcional no subsistema:

4.01.01.00. Perda da capacidade de gerar tensão DC nominal

c) Identificação dos modos de falhas de cada falha funcional

**4.01.01.00. Perda da capacidade de gerar tensão DC nominal**

4.01.01.01. Abertura de interligação entre as células devido à fadiga do material

4.01.01.02. Abertura de interligação entre as células devido a afrouxamento da conexão

4.01.01.03. Falha no conjunto placa/eletrolise

- *4.02.00.00 – Subsistema - Retificadores*

a) Descrição do subsistema e suas funções:

Esse subsistema opera em conjunto com o subsistema de baterias. Considerando a importância desse subsistema os retificadores são duplicados e têm como função manter o banco de baterias com tensão DC nos níveis desejados e suprir alguns sistemas de controle e supervisão quando da saída do conjunto de baterias.

a) Identificação das falhas funcionais do subsistema:

As falhas funcionais que impedem o cumprimento da função do retificador podem ser as seguintes:

4.02.01.00. Perda da capacidade de sustentação dos níveis de tensão nas baterias

4.02.02.00. Não suprimento de cargas quando da perda das baterias

b) Identificação dos modos de falhas de cada falha funcional

Os modos de falhas correspondentes a cada falha funcional são:

**4.02.01.00. Perda da capacidade de sustentação dos níveis de tensão nas baterias**

4.02.01.01. Danificação de componentes do conjunto de retificadores face a falha em conexões internas devido à vibração ou choque mecânico

4.02.01.02. Conjunto retificador (ponte/transformadores/diodos) danificado

4.02.01.03. Cabos de interligação danificados por desgaste ou atrito

4.02.01.04. Conexões de interligação folgadas

**4.02.02.00. Não suprimento de cargas quando da perda das baterias**

4.02.02.01. Danificação de componentes do conjunto retificadores face a falha em conexões internas devido à vibração ou choque mecânico

4.02.02.02. Conjunto retificador (ponte/transformadores/diodos) danificado

4.02.02.03. Cabos de interligação danificados por desgaste ou atrito

4.02.02.04. Conexões de interligação folgadas

• *4.03.00.00 - Subsistema grupo motor-gerador*

a) Descrição do subsistema e suas funções:

O subsistema é formado pelos equipamentos de geração de tensão alternada a partir da transformação da energia mecânica produzida pelo sistema motor-gerador. Esse sistema tem como função suprir os dispositivos selecionados da instalação com tensão alternada

independente da tensão do sistema. Normalmente essa tensão é utilizada na alimentação de ventiladores e iluminação de emergência.

a) Identificação das falhas funcionais do subsistema:

As principais falhas funcionais desse subsistema são:

4.03.01.00. Não suprimento de energia elétrica às cargas essenciais

4.03.02.00. Suprimento anormal de tensão

b) Identificação dos modos de falhas de cada falha funcional

Os modos de falhas correspondentes a cada falha funcional são:

#### **4.03.01.00. Não suprimento de energia elétrica às cargas essenciais**

4.03.01.01. Falha no sistema de partida devido às baterias descarregadas, motor de partida com defeito, falta de combustível ou entrada de ar no sistema combustível.

4.03.01.02. Falha no conjunto eletromecânico devido à baixa pressão de óleo devido a nível baixo de óleo, bomba de óleo com defeito ou pressostato com defeito.

4.03.01.03. Geração de tensão anormal devido ao regulador de tensão ou gerador (excitatriz) se encontrar com defeito

#### **4.03.02.00. Suprimento anormal de tensão**

4.03.02.01. Perda de funcionalidade dos componentes devido à vibração ou defeito interno

4.03.02.02. Fios soltos ou em curto circuito nos componentes internos face desgaste do material ou vibração

#### **• 4.04.00.00- Painéis de distribuição**

a) Descrição do subsistema e suas funções:

Os painéis de distribuição têm a função de fazer a distribuição das alimentações para as diversas cargas, bem como fazer a permuta de fonte de alimentação.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema:

As principais falhas funcionais desse subsistema são:

4.04.01.00. Não distribuição das alimentações

4.04.02.00. Incapacidade de efetuar a permuta de fonte de alimentação

c) Identificação dos modos de falhas de cada falha funcional

Os modos de falhas correspondentes a cada falha funcional são:

#### **4.04.01.00. Não distribuição das alimentações**

4.04.01.01. Abertura da fiação interna face conexões folgadas

4.04.01.02. Abertura da fiação interna face desgaste do material da fiação

4.04.01.03. Abertura das conexões da cabeção devido às folgas por falha durante a montagem ou testes

4.04.01.04. Danificação de dispositivos de comando (chaves, disjuntores) devido à fadiga do material.

4.04.01.05. Danificação de dispositivos de comando (chaves, disjuntores) devido ao desgaste na mola interna.

#### **4.04.02.00. Incapacidade de efetuar a permuta de fonte de alimentação**

4.04.02.01. Curto circuito na fiação interna devido à perda do isolamento por desgaste

4.04.02.02. Curto circuito na fiação interna face falha nas interligações durante a montagem ou testes.

## **5. Sistema Proteção**

Na MCC uma das características importantes é assegurar a operação de um sistema dentro das condições previamente estabelecidas, tendo em vista que o objetivo principal da MCC é preservar as funções do sistema, enquanto a manutenção tradicional o objetivo principal é preservar o equipamento (LAFRAIA, 2001).

Em uma instalação elétrica, na composição dos sistemas, são requeridos que sejam salvaguardados os ativos instalados bem como a preservação das pessoas que atuam na instalação. Nesse ponto é por demais importante a eliminação de defeitos que possam ocorrer no sistema elétrico, dentro de um tempo mínimo, com saída mínima de carga, evitando-se perdas maiores à sociedade. Esses limites mínimos estão condicionados à capacidade de ações dos sistemas específicos para essas ações. Nesse grupo de sistemas são incluídos os sistemas de proteção.

Os sistemas de proteção são, portanto, responsáveis pelas ações que são emitidas aos demais sistemas da instalação, visando eliminar as fontes de alimentação de defeitos que podem ocorrer nos equipamentos da instalação ou nas linhas de transmissão que interligam as instalações ou suprem as cargas. No momento crítico de um defeito no sistema elétrico, a continuidade do fornecimento de energia depende muito do correto funcionamento dos componentes dos sistemas de proteção existentes na instalação. Para atenuar os efeitos de uma perturbação, os sistemas de proteção devem assegurar a máxima continuidade de alimentação aos usuários, nas condições de falha e salvaguardar os equipamentos e pessoas da instalação. Nessa visão os sistemas de proteção têm como funções principais:

- a) Alertar os operadores em caso de perigo (pré-ocorrência de anormalidade) ou imediatamente após uma ocorrência de anormalidade.
- b) Isolar rapidamente as faltas ocorridas no sistema, como curtos circuitos ou sobretensões não suportáveis pelos equipamentos;
- c) Retirar de serviço elemento(s) do sistema quando esses equipamentos operam em estado anormal que possam causar danos ou, de outro modo, interferir com a correta operação do resto do sistema.

Basicamente em uma instalação elétrica encontram-se os seguintes tipos de proteção: proteção contra incêndio, proteção contra descargas atmosféricas e surtos de manobras e proteção contra perturbações no sistema elétrico, como curtos circuitos ou sobretensões. Tanto as proteções contra incêndio como proteção contra descargas atmosféricas são vitais para a instalação considerando que a sua ação resultará em significativos ganhos para o patrimônio pela preservação dos equipamentos como também pela possibilidade de evitar acidentes com pessoas. Para uma análise de aplicação da MCC, no entanto, a proteção contra perturbações no sistema elétrico passa a ter importância ímpar considerando as suas funções.

No contexto de riscos, o sistema de proteção se reveste de importância considerando que a sua correta atuação resultará na manutenção da máxima continuidade de operação do sistema em casos de perturbação, além de evitar que o desdobramento de uma falha no sistema elétrico possa danificar os demais equipamentos da instalação.



Considerando as características de perturbações que podem sofrer os sistemas elétricos em face de ocorrências aleatórias na natureza, os sistemas de proteção devem estar aptos a operar em tempo mínimo e de forma adequada, após a ocorrência de perturbação, de acordo com o tipo do defeito. Dessa forma, em uma instalação elétrica de transmissão, as proteções são específicas para cada característica de defeito no sistema e divididas da seguinte forma: Proteção de transformadores, proteção de reatores, proteção de barramentos e proteção de linhas. Embora outras proteções existam em uma instalação elétrica, esta divisão leva em consideração que são esses os equipamentos de potência mais importantes para o sistema elétrico de transmissão.

Atualmente a CHESF dispõe do seguinte quantitativo de sistemas de proteção instalados:

Tabela 4.4 - Quantitativo de sistemas de proteção CHESF

	EQUIPAMENTOS				
	TRANSFORMADOR	REATOR	LINHAS	BARRAMENTOS	OUTROS
<b>SISTEMAS DE PROTEÇÃO</b>	<b>316</b>	<b>67</b>	<b>575</b>	<b>173</b>	<b>152</b>
<b>RELÉS DE PROTEÇÃO</b>	<b>2689</b>	<b>379</b>	<b>2594</b>	<b>423</b>	<b>883</b>

Esses sistemas são instalados, conforme já mencionado, para retirar de operação os equipamentos submetidos a condições anormais. A CHESF dispõe em operação de um quantitativo de equipamentos protegidos distribuídos conforme a tabela 4.5 abaixo:

Tabela 4.5 - Equipamentos protegidos CHESF - por tensão

TENSÃO	UNIDADES DE EQUIPAMENTOS PROTEGIDOS				
	TRANSFORMADOR	REATOR	LINHAS	BARRAMENTOS	TOTAL
500 KV	111	93	40	30	274
230 KV	192	86	146	136	560
138 KV	17	1	6	15	39
69 KV	82	94	21	132	329
<69 KV	210	152	ND	401	401
<b>TOTAL</b>	<b>612</b>	<b>426</b>	<b>213</b>	<b>714</b>	

A distribuição desses equipamentos nas Regionais é dada pela tabela 4.6:

Tabela 4.6 – Equipamentos protegidos CHESF - por Regional

EQUIPAMENTO	REGIONAL						TOTAL
	C. OESTE	NORTE	CENTRO	LESTE	SUL	OESTE	
TRANSFORMADOR	17	47	28	101	60	23	276
REATOR	21	86	4	45	52	41	249
LINHAS	15	29	63	61	53	12	233

A efetiva isolação de um equipamento ou parte de uma instalação, quando de ocorrência de falhas ou condição anormal do sistema elétrico, é processada através dos disjuntores associados a cada equipamento da instalação. Convém salientar que os disjuntores embora estejam intimamente vinculados aos sistemas de proteção, para a análise do processo de MCC, podem ser considerados separados dos sistemas de proteção, fazendo fronteira através dos pontos de interconexão (réguas de conexão de cabos de comando e controle).

Para os sistemas de proteção podem ser visualizados os seguintes subsistemas:

5.01.00.00 *Subsistema relés de proteção*

5.02.00.00 *Subsistema de circuitos (incluindo fiação e cabeaço)*

5.03.00.00 *Subsistema dispositivos de supervisão (incluindo sinalizadores, indicadores e registradores)*

5.04.00.00 *Subsistema Anunciadores e alarmes sonoros*

No contexto de riscos esses subsistemas constituem as partes do sistema proteção que em função de suas falhas funcionais desencadeiam as conseqüências mais danosas aos equipamentos da instalação.

- 5.01.00.00 *Subsistema relés de proteção*

a) Descrição do subsistema e suas funções

Esse subsistema constitui a parte principal do sistema proteção. São dispositivos que recebem as informações das grandezas elétricas do sistema elétrico. Essas informações são analisadas e em caso de condições anormais, fora dos níveis preestabelecidos, esses dispositivos emitem ordens de desligamentos aos disjuntores para isolamento da parte do sistema elétrico afetada. Essas ordens são processadas através de relés auxiliares e dos circuitos. As funções desse subsistema são detectar as condições anormais do

sistema elétrico e emitir ordem de desligamento aos disjuntores que por sua vez isolam a parte do sistema em condições inadequadas.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema

As falhas funcionais ocorrem quando esses dispositivos não detectam as anormalidades ou quando operam sem que tenha ocorrido falhas no sistema. Assim tem-se as falhas funcionais:

5.01.01.00. Não detecção de falha no sistema elétrico

5.01.02.00. Emissão de ordem de desligamento sem ocorrência de falha

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional

Os seguintes modos de falhas são identificados a partir das falhas funcionais:

**5.01.01.00. Não detecção de falha no sistema elétrico**

5.01.01.01. Recusa da proteção decorrente de falhas de graduação, implantação de ajuste, ou alteração das condições mecânicas do relé.

**5.01.02.00. Emissão de ordem de desligamento sem ocorrência de falha**

5.01.02.01. Defeito do relé de proteção provocado por falhas de graduação, implantação de ajuste.

- 5.02.00.00- *Subsistema Circuitos*

a) Descrição do subsistema e suas funções

Esse subsistema constitui a parte do sistema que faz a transmissão das informações para os disjuntores, propiciando o desenvolvimento das ordens de desligamentos dos equipamentos. Também através desses circuitos são organizadas as informações e enviadas as sinalizações e alertas aos operadores da instalação e demais dispositivos sinalizadores e registradores.

Do ponto de vista de riscos, as falhas nesse subsistema podem comprometer a missão do sistema proteção. Considerando as posições físicas dos equipamentos da instalação e os relés, é necessário que as ordens geradas pelos relés sejam desenvolvidas através dos circuitos. Esses circuitos permitem a chegada das informações aos disjuntores e painéis.

As funções desses circuitos são a transmissão das informações dos relés até os pontos finais, como disjuntores e painéis.

b) Identificação das falhas funcionais

Considerando a função principal dos circuitos, tem-se como falhas funcionais as seguintes:

5.02.01.00. Perda da capacidade de transmitir as ordens de desligamentos originadas dos relés.

5.02.02.00. Perda da capacidade de transmitir as decisões de alertas e registros aos operadores.

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional

Os seguintes modos de falhas são visualizados a partir das falhas funcionais identificadas:

**5.02.01.00. Perda da capacidade de transmitir as ordens de desligamentos originadas dos relés**

5.02.01.01. Fios ou cabos soltos nos pontos de conexões devido à vibração ou falha na montagem ou em testes;

5.02.01.02. Fios ou cabos partidos devido ao desgaste do material ou tensão mecânica excessiva

5.02.01.03. Curto circuito na fiação ou cabos devido à perda de isolamento por desgaste do material isolante

5.02.01.04. Conexões trocadas devidas a falha na montagem ou em testes

**5.02.02.00. Perda da capacidade de transmitir as decisões de alertas e registros aos operadores**

Os modos de falhas podem ser assim listados:

5.02.02.01. Fios ou cabos soltos ou folga nos pontos de conexões devido à vibração ou falha na montagem ou em testes;

5.02.02.02. Fios ou cabos partidos ou folgados devido ao desgaste do material ou tensão mecânica excessiva

5.02.02.03. Curto circuito na fiação ou cabos devido à perda de isolamento por desgaste do material isolante

5.02.02.04. Conexões trocadas devidas à falha na montagem ou em testes

- 5.03.00.00 *Subsistema dispositivos de supervisão (sinalizadores, indicadores e registradores)*

Esses dispositivos que compõem o subsistema são partes complementares do sistema proteção, entretanto as suas falhas são visíveis e não geram riscos significativos, visto que em qualquer situação de saída desses dispositivos de sua operação normal, a operação da instalação poderá tomar medidas para a supervisão do sistema sem a disponibilidade do dispositivo afetado (SIQUEIRA, 2002). Ressalte-se que no caso dos indicadores uma falha oculta pode ocorrer, como a queima de lâmpadas de sinalização, podendo gerar um potencial de risco, considerando a possibilidade de confundir a ação do operador quando o dispositivo for solicitado a indicar um estado do equipamento. Em via de regra essa identificação é feita através de rotina de teste com simulação de operação desses dispositivos. Considerando essas características esse subsistema não será analisado sob o ponto de vista de risco.

- 5.04.00.00 *Subsistema Anunciadores e alarmes sonoros*

a) Descrição do subsistema e suas funções

São dispositivos que têm como função alertar os operadores quando de ocorrência anormal na instalação. Esses dispositivos são acionados a partir da sensibilização dos relés de proteção ou sensores e operam tanto para alertar em situação de pré-ocorrência quanto de ocorrência efetiva de falhas no sistema. Esses dispositivos são considerados de importância no contexto de riscos visto que uma falha que não seja evidente, a operação da instalação não será alertada em casos de uma ocorrência no sistema, implicando por consequência em desligamentos e cujas ações de reposição do sistema ou de outras providências operacionais não serão tomadas desencadeando em possíveis acidentes e perdas de suprimento por um tempo superior ao aceitável.

b) Identificação das falhas funcionais do subsistema:

Em virtude das características desses dispositivos as falhas dos mesmos poderão afetar os demais equipamentos da instalação e, portanto devem ser tratadas com cuidados especiais. As seguintes falhas funcionais são identificadas:

5.04.01.00. Não alertar a operação quando de ocorrências

5.04.02.00. Emissão de informações falsas à operação

c) Identificação dos modos de falhas associados a cada falha funcional

Os seguintes modos de falhas podem ser identificados:

**5.04.01.00. Não alertar a operação quando de ocorrências**

5.04.01.01. Falha de operação dos componentes auxiliares por queima de bobina devido ao curto circuito

5.04.01.02. Falha de operação dos componentes auxiliares por queima de componentes eletrônicos por curto circuito ou desgaste

5.04.01.03. Curto circuito na fiação devido ao desgaste do material

5.04.01.04. Fios soltos devido à vibração ou falha de conexão

**5.04.02.00. Emissão de informações falsas à operação**

5.04.02.01. Falha de operação dos componentes auxiliares por queima de bobina devido ao curto circuito

5.04.02.02. Falha de operação dos componentes auxiliares por queima de componentes eletrônicos por curto circuito ou desgaste

5.04.02.03. Curto circuito na fiação devido ao desgaste do material

Esses modos de falhas identificados foram obtidos a partir de dados históricos, quando disponíveis e da experiência das pessoas que atuam nas áreas correspondentes a cada sistema escolhido. A relação, no entanto não deve ser considerada como única ou definitiva visto que para cada análise dos sistemas, subsistemas e falhas funcionais podem ser desenvolvidos outros modos de falha dependendo do contexto em que se está analisando esses subsistemas e em consonância com os níveis de profundidade, ou seja, de acordo com os níveis de gestões sobre os componentes em que se atuará para a restauração das funções de cada subsistema. Devem ser observados também os contornos da abrangência da análise, estabelecidos no escopo da aplicação, conforme mencionado no item 4.3.1. retro.

De acordo com as identificações dos sistemas, subsistemas, funções, falhas funcionais e modos de falhas se tem de forma fácil e didática a apresentação de uma instalação

dentro de uma visão voltada para todos os aspectos que envolvem falhas e especificamente aquelas que podem conduzir aos riscos dos equipamentos da instalação.

#### **4.3.4. Análise de criticidade e importância das falhas**

A análise das falhas constitui a base da aplicação da MCC em face do objetivo desse processo na medida em que a seleção das ações se dará a partir das falhas mais críticas para o sistema e para as pessoas.

Para se proceder a uma análise das falhas na visão da MCC uma das ferramentas comumente utilizada é a FMEA, descrita no item 3.3 - VIII. Com os modos de falhas identificados para cada falha funcional, a etapa seguinte é a verificação do que acontece quando cada modo de falha ocorre, também conhecido como efeitos das falhas. Os efeitos das falhas descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre (Moubray, 1997 -p.73).

Deve ser observada a diferença entre os efeitos da falha e conseqüências da falha. De acordo com Moubray, 1997, um efeito da falha responde a questão "O que acontece?" enquanto que a conseqüência da falha responde a questão " Qual a importância da falha?" ou seja, o que representa para o sistema e para as pessoas a ocorrência da falha. Através do estudo dos efeitos das falhas será possível definir as conseqüências das falhas.

Para a aplicação da ferramenta FMEA, considerando a grande quantidade de sistemas e subsistemas identificados em uma instalação elétrica de transmissão e ainda considerando as diversas falhas funcionais e modos de falhas correspondentes, a aplicação pode ser feita em um sistema típico e poderá ser estendida para os demais sistemas respeitando as características de cada um desses sistemas. O sistema escolhido para a aplicação da metodologia será o sistema de proteção.

##### **4.3.4.1. Sistema Proteção - aplicação da FMEA**

Considerando o sistema Proteção, a aplicação da ferramenta FMEA pode ser desenvolvida a partir dos modos de falhas, buscando-se identificar os efeitos das falhas

correspondentes. Dessa forma utilizando-se o resumo dos modos de falhas para o sistema Proteção o diagrama FMEA fica da seguinte forma:



Tabela 4.7 - FMEA - SISTEMA PROTEÇÃO

**SUBSISTEMA: RELÉS DE PROTEÇÃO - 5.01.00.00**

Nº FU	Função	Nº falha	Falha funcional	Nº modo de falha	Modo de falha	Efeitos da falha
A	Detectar anomalias no sistema emitir ordem de desligamentos aos disjuntores	5.01.01.00	Não detecção de falha no sistema	5.01.01.01	Recusa da proteção decorrente de graduação, implantação de ajustes ou alterações mecânicas do relé	Saída de blocos de cargas superiores àqueles estabelecidos em estudo; Equipamentos conduzirão correntes de curtos circuitos por tempo excessivo ao estabelecido.
		5.01.02.00	Emissão de ordem de desligamento sem ocorrência de falha no sistema	5.01.02.01	Defeito no relé de proteção provocado por falhas de graduação ou implantação de ajustes	Saída de blocos de cargas desnecessariamente

**SUBSISTEMA: CIRCUITOS - 5.02.00.00**

Nº FU	Função	Nº falha	Falha funcional	Nº modo de falha	Modo de falha	Efeitos da falha
A	Transmissão das informações dos relés até os disjuntores e painéis	5.02.01.00	Perda da capacidade de transmitir as ordens de desligamentos	5.02.01.01	Fios soltos nos pontos de conexões devido à vibração ou falha humana durante a montagem	Equipamentos permanecerão energizados durante a ocorrência de falhas, impondo condição de stress aos equipamentos
				5.02.01.02	Fios ou cabos partidos devido ao desgaste do material ou tensão mecânica excessiva	Saída de blocos de cargas desnecessariamente Equipamentos permanecerão energizados durante a ocorrência de falhas, impondo condição de stress aos equipamentos
				5.02.01.03	Curto circuito na fiação ou cabos devido à perda de isolamento por desgaste do material isolante	Saída de blocos de cargas desnecessariamente
				5.02.01.04	Conexões trocadas devido à falha humana durante a montagem ou testes	Saída de blocos de cargas desnecessariamente

B	Transmissão de alertas e registros aos operadores	5.02.02.00	Perda da capacidade de transmitir alertas e registros aos operadores	5.02.02.01	Fios soltos nos pontos de conexões devido à vibração ou falha humana durante a montagem	Demora no reconhecimento de ocorrências
				5.02.02.02	Fios ou cabos partidos devido ao desgaste do material ou tensão mecânica excessiva	Demora no reconhecimento de ocorrências
				5.02.02.03	Curto circuito na fiação ou cabos devido à perda de isolamento por desgaste do material isolante	Demora no reconhecimento de ocorrências
				5.02.02.04	Conexões trocadas devido à falha humana durante a montagem ou testes	Demora no reconhecimento de ocorrências

**SUBSISTEMA: ANUNCIADORES E ALARMES SONOROS - 5.04.00.00**

Nº FU	Função	Nº falha	Falha funcional	Nº modo de falha	Modo de falha	Efeitos da falha
A	Alertar os operadores quando de ocorrência anormal na instalação	5.04.01.00	Não alertar os operadores quando de ocorrência	5.04.01.01	Falha de operação de componentes auxiliares por queima de bobina devido ao curto circuito	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências
				5.04.01.02	Falha de operação de componentes auxiliares por queima de componentes devido ao curto circuito ou desgaste	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências
				5.04.01.03	Curto circuito na fiação devido ao desgaste do material	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências
				5.04.01.04	Fios soltos devido à vibração ou falha de conexão	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências
		5.04.02.00	Emissão de informações falsas aos operadores	5.04.02.01	Falha de operação de componentes auxiliares por queima de bobina devido a curto circuito	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências
				5.04.02.02	Falha de operação de componentes auxiliares por queima de componentes devido a curto circuito ou desgaste	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências
				5.04.02.03	Curto circuito na fiação devido a desgaste do material	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências

#### 4.3.4.2. Avaliação dos riscos - Sistema Proteção

Com a identificação dos efeitos das falhas através da ferramenta FMEA, a etapa seguinte é a categorização das falhas segundo a criticidade dos efeitos provocados pelas falhas.

Na visão da MCC nessa fase são avaliados os impactos operacionais, econômicos ou de segurança. A partir dessa avaliação é feita a identificação das ações que devem ser adotadas visando a adoção de tarefas de manutenção com o objetivo de atuar nas falhas mais significativas para se restaurar as funções correspondentes.

O processo de decisão é feito através do diagrama de decisão comentado no item 3.4.5. No contexto do gerenciamento de riscos a avaliação da criticidade é feita através da determinação do potencial de riscos de cada falha. Essa avaliação faz o diferencial com relação aos procedimentos tradicionais da MCC (voltada para a identificação de tarefas de manutenção), visto que a visão do risco permite uma descrição mais completa dos perigos reais que existe, na medida em que se quantificam os riscos segundo os parâmetros de probabilidade de ocorrência e severidade (Jones,1995).

Para a avaliação da probabilidade de ocorrência da falha são utilizadas além dos dados históricos, por exemplo taxa de falha, são também tomadas informações a partir do conhecimento *a priori* dos especialistas, considerando a bagagem de conhecimento das pessoas envolvidas, aproveitando a massa de experiência adquirida pelos mesmos, conforme descrito no item 2.3, retro.

Para a avaliação da severidade, buscando-se valores quantitativos, é necessário se recorrer aos efeitos das falhas ponderando-os de acordo com a experiência das áreas de manutenção e operação. Uma forma de tabular a severidade é feita através da utilização de faixas percentuais segundo as conseqüências decorrentes, também nessa fase é importante considerar o conhecimento das equipes de manutenção e operação. Essa escala de graduação parte da faixa de menor severidade (grau 1) até o grau de severidade máxima (grau 100). Uma tabela típica para as conseqüências é mostrada na tabela 4.8:

Tabela 4.8 – Categoria de severidade típica

Faixa	Categoria de severidade
90 – 100	Conseqüências associadas a segurança
89 – 60	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes efeitos nas funções do sistema;</li> <li>• Longo tempo de reparo;</li> <li>• Altos custos para os reparos;</li> </ul>
59 – 30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efeitos de porte médio nas funções do sistema</li> <li>• Tempo significativo de reparo;</li> <li>• Médio custo de reparo;</li> </ul>
29 – 0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efeito de baixo porte nas funções do sistema;</li> <li>• Curto tempo de reparo;</li> <li>• Pequeno custo de reparo</li> </ul>

No contexto de riscos em uma instalação de transmissão pode-se adotar a seguinte faixa de severidade, quantificando-se a partir das estimativas descritas item 4.2, retro. A tabela 4.9 dá essa classificação:

Tabela 4.9 – faixa de severidade – instalação de transmissão

Faixa	Classificação	Categoria de conseqüências
90 – 100	catastrófica	Associada a segurança, incluindo perda de produção (superior a 50%), acidentes com lesões fatais
60 a 89	significativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda produtiva parcial, perdas funcionais;</li> <li>• Redução da qualidade de fornecimento;</li> <li>• Possibilidade de ferimentos severos;</li> <li>• Queda de confiabilidade do sistema</li> </ul>
40 - 59	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda temporária de produção;</li> <li>• Impacto contornável;</li> <li>• Saída de equipamento (perda de ativos);</li> </ul>
20 – 39	Pequena	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa perda de produção;</li> <li>• Redução da confiabilidade com baixo reflexo para o sistema;</li> </ul>
0 – 19	insignificante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínimo impacto para o sistema</li> </ul>

Aplicando essas faixas para as conseqüências e utilizando os dados disponíveis de taxa de falha ou fazendo uso de conhecimento dos especialistas de manutenção e operação, as ponderações dos riscos complementam a análise dos modos de falhas e efeitos, estabelecendo, por conseguinte, o risco para cada modo de falha. Com isso montado, as ações apropriadas podem ser adotadas dentro de critérios otimizados, conforme o grau de risco indicado. De acordo com essas considerações para o sistema Proteção, a tabela 11 resume a avaliação dos riscos.

Tendo em vista que a probabilidade de ocorrência de falha dependerá de cada componente sob falha e a severidade dependerá de cada caso, a tabela se complementar com a avaliação de cada subsistema analisado. No caso de subsistemas de proteção conforme distribuição indicada no trabalho (relés de proteção, circuitos, dispositivos de supervisão e anunciadores e alarmes sonoros), pode-se analisar cada caso desses subsistemas, considerando principalmente o equipamento protegido. Em uma mesma instalação um relé de proteção (ou sistema de relés) tem diferentes funções com respeito a sua missão específica para o qual foi instalado. Daí, a falha funcional de um relé de proteção poderá trazer conseqüências de extremos riscos ao sistema e às pessoas, enquanto outras proteções, em caso de falha, podem resultar em pequenos prejuízos, considerando entre outros aspectos as redundâncias existentes.

Dessa forma a análise de riscos deve ser feita especificando-se cada sistema específico da instalação.

Tabela 4.10 - RISCO - SISTEMA PROTEÇÃO

**SUBSISTEMA: RELÉS DE PROTEÇÃO - 5.01.00.00**

Nº modo de falha	Modo de falha	Efeitos da falha	Conseqüências da falha	Frequência	Severidade	Risco
5.01.01.01	Recusa da proteção decorrente de graduação, implantação de ajustes ou alterações mecânicas do relé	Saída de blocos de cargas superiores àqueles estabelecidos em estudo; Equipamentos conduzirão correntes de curtos circuitos por tempo excessivo ao estabelecido.	Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema Explosões com possibilidade de afetar outros equipamentos			
5.01.02.01	Defeito no relé de proteção provocado por falhas de graduação ou implantação de ajustes	Saída de blocos de cargas desnecessariamente	Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema			

**SUBSISTEMA: CIRCUITOS - 5.02.00.00**

Nº modo de falha	Modo de falha	Efeitos da falha	Conseqüências da falha	Frequência	Severidade	Risco
5.02.01.01	Fios soltos nos pontos de conexões devido à vibração ou falha humana durante a montagem	Equipamentos permanecerão energizados durante a ocorrência de falhas, impondo condição de stress aos equipamentos Saída de blocos de cargas desnecessariamente	Explosões com possibilidade de afetar outros equipamentos Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema			
5.02.01.02	Fios ou cabos partidos devido a desgaste do material ou tensão mecânica excessiva	Equipamentos permanecerão energizados durante a ocorrência de falhas, impondo condição de stress aos equipamentos Saída de blocos de cargas desnecessariamente	Explosões com possibilidade de afetar outros equipamentos Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema			
5.02.01.03	Curto circuito na fiação ou cabos devido à perda de isolamento por desgaste do material isolante	Saída de blocos de cargas desnecessariamente	Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema			
5.02.01.04	Conexões trocadas devido à falha humana durante a montagem ou testes	Saída de blocos de cargas desnecessariamente	Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema			

5.02.02.01	Fios soltos nos pontos de conexões devido à vibração ou falha humana durante a montagem	Demora no reconhecimento de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.02.02.02	Fios ou cabos partidos devido a desgaste do material ou tensão mecânica excessiva	Demora no reconhecimento de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.02.02.03	Curto circuito na fiação ou cabos devido à perda de isolamento por desgaste do material isolante	Demora no reconhecimento de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.02.02.04	Conexões trocadas devido à falha humana durante a montagem ou testes	Demora no reconhecimento de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			

**SUBSISTEMA: ANUNCIADORES E ALARMES SONOROS - 5.04.00.00**

Nº modo de falha	Modo de falha	Efeitos da falha	Conseqüências da falha	Frequência	Severidade	Risco
5.04.01.01	Falha de operação de componentes auxiliares por queima de bobina devido a curto circuito	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.04.01.02	Falha de operação de componentes auxiliares por queima de componentes devido a curto circuito ou desgaste	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.04.01.03	Curto circuito na fiação devido a desgaste do material	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.04.01.04	Fios soltos devido à vibração ou falha de conexão	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.04.02.01	Falha de operação de componentes auxiliares por queima de bobina devido a curto circuito	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.04.02.02	Falha de operação de componentes auxiliares por queima de componentes devido a curto circuito ou desgaste	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			
5.04.02.03	Curto circuito na fiação devido a desgaste do material	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento em cascata			

#### 4.4. Processo de implementação

Embora a metodologia da MCC seja de fácil entendimento e sua aplicação muito flexível, com um aspecto significativo quanto a sua simplicidade, a sua implementação como outros processos de engenharia requer uma estruturação adequada e fortemente influenciada pelo planejamento. Dessa etapa de planejamento dependerá o sucesso da aplicação da MCC. No planejamento devem ser observados alguns pontos importantes como os listados abaixo (ALADON, 2000):

- Definição do escopo e fronteiras de cada projeto;
- Definição dos objetivos pretendidos;
- Estabelecimento do tempo para analisar cada equipamento sob estudo;
- Definição do comitê gestor e coordenador e organização;
- Definição dos grupos de análise e facilitador de cada grupo;
- Planejamento do treinamento;
- Planejamento de todas as atividades;
- Plano de implementação;

O desenvolvimento da aplicação da MCC deverá seguir um ritual natural de trabalho com funções bem determinadas para cada membro do comitê gestor e para o grupo de análise. Esse ritual é apresentado em detalhes na referência (Siqueira, 2002).

É importante ressaltar que o efetivo resultado da aplicação da MCC dependerá fundamentalmente do comprometimento da direção da organização no sentido de dar o apoio necessário a estruturação dos responsáveis pela aplicação, desde a disponibilização de tempo e recursos necessários bem como do treinamento requerido. Esse apoio é extremamente decisivo quando da implementação das medidas propostas. Esse ponto é ressaltado tendo em vista que a aplicação da MCC conduzirá a fortes mudanças no processo de manutenção.

No aspecto de manutenção dos ativos a MCC resultará em três resultados tangíveis (ALADON, 2000):

- Estruturação de Programas de manutenção;
- Revisão de Procedimentos operacionais;



- Levantamento de necessidades de modificações de projetos;

Analisando sob o ponto de vista de riscos, a aplicação da MCC resultará em:

- Medidas saneadoras que reduzem os riscos percebidos e quantificados;
- Revisão dos procedimentos operacionais;
- Levantamento de necessidades de modificações de projetos;

#### **4.5. Programa de gerenciamento de riscos**

A aplicação das técnicas de manutenção centrada na confiabilidade dá o suporte necessário para a estruturação de um programa de manutenção dos ativos justapondo-o ao objetivo maior de reduzir ao máximo a indisponibilidade dos equipamentos, atuar na consequência das falhas garantindo a minimização dos custos para a manutenção dos ativos em operação e eliminar ou reduzir as possibilidades de acidentes contribuindo para a preservação do homem e da instalação.

Essa estratégia, no entanto, per si deve ser organizada e consolidada dentro da estrutura da Empresa de forma que se tenha uma efetividade necessária de permanência de um programa visando tornar-se um instrumento de rotina e de gestão reconhecido e fomentado pela alta direção da Organização. Para isso se faz necessário a estruturação de um programa de gerenciamento dos riscos dos ativos em operação incluindo-o nas ações permanentes da Empresa. Uma das formas de solidificar as gestões de riscos de ativos é feita através de um programa de gerenciamento de riscos de ativos.

O gerenciamento de riscos deve contemplar não só as medidas para a redução dos riscos, mas também ações que visem manter uma instalação operando, ao longo do tempo, dentro de padrões de segurança considerados aceitáveis ou toleráveis.

Assim, dentro do contexto da CHESF o estabelecimento de Programas de Gerenciamento de Riscos (PGR) se torna imprescindível.

Um programa de gerenciamento de riscos deve contar com o apoio da alta direção da empresa, uma vez que deve fazer parte da política preventcionista da mesma, na qual todos os seus funcionários devem ter as suas atribuições e responsabilidades muito bem

definidas. Assim, o PGR deve ter, entre outras, as seguintes características(FANTAZZINI;SERPA 2002):

- Conter informações detalhadas dos perigos inerentes às instalações e atividades da empresa;
- Ser capaz de fornecer aos responsáveis pela sua implementação os dados e informações necessárias para adoção das medidas para a redução, controle e gerenciamento dos riscos.

O Programa de Gerenciamento de Riscos deve ser dimensionado, de forma a atender os seguintes requisitos:

- Alcance gradativo dos objetivos propostos;
- Flexibilidade para se adaptar a alterações e imprevistos;
- Não influir, na medida do possível, de forma negativa na atividade principal da empresa;
- Integração entre as diversas unidades da empresa para que as metas e objetivos traçados possam ser alcançados.

Assim, o sucesso no desenvolvimento e na implantação de um PGR está intimamente ligado aos seguintes aspectos:

- Conscientização;
- Integração;
- Apoio;
- Documentação;
- Controle.

Independentemente dos aspectos relacionados, o PGR deve estar também devidamente integrado à política e estratégia financeira e administrativa da empresa, uma vez que dos estudos de análise de riscos podem ser extraídos importantes subsídios para a política de seguros da empresa; pois, identificados e quantificados os possíveis acidentes e seus respectivos danos e perdas, torna-se possível a definição dos riscos a serem retidos pela própria empresa, bem como aqueles que devem ser transferidos para seguros específicos.

De forma geral, o projeto e a implantação de um PGR deve contemplar as seguintes atividades:

- Metas e objetivos;
- Informações do processo e documentação;
- Informações de segurança de processo;
- Análise de riscos;
- Gerenciamento de modificações;
- Garantia da qualidade e manutenção;
- Procedimentos operacionais;
- Fatores humanos;
- Treinamento;
- Investigação de acidentes;
- Normas e procedimentos;
- Auditorias.

#### Metas e objetivos

Os objetivos, gerais e específicos, bem como suas respectivas metas, devem ser claramente definidas, de acordo com o que a empresa pretende alcançar com a implementação de um PGR. Cada elemento que tenha alguma relação, direta ou indireta, com as atividades desenvolvidas na empresa, deve ser gerenciado, seja este elemento um funcionário, um material ou um equipamento. De um modo geral, o PGR deve, para cada um desses elementos, definir:

- O que deve ser feito?
- Como deve ser feito?
- Quando deve ser feito?
- Quem faz?

#### Informações do processo e documentação

O sucesso na implementação de um PGR está intimamente relacionado com as informações disponíveis e a sua respectiva documentação. Existem muitos benefícios relacionados com o gerenciamento adequado de informações e com a manutenção

permanente de toda a documentação pertinente a uma instalação, dentre os quais pode-se destacar:

- Preservação dos registros de projeto e especificação de materiais e equipamentos, assegurando assim a continuidade das operações com toda sua documentação atualizada, além de facilitar o planejamento e a execução de serviços de manutenção;
- Facilitar o entendimento e a reavaliação das operações relacionadas ao processo;
- Subsidiar a avaliação de mudanças, visando o aperfeiçoamento das instalações e operações;
- Manutenção de um registro atualizado de trocas de equipamentos, serviços de manutenção e de acidentes ocorridos nas instalações;
- Proteção da empresa contra reclamações injustificadas e negligências.

Essas informações do processo e documentações devem contemplar, entre outros, os seguintes tipos de dados:

- Fichas de segurança e características dos produtos envolvidos no processo;
- Plantas locacionais, de equipamentos e fluxogramas de processos atualizados;
- Procedimentos operacionais, de segurança e de manutenção;
- Especificação técnica de todos os materiais e equipamentos;
- Normas e procedimentos operacionais;
- Critérios para a tomada de decisões no gerenciamento de riscos;
- Registro de acidentes.

#### Informações de segurança de processo

Um dos principais itens do PGR é o relativo às informações de segurança do processo. O desconhecimento do processo certamente levará à uma identificação e caracterização dos perigos de forma inadequada.

Portanto, é de grande importância o pleno domínio das operações envolvidas na instalação em estudo e a definição de parâmetros críticos do processo, dados estes

oriundos do estudo de análise de riscos, que devem nortear as ações de segurança para a planta industrial.

Outro ponto importante a ser ressaltado diz respeito à não-conformidade de equipamentos; muitas instalações, embora construídas dentro de normas e padrões rígidos requerem alterações na sua montagem, o que, em muitas oportunidades, acabam acarretando desconformidades muitas vezes não percebidas ou documentadas.

Outra deficiência quase sempre observada é a manutenção de desenhos de tubulações e instrumentação (P & IDs) desatualizados, o que faz que, quando da necessidade de consulta a esses documentos, decisões erradas sejam tomadas, podendo, conseqüentemente, induzirem situações perigosas.

#### Análise de riscos

Os dados e informações que norteiam um PGR são os resultados dos estudos de análise de riscos; porém, ao longo do tempo, esses estudos devem ser revisados e atualizados, uma vez que os processos, materiais e equipamentos, ou mesmo a vizinhança ao redor da instalação, têm suas características alteradas.

Assim, periodicamente, ou sempre que julgado necessário, os estudos de análise de riscos devem ser revistos para propiciar os subsídios necessários para a atualização e o aperfeiçoamento do programa de gerenciamento de riscos.

#### Gerenciamento de modificações

Normalmente, as empresas realizam modificações em suas instalações na medida em que dificuldades sejam estas operacionais ou para o atendimento a uma demanda específica, surgem; sem, no entanto, levarem em consideração os aspectos relacionados com o gerenciamento dos riscos que estas alterações podem acarretar na instalação como um todo. Às vezes uma simples modificação de um equipamento, analisado com uma microvisão pode resultar em prejuízos ou perdas catastróficas.

Atualmente, é cada vez mais constante a adoção de procedimentos de revisão de segurança para a aprovação de modificações em plantas industriais, mesmo que temporárias. As alterações propostas são, em geral, avaliadas por técnicos externos à unidade envolvida, de forma que essa análise não seja comprometida, uma vez que os critérios devem levar em consideração também efeitos secundários, muitas vezes não observados por pessoas envolvidas diretamente com o processo no seu dia-a-dia.

Garantia de qualidade e manutenção

Este item contempla dois aspectos:

- a. processo de garantia da qualidade no projeto inicial, na fabricação de materiais e equipamentos e na instalação;
- b. programa de manutenção preventiva para assegurar a integridade dos equipamentos durante a sua vida útil.

Um número significativo de acidentes na indústria é atribuído às questões relacionadas com a manutenção de equipamentos. Um sistema de gerenciamento de manutenção e de garantia da qualidade deve prever o entendimento de todo o processo de especificação, projeto, montagem e formas de operação, de modo que os equipamentos possam ser operados e mantidos adequadamente, garantindo assim, a qualidade e a segurança da instalação.

Em muitas plantas industriais, um dos aspectos de maior fragilidade é a manutenção preventiva de equipamentos. Enquanto alguns itens considerados críticos para o processo, como por exemplo, válvulas de alívio de vasos, recebem atenção adequada, em termos de frequência de inspeções e testes, o mesmo não ocorre com outros.

Um programa adequado deve estudar minuciosamente os componentes considerados críticos, tomando-se por base um estudo detalhado de análise de riscos, de modo que os tipos e a frequência de testes e inspeções possam ser definidos de maneira compatível com a criticidade do equipamento.

Em geral, as grandes plantas de processo, como refinarias, cada vez mais ampliam seus tempos de operação sem paradas para manutenção; assim, há a necessidade das instalações serem inspecionadas e testadas durante todo esse período. Os resultados desses testes e inspeções devem também ser revisados ao longo do tempo, de modo que os intervalos possam ser adequados de acordo com as necessidades apresentadas e a experiência acumulada.

Procedimentos operacionais

Os procedimentos operacionais, embora na maioria das instalações, constem de novos projetos, raramente são atualizados. Tendo em vista que os operadores são treinados e

acumulam experiência na realização das operações, essa necessidade decresce ao longo do tempo. Os procedimentos operacionais servem como importantes instrumentos de treinamento e reciclagem, e só por esta razão merecem ser atualizados.

#### Fatores humanos

Certamente os erros do homem contribuem de forma significativa para a ocorrência de acidentes. Um importante fator para a redução dos erros humanos numa instalação elétrica é assegurar que as interfaces entre os operadores e os equipamentos são compatíveis entre si. Essa compatibilidade nem sempre é fácil de ser definida, mas, freqüentemente, é um fator contribuinte para induzir a um erro. Por exemplo, chaves “on/off”, displays coloridos, códigos e sinais são fatores que podem afetar a habilidade de um operador na execução de uma determinada tarefa.

As plantas de processos industriais são normalmente controladas através de procedimentos administrativos (humanos) e ações automatizadas (equipamentos). Assim, os erros do homem nesse processo podem ser caracterizados das seguintes formas:

- Ausência de ação;
- Ação tardia;
- Ação errada;
- Combinações das ações anteriores.

Dessa forma, um Programa de Gerência de Riscos deve contemplar ações específicas para o gerenciamento e redução dos erros humanos numa instalação ou atividade perigosa, com vista a prevenir a ocorrência de acidentes; essas ações devem incluir:

- Manuais para a prevenção de erros humanos;
- Planos de gerenciamento de operações e de tomadas de decisão;
- Auditorias específicas voltadas para a identificação e avaliação de erros operacionais;
- Ações de controle das interfaces homem-máquina;
- Sistemas de comunicação.

### Treinamento

Muitos acidentes nas empresas de eletricidade estão associados à deficiência de treinamento. Algumas vezes isto ocorre porque os procedimentos operacionais não foram atualizados ou repassados aos operadores; entretanto, na grande maioria das vezes, o treinamento dos operadores e das equipes técnicas fica restrito à prática de campo. Embora o acúmulo de experiência seja um importante elemento de treinamento, há a necessidade de haver um equilíbrio entre teoria e prática. O treinamento restrito ao “treinamento durante o trabalho” pode resultar na utilização de técnicas operacionais de má qualidade ou no uso de “atalhos impróprios” na execução de determinadas tarefas.

### Investigação de acidentes

Os acidentes maiores, ou mesmo ocorrências anormais sem maiores conseqüências, devem ser investigados, para que as ações corretivas possam ser implementadas, além das conclusões do processo de investigação servirem de base para a prevenção de eventos futuros.

É desejável que as empresas mantenham sistemas de registro de ocorrências, onde as informações relativas a esses casos fiquem armazenadas, de forma que ao longo do tempo dados estatísticos das causas dos acidentes, ações corretivas adotadas e alterações de projetos ou de procedimentos operacionais subsidiem ações e projetos futuros.

As ações implementadas devem ser amplamente divulgadas para todos os funcionários envolvidos com o sistema ou equipamento sinistrado, de modo que as medidas adotadas possam efetivamente surtir os efeitos preventivos desejados.

### Normas e procedimentos

- É de fundamental importância que a política operacional, de segurança e meio ambiente de uma empresa esteja fundamentada em dispositivos legais, normas e procedimentos, com o objetivo de:
- Promover uma uniformidade das ações por todas as áreas e funcionários;
- Aprimorar continuamente as atividades, com base na experiência adquirida ao longo do tempo;
- Promover o desenvolvimento de ações através de consenso entre os envolvidos;
- Dar uma sustentação legal às ações da empresa.



As normas e procedimentos adotados devem contemplar dispositivos internos e externos. As normas e dispositivos legais externos, em geral, contemplam os seguintes aspectos:

- Leis, normas e critérios ambientais;
- Segurança e higiene industrial;
- Normas técnicas de instituições nacionais e internacionais, como por exemplo: ABNT, ASME, ISO, API e NFPA, entre outras.

Já, com relação às normas e procedimentos internos, estas normalmente contemplam os seguintes aspectos:

- Procedimentos operacionais;
- Segurança;
- Resposta a emergências;
- Especificações de projetos;
- Caracterização de substâncias químicas;
- Procedimentos de manutenção.

É importante que as normas, critérios e outros documentos similares sejam periodicamente revisados e atualizados, com base no monitoramento de suas aplicações e na experiência de técnicos, especialistas e funcionários.

#### Auditorias

Como todo programa de grande porte numa empresa, um Programa de Gerenciamento de Riscos também requer um sistema de auditoria como forma de acompanhamento da sua implementação.

É importante que um programa de auditoria interna tenha curso para assegurar que a implementação de um PGR seja efetiva. Esse programa interno, normalmente, inclui pessoas de outras áreas da unidade da empresa, podendo também contar a assessoria de especialistas de outras instituições.

#### Considerações gerais

A ocorrência de um acidente maior pode acarretar os mais variados tipos de conseqüências, dentre as quais merecem destaque:

- Mortes ou lesões;
- Perda de equipamentos e instalações;

- Paralisação do processo produtivo;
- Indenizações a terceiros;
- Multas e outros gastos decorrentes do acidente;
- Comprometimento da imagem perante a opinião pública, com a conseqüente perda de mercado.

A responsabilidade pelo gerenciamento de riscos é de quem desenvolve atividades de risco; dessa forma, podem ser consideradas responsabilidades das empresas:

- Identificar os perigos e reduzir os riscos de suas atividades;
- Elaborar e implantar planos de emergência;
- Informar e treinar as comunidades locais, que possam sofrer danos decorrentes de suas atividades;
- Atuar em conjunto com os órgãos de governo na prevenção e na resposta a acidentes.

# CAPÍTULO 5

## Aplicação do modelo em uma unidade da CHESF

### 5.1. Considerações iniciais

A metodologia utilizada no modelo proposto nesse trabalho ainda não foi efetivamente aplicada na CHESF na sua forma mais completa, considerando que a metodologia de MCC encontra-se em seu estado de assimilação pelos segmentos de manutenção, não estando ainda estruturada a aplicação da metodologia nos diversos setores, entretanto, em função da oportunidade apresentada pela empresa na busca de soluções efetivas com relação ao gerenciamento de riscos, a participação no grupo de trabalho instituído para a elaboração de um projeto piloto de gerenciamento de riscos proporcionou a aplicação, embora de forma restrita, da metodologia de gerenciamento de riscos analisada na dissertação.

### 5.2. Introdução

A preocupação com as condições operacionais das instalações da CHESF tem sido motivo de constantes ações visando o estabelecimento de medidas para a eliminação de riscos ou redução dos mesmos sobre os ativos físicos, de forma que na ocorrência de fatos indesejáveis tenha um reflexo mínimo para a instalação, para os consumidores e para as pessoas que atuam nessas instalações.

Ocorre, no entanto, que se percebe que ainda existem situações em que a ocorrência de falhas em equipamentos que desencadeiam sérios problemas à instalação e às pessoas que atuam nas áreas de manutenção e operação, e muitas vezes causam acidentes às pessoas ou perdas de fornecimento com prejuízos incalculáveis à organização.

Outro aspecto importante e presente na organização é o custo com a transferência de risco para terceiros. Em função da metodologia vigente, se percebe que os custos com

seguro de equipamentos podem ser reavaliados de forma que se tenha a relação custo-benefício otimizada.

Considerando esses aspectos e avaliando o contexto atual do setor elétrico em que é imperativa a manutenção dos sistemas em operação com a máxima disponibilidade dos equipamentos, a Diretoria da CHESF decidiu iniciar um processo de gerenciamento de riscos.

Foi levada em consideração também a necessidade de revisar o normativo existente na empresa a respeito de gerência de riscos e consolidar uma metodologia de gerenciar os riscos de ativos.

## **5.2. O processo adotado**

Para a efetivação desse programa as seguintes premissas foram estabelecidas:

- i) Contratação de empresa especialista para apoiar o processo;
- ii) Elaboração de um projeto piloto para testar a metodologia;

Para uma ação efetiva, considerando que em uma instalação dispõe de uma variedade de equipamentos, foi definido que o trabalho seria realizado por uma equipe multidisciplinar, envolvendo pessoas de áreas distintas. A equipe definida teve como base para o desenvolvimento do trabalho, um treinamento específico a respeito, para o qual foi contratado o Instituto Tecnológico MAFRE de Segurança e Engenharia Ambiental – ITSEMAP. Para suporte às atividades de elaboração de dados, diretrizes do trabalho e estruturação do relatório final foi contratada a empresa WILLIS, consultora especialista em gerência de riscos.

A instalação escolhida para aplicação do projeto foi a subestação de Mirueira, situada a 30 km da sede da empresa, e escolhida devido tratar-se de uma instalação típica da empresa com um nível de padronização razoável.

## **5.3. Aspectos importantes do projeto**

Considerando as limitações de tempo para a conclusão do trabalho e tendo em vista a diversidade de áreas de riscos potenciais da instalação, não foi possível um nível de detalhamento condizente com a metodologia proposta na dissertação, entretanto teve um resultado bastante significativo com relação ao processo de levantamento dos dados in loco. Foram utilizadas algumas ferramentas de gerenciamento de riscos das quais se destacam a “What if”, “Árvore de falhas”, “Análise Preliminar de riscos – APR”,

“FMEA” e “GUT” (descritas no item 3.3). Nesse levantamento o enriquecimento de informações a partir do conhecimento *a priori* dos especialistas contribuiu significativamente para o sucesso do projeto.

Outro ponto de destaque foi a diversidade do trabalho, que embora não tendo um aprofundamento adequado para o caso, em função da limitação de tempo, foi possível se ter uma visão abrangente da instalação, permitindo uma visão em áreas como: sistemas de proteção, sistemas de instalações civis, transformadores, disjuntores, barramentos, serviços auxiliares, meio ambiente e sistemas de gestão.

#### 5.4. Considerações sobre o processo

a) Equipe:

A equipe formada para o desenvolvimento dos trabalhos contou com a participação de especialistas de diversas áreas da empresa: Engenharia e construção, Segurança do trabalho, Meio ambiente, Operação de sistemas, Manutenção de proteção, Manutenção de equipamentos, Manutenção executiva da Regional, Seguro e Controle Patrimonial. Esses especialistas com mais de 20 anos de experiência em suas áreas específicas participaram de todo o processo de treinamento e desenvolveram os trabalhos em processo interativo em que foram definidas todas as etapas do trabalho em reuniões específicas.

b) Processo de levantamento de riscos

Para a efetivação da avaliação dos riscos da instalação, além do treinamento e diretrizes estabelecidas a equipe necessitou nivelar conceitos a respeito de riscos, perigos, causas, causa fundamental (raiz), efeitos, conseqüências, além de definição de sistema e falhas funcionais.

O procedimento para levantamento dos riscos foi estruturado em etapas partindo-se da visão individual de cada membro da equipe e posteriormente consistido em reuniões de avaliação. Com a consistência preliminar, os riscos foram selecionados em suas respectivas áreas considerando a avaliação e associação dos riscos inicialmente indicados. Nessa fase o processo teve um enriquecimento importante visto que se definiu dentro de critérios uniformes e utilizando algumas ferramentas de análise de riscos. Nessa fase também foram agregados as causa, os efeitos e as conseqüências vistas pela equipe.

Em seguida a equipe avaliou essa relação na Subestação de Mirueira através de uma minuciosa inspeção envolvendo as áreas de civis (prediais, fronteira, sistemas de drenagem, etc.), equipamentos de alta tensão, painéis e chassis de proteção. Após a inspeção que contou com a participação dos responsáveis pela operação e manutenção da subestação, se procedeu a entrevistas com especialistas de cada segmento visando estabelecer uma consolidação dos riscos iniciais, incorporação de novos riscos, bem como determinar em uma primeira versão os graus de riscos.

c) Análise dos dados/quantificação

Com os dados e consistidos para os segmentos selecionados o passo seguinte foi a quantificação desses riscos. Para isso foram analisados os aspectos históricos quando disponíveis, banco de dados de casos similares em outras empresas ou existentes em literatura a respeito, informações de fornecedores, etc. Essa fase consistiu de grandes dificuldades para a sua conclusão no tempo estabelecido no programa em face das dificuldades de coleta e consistência de dados estatísticos, no entanto, se revestiu de importantes contribuições dos especialistas, considerando o conhecimento *a priori* dos mesmos, o que permitiu se fazer inferência sobre os dados de riscos permitindo se fazer uma avaliação adequada para o trabalho.

### 5.5. Resultados obtidos

Após um período de 60 dias desde a formação da equipe, treinamento, levantamento de dados, análise dos dados, entrevista com especialistas e elaboração do relatório.

Nesse relatório constou a estimativa dos riscos dos modos de falhas considerados mais importantes e a indicação de medidas a serem adotadas para a eliminação ou redução dos riscos existentes, afastando-o da área de catastrófico para tolerável.

Os resultados registrados e o quadro dos principais riscos por sistemas estão incluídos no apêndice.

# CAPÍTULO 6

## Conclusões e sugestões

Análises e trabalhos a respeito de gerenciamento de riscos têm sido desenvolvidos no sentido de estruturar formas de preservar instalações e pessoas, de acidentes que possam trazer prejuízos ou perdas fatais. Essas iniciativas são muito importantes e passam a ser imperativas quando se está inserido em ambientes favoráveis a ocorrências de falhas humanas ou de equipamentos ou processos cujas conseqüências são indesejáveis como é o caso de perda de vida. Associadas a essas conseqüências o ambiente do setor elétrico brasileiro com as reformas a que foi submetido na última década, impulsiona a estudos de natureza técnico-gerencial que torne o mais harmônico possível a convivência homem-meio ambiente - sistemas físicos.

Nessa visão a dissertação apresentou um modelo de gerenciamento de riscos em instalações elétricas considerando o uso da ferramenta de manutenção centrada na confiabilidade. Como já mencionado anteriormente o modelo ora proposto visa disponibilizar aos decisores da empresa metodologia de aplicação técnica nos principais sistemas de uma instalação utilizando os processos estruturados da ferramenta de MCC dentro de uma abordagem matemática adequada para a mensuração e tratamento dos riscos.

Com essa estruturação, a dissertação foi desenvolvida considerando como grandes motivadores a história dos riscos e acidentes ocorridos, além de focar a necessidade premente de se utilizar uma estratégia embasada considerando a atual conjuntura de tratamento de riscos.

A fim de reduzir perdas e incertezas em uma empresa um dos pilares fundamentais é o gerenciamento de riscos. A aplicação de metodologia de gerenciamento de riscos em

instalações elétricas tem sua importância ímpar na medida em que esse gerenciamento além de evitar ou minimizar ocorrências indesejáveis com pessoas, sistema físico e meio ambiente, proporcionará efetivos ganhos financeiros através da administração dos bens fundamentais da empresa de forma otimizada. Outros ganhos expressivos estão associados a uma eficaz gerência quanto à decisão de transferir ou não os riscos a outras empresas através de estabelecimento de uma adequada política de seguros. Ainda há de se considerar os benefícios advindos da boa imagem da empresa perante a sociedade e ainda a credibilidade dos serviços prestados perante as agências reguladoras e acionistas em geral. Esses aspectos tornam imperativa a estruturação do gerenciamento de riscos dos ativos de uma empresa de energia elétrica.

Analisados sob o ponto de vista qualitativo, os riscos das instalações elétricas são elementos que justificam a inclusão do gerenciamento no plano estratégico da empresa em face das conseqüências já mencionadas e pela importância de inclusão do processo nas atividades rotineiras da organização. Ocorre, no entanto que a visão qualitativa, embora rica em informação, não atende adequadamente aos requisitos exigidos no contexto atual das organizações. É fundamental que a análise seja quantitativa. Essa visão é mensurada considerando que a avaliação do risco encontra respaldo na abordagem matemática de probabilidade de ocorrência determinando a freqüência e estimativa da severidade no qual o risco está inserido. Uma análise desse tema foi apresentada na fundamentação matemática. Essa abordagem constitui a base fundamental em um processo de gerenciamento de riscos. Na medida em que um risco é quantificado, a administração de ações para eliminar, bloquear ou reduzir as suas conseqüências passam a ter um tratamento tanto impessoal quanto seguro visto que o embasamento matemático, embora considerando todos os aspectos do conhecimento das pessoas envolvidas, evita o procedimento em base exclusivamente empírica ou sentimental. Deve ser ressaltado aqui a importância de participação e contribuição dos responsáveis pelos processos. As abordagens matemáticas analisadas no capítulo 2 são ferramentas indispensáveis no gerenciamento de riscos como se propõe esse trabalho.

A inclusão do processo de MCC na proposição fim dessa dissertação caracteriza um aspecto novo no tratamento de riscos, visto agora como uma decorrência de uma falha funcional. Essa forma de avaliação além de garantir uma abordagem prática e estruturada, considerando a filosofia natural da MCC, dá uma visão racional para que



as ações a serem adotadas sejam resultados de uma extensa análise organizada das funções dos sistemas definidos e permitam que as decisões sejam embasadas em modelos reconhecidos.

É sobremaneira importante a contribuição com relação aos ganhos advindos com a tomada de decisão alicerçada nos critérios adotados na MCC, resultando em decisões seguras e otimizadas do ponto de vista de custos versus benefícios.

No contexto da aplicação a metodologia MCC pode ser utilizada a partir de objetivos específicos que atendam os interesses da administração. Dentre esses objetivos a metodologia pode ser aplicada buscando-se:

1. Assegurar a maior confiabilidade possível dos sistemas;
2. Reduzir os custos com restauração dos sistemas quando de ocorrência de falha;
3. Estender a vida da instalação;
4. Reduzir a taxa de falha;
5. Usar mais efetivamente os recursos de manutenção;
6. Otimizar projetos de sistemas;

Todos esses objetivos e outros que se proponha a aplicação da metodologia MCC deve buscar em síntese: A disponibilidade, a redução de custos e a segurança. A utilização da MCC no gerenciamento de riscos também busca atingir esses objetivos. De acordo com o modelo explicitado no capítulo 4, a aplicação da metodologia em instalação elétrica de transmissão dá uma visão das possibilidades de aplicação da metodologia, não se propondo a uma única linha de utilização dessa metodologia visto que em conformidade com o escopo e tendo em vista a flexibilidade da MCC, as definições dos sistemas, subsistemas, falhas funcionais e modos de falhas podem se alterar adequando-se ao escopo delimitador da aplicação. É importante ressaltar que a quantidade e os níveis de detalhamento de cada modo de falha dependerão dos requisitos das diretrizes da administração e do poder de ação considerado no contexto.

O exercício de aplicação de um caso real, embora feito de forma simplificada considerando que ainda não se tinha um perfeito amadurecimento da metodologia e em face das restrições de tempo para o desenvolvimento dos trabalhos, mostrou a aderência da metodologia aos objetivos de gerenciamento de riscos.

É ainda importante ressaltar que considerando a conjuntura atual do setor elétrico e o estágio que a sociedade brasileira atingiu no que se refere a conscientização da cidadania, é extremamente necessário o desenvolvimento de uma metodologia como a proposta nesse trabalho para o atingimento do equilíbrio homem - ambiente - sistemas físicos.

Como sugestões para futuros trabalhos nessa abordagem é por demais importante que sejam desenvolvidos estudos visando a aplicação da metodologia nos demais sistemas de instalações elétricas como sistemas de ambiente, prediais, sistemas contra incêndios, entre outros. Esses estudos se complementarão ao atual trabalho e proporcionarão uma visão mais completa de instalações elétricas na visão dos riscos.

Durante o desenvolvimento do trabalho foi constatado uma dificuldade com respeito a dados de taxas de falhas dos equipamentos e componentes. Um estudo mais aprofundado de avaliação de riscos requer um consistente banco de dados para o desenvolvimento das etapas de quantificação de riscos. Como alternativa para a obtenção de dados, pelo modelo proposto, deve-se buscar as experiências daqueles que atuam nas áreas afins, no entanto uma base de dados históricos contribuirão fortemente para a formação das distribuições de probabilidades visando a formação de bancos de dados de instalações com o enfoque em riscos. Esses estudos poderão ser desenvolvidos a partir de uma pesquisa estruturada a respeito de taxas de falha e modos de falhas dos sistemas em instalações elétricas.

Outras contribuições para trabalhos futuros devem considerar também outros segmentos de avaliação de riscos como a aplicação de Inspeção baseada em riscos (RBI). Esse segmento de estudo associados aos métodos de MCC poderão complementar com maior consistência a análise de riscos em instalações elétricas.

# CAPÍTULO 7

## Apêndices

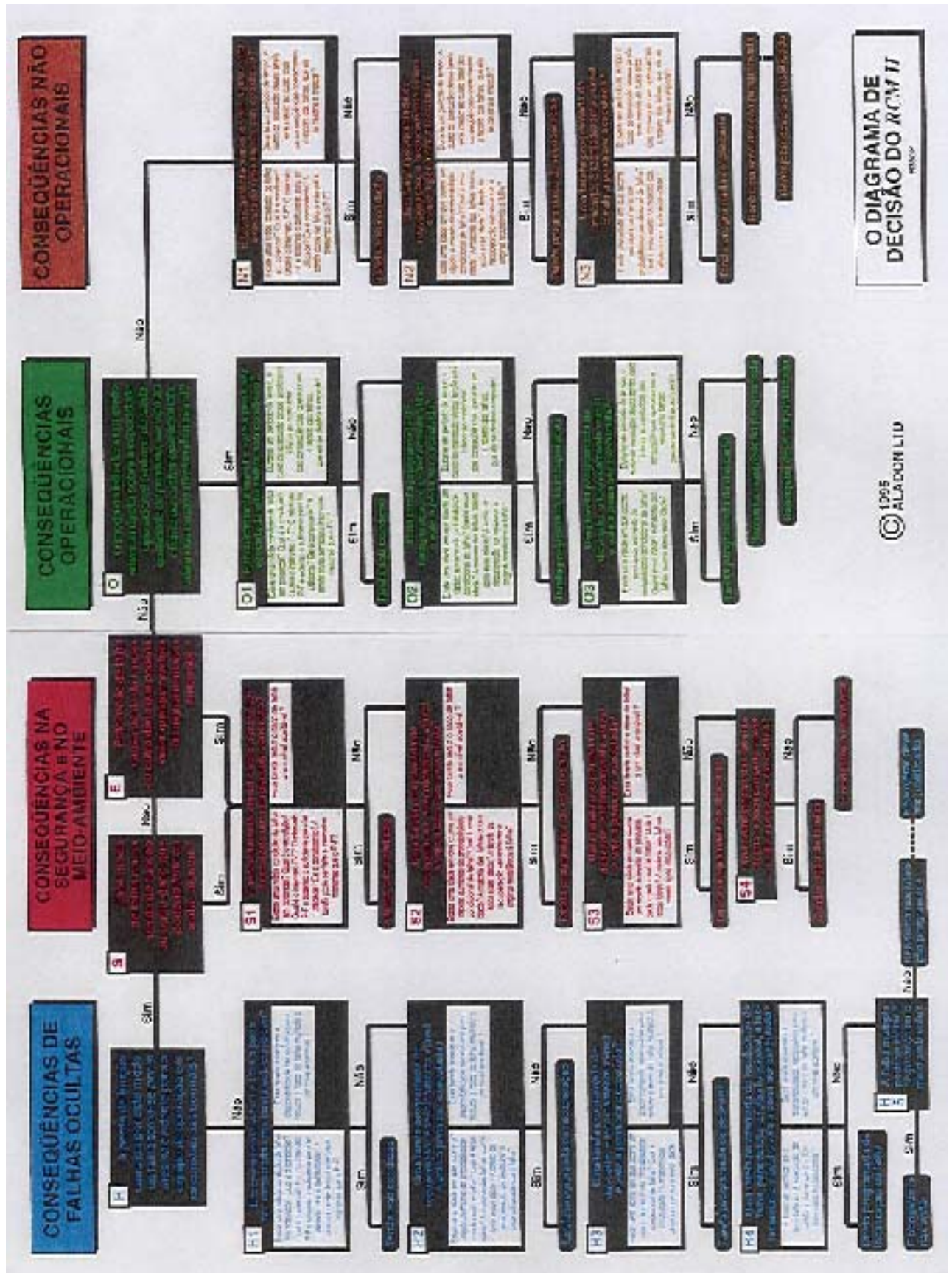
### 7.1. Diagrama de decisão – ALADON

A empresa inglesa ALADON que tem como objetivo principal a aplicação da estratégia de manutenção centrada na confiabilidade. Além de manter especialistas e desenvolvedores de estudos com a aplicação dessa estratégia, disponibiliza software e treinamentos em manutenção centrada em confiabilidade.

ALADON também faz transferência da tecnologia de MCC diretamente a grupos de clientes específicos e dá consultoria na área de MCC. Tendo em vista que a ALADON tem como um dos suportes o Sr. Jonh Moubray que introduziu a técnica de MCC com um enfoque novo dando maior ênfase na visão humana no processo e levando em conta os aspectos ambientais, levando a aplicação não mais apenas na indústria da aviação, mas para um universo maior de indústrias em todo o mundo. Essa nova visão foi colocada em um livro de grande referência no campo de aplicação de RCM. Essa filosofia ficou conhecida como RCM2 (Reliability Centred Maintenance 2).

Considerando a solidez da empresa ALADON nas áreas de treinamento, consultoria e transferência de tecnologia em MCC através de mais de 40 países, a utilização da filosofia de manutenção centrada na confiabilidade através dessa entidade é muito reconhecida. Dessa forma a utilização do diagrama de decisão nos moldes estabelecidos pela ALADON é considerado completo e de fácil entendimento. Com o objetivo de dar uma visão mais detalhada desse diagrama, é apresentado a seguir um modelo do diagrama de decisão utilizado pela ALADON.

DIAGRAMA DE DECISÃO RCM2



## 7.2. Síntese do sistema CHESF

Como mencionado no texto dessa dissertação a CHESF está perfeitamente inserida no contexto de riscos considerando além do potencial de riscos instalado e do seu negócio, tem uma responsabilidade social muito significativa. A CHESF, empresa criada em 1945, é responsável pela geração e transmissão de energia em larga escala envolvendo tensões de 13.800, 69.000, 138.000, 230.000 e 500.000 volts.

A CHESF cobre uma área de mais de um milhão de km<sup>2</sup>, cerca de 15% do Brasil, atendendo a uma população de 42 milhões de habitantes, correspondendo a 25,2% da população brasileira. O consumo verificado no ano de 2001 foi de 51.982 GWH, correspondendo a 16% do consumo verificado no Brasil. Desse consumo, 45.143 GWH foram vendidos às concessionárias de distribuição de energia e 6.488 GWH fornecidos diretamente aos grandes consumidores industriais. Atualmente a CHESF dispõe de 11 mil megawatts de potência instalada. São 16 usinas, com 64 unidades geradoras. O sistema de transmissão abrange atualmente os estados do nordeste, exceto o Maranhão, com aproximadamente 18 mil km de linhas de transmissão, em tensões de até 500 mil volts. O sistema é composto de 91 subestações. Da energia produzida a seguinte distribuição dessa energia é disponibilizada à população: Bahia (34,8%), Pernambuco(19,6%), Ceará (14,2%), Alagoas (8,3%), Rio Grande do Norte (6,8%), Paraíba (7,1%), Sergipe (5,4%), Piauí (3,9%).

Para atender a sua área de atuação, a CHESF mantém uma estrutura centralizada de quatro diretorias: Diretoria de Engenharia e Construção – DE, Diretoria Administrativa – DA, Diretoria Econômico-Financeira – DF e Diretoria de Operação – DO. Com relação a manutenção, a CHESF é constituída de uma estruturação matricial sob a responsabilidade da Diretoria de Operação, organizada de forma que a gestão normativa de engenharia de manutenção é feita de forma centralizada através das Superintendências de Manutenção, Superintendência de Telecomunicações e Sistemas de Controle e Superintendência de Operação, enquanto a execução é descentralizada através das Gerências Regionais. Uma visão dessa estrutura está apresentada no organograma simplificado da figura 7.1. Em seguida é apresentada uma visão geográfica da área de atuação da CHESF, figura 7.2.

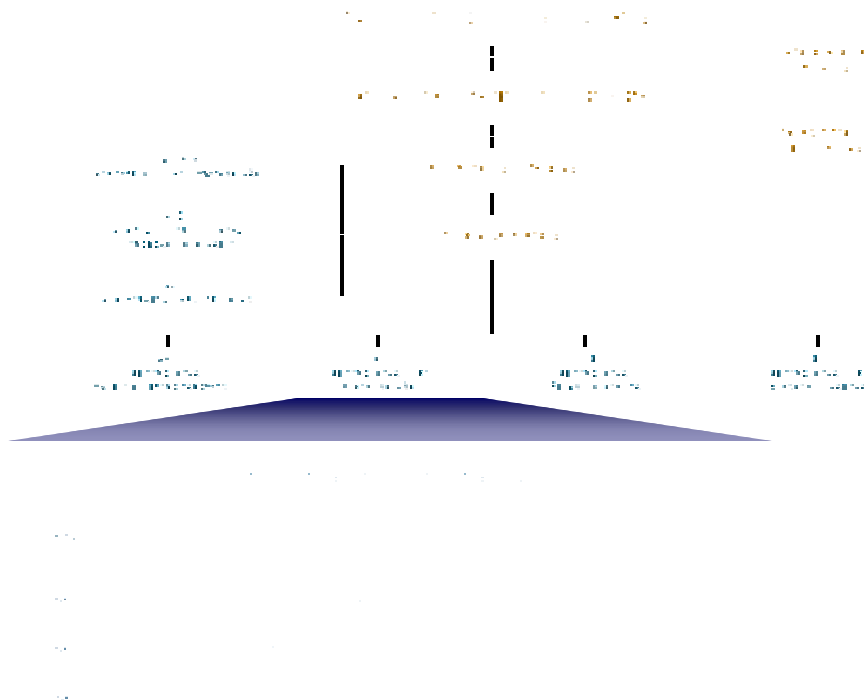


Figura 7.1 – Organograma CHESF

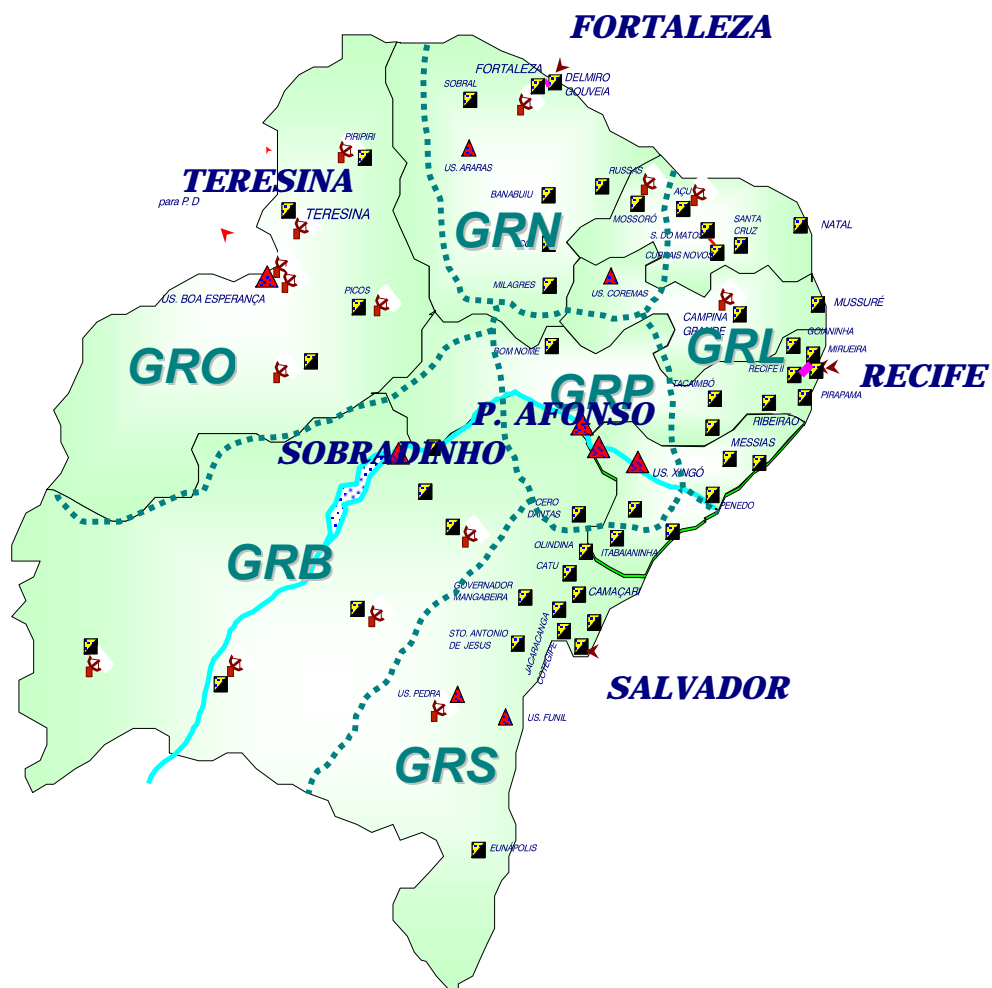


Figura 7.2 – Sistema eletroenergético CHESF

### 7.3. Síntese da Subestação de Mirueira

A aplicação do projeto piloto de gerenciamento de riscos foi desenvolvido na Subestação de Mirueira. A Subestação de Mirueira fica situada a 30 km de Recife e tem as seguintes características:

A Subestação é do tipo abaixadora, com uma área de 20 mil m<sup>2</sup> e encontra-se interligada ao sistema CHESF através de 04 linhas de transmissão em 230 kV (04C5, 04C5, 04C6 e 04F6) com uma capacidade total de transformação de 400 MW. É localizada na área de atuação da GRL. A subestação possui 13 saídas de linhas de 69.000 volts, 01 transformador 230/69 kV, 03 transformadores de 230/69/13.8 kV, transformador de aterramento, TC, TP, Bancos de capacitores, chaves seccionadoras, pára-raios, disjuntores, serviços auxiliares e grupo moto- gerador e sistemas de proteção, medição e supervisão com proteções e supervisão de tecnologias eletromecânicas, estáticas e digitais.

Em termos patrimoniais a subestação está immobilizada no valor de R\$ 26 milhões.

A operação da subestação é feita por grupo formado por 17 operadores e um encarregado.

A seguir é apresentado um diagrama unifilar simplificado da subestação.

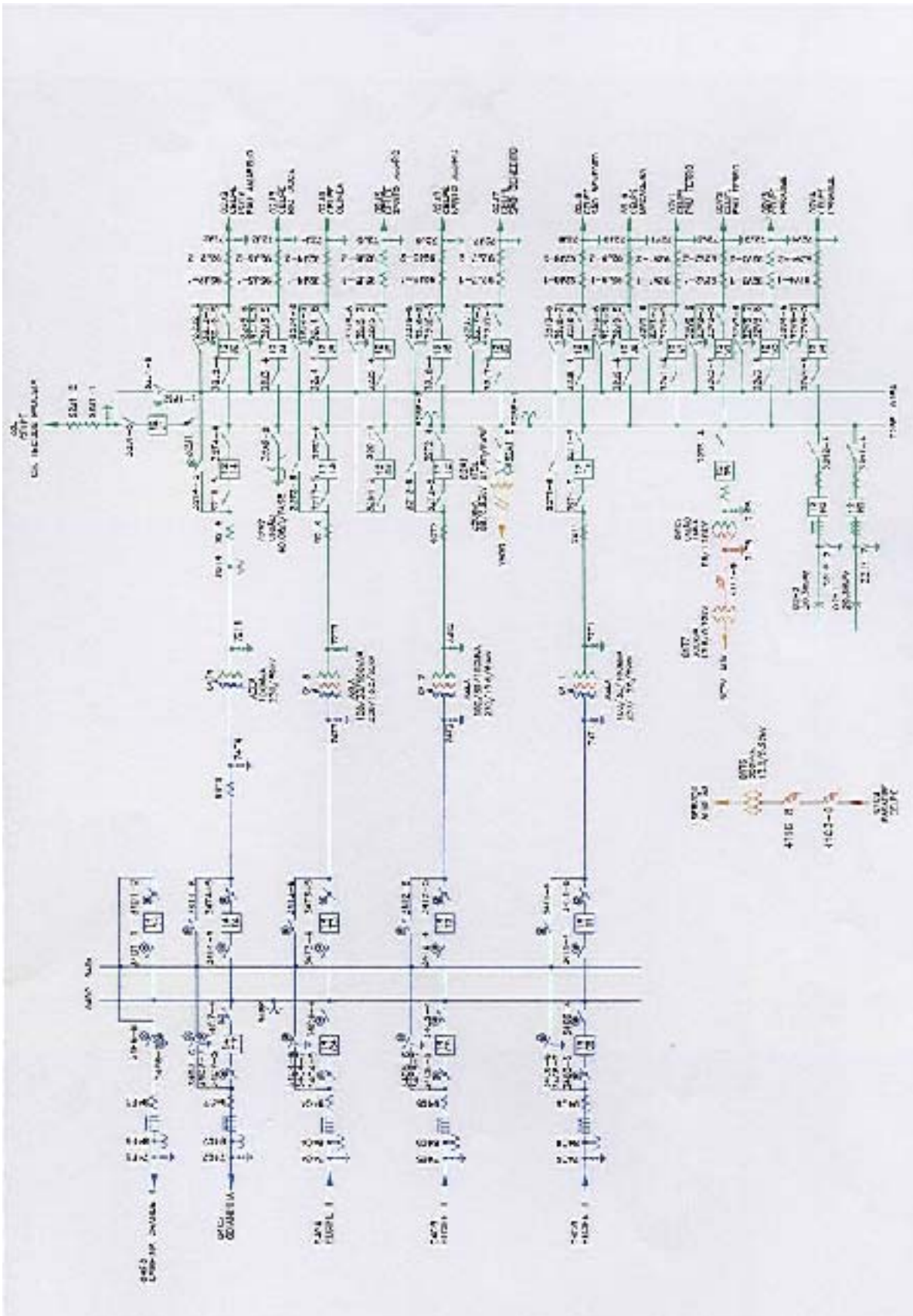


DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTAÇÃO DE MIRUEIRA



## 7.4. FMEA da Subestação de Mirueira

## 7.4.1. FMEA Sistemas de proteção

Tabela 7.1 FMEA Sistema Proteção - SE Mirueira

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
BARRA 230 kV	Proteção de sobretensão	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da barra 230kV	Perda de suprimento total da subestação
BARRA 230 kV	Proteção de sobretensão	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230kV	Perda de suprimento total da subestação
BARRA 230 kV	Proteção de sobretensão	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230kV	Perda de suprimento total da subestação
BARRA 230 kV	Proteção de sobretensão	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento da barra 230kV	Perda de suprimento total da subestação
BARRA 230 kV	Proteção de sobretensão	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete equipamentos a tensões fora dos níveis estabelecidos	Perda de confiabilidade
BARRA 230 kV	Proteção de sobretensão	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete equipamentos a tensões fora dos níveis estabelecidos	Perda de confiabilidade
BARRA 230 kV	Proteção de subfrequência	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da carga 69kV	Perda de suprimento barra 69 kV
BARRA 230 kV	Proteção de subfrequência	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da carga 69kV	Perda de suprimento barra 69 kV
BARRA 230 kV	Proteção de subfrequência	Atuação indevida devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da carga 69kV	Perda de suprimento barra 69 kV
BARRA 230 kV	Proteção de subfrequência	Atuação indevida devido à falha interna de componente	Desligamento da carga 69kV	Perda de suprimento barra 69 kV
BARRA 230 kV	Proteção de subfrequência	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete equipamentos a frequências fora dos níveis estabelecidos	Perda de confiabilidade
BARRA 230 kV	Proteção de subfrequência	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete equipamentos a frequências fora dos níveis estabelecidos	Perda de confiabilidade
BARRA 230 kV	Proteção de subtensão	Atuação indevida devido a choque físico no painel	Chaveia BC 69 kV	Instabilidade do sistema
BARRA 230 kV	Proteção de subtensão	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Chaveia BC 69 kV	Instabilidade do sistema
BARRA 230 kV	Proteção de subtensão	Atuação indevida devido à falha interna	Chaveia BC 69 kV	Instabilidade do sistema

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
BARRA 230 kV	Proteção de subtensão	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete equipamentos a tensões fora dos níveis estabelecidos	Instabilidade do sistema
BARRA 230 kV	Proteção de subtensão	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete equipamentos a tensões fora dos níveis estabelecidos	Instabilidade do sistema
BARRA 69 kV	Proteção de subtensão	Atuação indevida devido a erro de implantação de ajuste	Chaveia BC 69 kV	Instabilidade do sistema
BC 02H1	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	impedimento de chaveamento do BC	Desligamento da barra 69 kV
BC 02H1	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento banco ou danificação TC	Desligamento da linha
BC 02H1	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento do banco	Perda de confiabilidade
BC 02H1	Relé desequilíbrio	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
BC 02H1	Relé do portão	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento do banco	Perda de confiabilidade
BC 02H1	Relé do portão	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Submete pessoas a condições inseguras	Acidente em pessoas
BC 02H1	Relé principal	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento do banco	Perda de confiabilidade
BC 02H1	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
BC 02H2	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	impedimento de chaveamento do BC	Desligamento da barra 69 kV
BC 02H2	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento banco ou danificação TC	Desligamento da linha
BC 02H2	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento do banco	Perda de confiabilidade
BC 02H2	Relé desequilíbrio	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
BC 02H2	Relé do portão	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento do banco	Perda de confiabilidade
BC 02H2	Relé do portão	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Submete pessoas a condições inseguras	Acidente em pessoas
CT 02T1	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Impedimento de abertura do disjuntor CT 69 kV	Desligamento da barra 69 kV
CT 02T1	Cabeação ou fiação	Curto circuito devido à entrada de umidade e animais na passagem de cabos	Desligamento do trafo	Perda de suprimento ou de confiabilidade
CT 02T1	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo ou danificação de TC	Desligamento do trafo
CT 02T1	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
CT 02T1	Relé principal	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
CT 02T1	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
CT 02T2	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Impedimento de abertura do disjuntor CT 69 kV	Desligamento da barra 69 kV
CT 02T2	Cabeação ou fiação	Curto circuito devido à entrada de umidade e animais na passagem de cabos	Desligamento de linha ou trafo	Perda de suprimento ou de confiabilidade

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
CT 02T2	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo ou danificação de TC	Desligamento da linha
CT 02T2	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
CT 02T2	Relé principal	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
CT 02T2	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
CT 02T3	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Impedimento de abertura do disjuntor CT 69 kV	Desligamento da barra 69 kV
CT 02T3	Cabeação ou fiação	Curto circuito devido à entrada de umidade e animais na passagem de cabos	Desligamento de linha ou trafo	Perda de suprimento ou de confiabilidade
CT 02T3	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo ou danificação de TC	Desligamento da linha
CT 02T3	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
CT 02T3	Relé principal	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
CT 02T3	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
CT 02T4	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Impedimento de abertura do disjuntor CT 69 kV	Desligamento da barra 69 kV
CT 02T4	Cabeação ou fiação	Curto circuito devido à entrada de umidade e animais na passagem de cabos	Desligamento de linha ou trafo	Perda de suprimento ou de confiabilidade
CT 02T4	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo ou danificação de TC	Desligamento da linha
CT 02T4	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
CT 02T4	Relé principal	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
CT 02T4	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
CT 02T5	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento trafo ou danificação de TC	Perda da fonte S. A
CT 02T5	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo	Perda da fonte S. A
CT 02T5	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento trafo	Perda da fonte S. A
CT 02T5	Relé principal	Atuação indevida devido à falha interna	Desligamento trafo	Perda da fonte S. A
CT 02T5	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J1	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J1	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J1	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J1	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J1	Relé principal	Atuação indevida devido a choque fisico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 02J1	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J1	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J1	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J1	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J1	Religamento	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J1	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Instabilidade do sistema	Perda de suprimento
EL 02J1	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Instabilidade do sistema	Perda de suprimento
EL 02J1	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02J2	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J2	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J2	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J2	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Atuação indevida devido a choque fisico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J2	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J2	Religamento	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J2	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J2	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J2	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02J3	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J3	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J3	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento da linha	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 02J3	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J3	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J3	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J3	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J3	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J3	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02J4	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J4	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J4	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J4	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J4	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J4	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J4	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J4	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 02J4	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02J5	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J5	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J5	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J5	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J5	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J5	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J5	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Instabilidade do sistema	Perda de suprimento
EL 02J5	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Instabilidade do sistema	Perda de suprimento
EL 02J5	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02J6	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J6	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J6	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J6	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J6	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J6	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J6	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J6	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J6	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J6	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 02J6	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J6	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J6	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J6	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J6	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J6	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J6	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02J7	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J7	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J7	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J7	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J7	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J7	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J7	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J7	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J7	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02J8	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J8	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J8	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J8	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 02J8	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J8	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J8	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J8	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J8	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J8	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J8	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J8	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J8	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J8	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J8	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J8	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J8	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02J9	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02J9	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02J9	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J9	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J9	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02J9	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02J9	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02J9	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas



SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 02J9	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02V1	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02V1	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02V1	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V1	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V1	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V1	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V1	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02V1	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02V1	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02V2	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02V2	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02V2	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V2	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V2	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V2	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V2	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V2	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V2	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V2	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 02V2	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V2	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V2	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V2	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V2	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02V2	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02V2	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02V3	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02V3	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02V3	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V3	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V3	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V3	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V3	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Instabilidade do sistema	Perda de suprimento
EL 02V3	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Instabilidade do sistema	Perda de suprimento
EL 02V3	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 02V4	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de suprimento
EL 02V4	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de suprimento
EL 02V4	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V4	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 02V4	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no quadro de relés	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V4	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V4	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V4	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V4	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V4	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V4	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V4	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V4	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 02V4	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 02V4	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02V4	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 02V4	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de suprimento
EL 04C4	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C4	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04C4	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04C4	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C4	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 04C4	Relé de retaguarda	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C4	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no chassis	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé principal	Atuação indevida devido a recepção ordem TPS	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C4	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C4	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C4	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C4	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C4	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 04C4	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 04C4	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 04C5	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé de retaguarda	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no chassis	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé principal	Atuação indevida devido a recepção ordem TPS	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C5	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C5	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Instabilidade do sistema	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Instabilidade do sistema	Perda de confiabilidade
EL 04C5	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 04C6	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé de retaguarda	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no chassis	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé principal	Atuação indevida devido a recepção ordem TPS	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C6	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C6	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C6	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saída de cargas excessivas
EL 04C6	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saída de cargas excessivas
EL 04C6	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C7	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04C7	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 04C7	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C7	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C7	Relé de retaguarda	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C7	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no chassis	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé principal	Atuação indevida devido a recepção ordem TPS	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C7	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C7	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C7	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04C7	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04C7	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 04C7	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 04C7	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TC	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento linha ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04F6	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 04F6	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04F6	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé de retaguarda	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04F6	Relé de retaguarda	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04F6	Relé de retaguarda	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04F6	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico no chassis	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé principal	Atuação indevida devido a recepção ordem TPS	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04F6	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04F6	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04F6	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04F6	Religamento	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade
EL 04F6	Religamento	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 04F6	Religamento	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Submete sistema a condições instáveis	Saida de cargas excessivas
EL 04F6	Religamento	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da linha ou recusa de atuação	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento trafo ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento



SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 04T1	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04T1	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04T1	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T1	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T1	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T1	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T1	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T2	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento trafo ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T2	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04T2	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04T2	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T2	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T2	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 04T2	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T2	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T3	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento trafo ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T3	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04T3	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04T3	Relé principal	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T3	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T3	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T3	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T3	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T4	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento trafo ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento trafo ou recusa ou danificação de TP	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Componentes	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Componentes	Atuação indevida devido a falha na refrigeração	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Relé de falha	Atuação indevida devido a choque fisico	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Relé de falha	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Relé de falha	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 230 kV	Perda de confiabilidade

SUBSISTEMA NÍVEL 1	SUBSISTEMA NÍVEL 2	MODO DE FALHA	EFEITOS DAS FALHAS	CONSEQÜÊNCIA/IMPACTO
EL 04T4	Relé de falha	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T4	Relé de falha	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04T4	Relé de falha	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV por atuação remota	Perda de suprimento
EL 04T4	Relé principal	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Relé principal	Atuação indevida devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Relé principal	Atuação indevida devido erro de implantação de ajuste	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Relé principal	Atuação indevida devido a manuseio indevido chave flexi teste TP	Desligamento do trafo	Perda de confiabilidade
EL 04T4	Relé principal	Recusa devido a erro de graduação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T4	Relé principal	Recusa devido a erro de implantação de ajuste	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T4	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 04T4	Relé principal	Recusa devido a manuseio indevido chave flexi teste TC	Desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
TT 02A1	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento trafo ou recusa	Perda de suprimento
TT 02A1	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento barra ou danificação de TC	Perda de suprimento
TT 02A1	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
TT 02A1	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
TT 02A1	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
TT 02A2	Cabeação ou fiação	Abertura de circuitos devido a fio solto/defeito em componente	Desligamento trafo ou recusa	Perda de suprimento
TT 02A2	Cabeação ou fiação	Curto circuito por perda de isolamento	Desligamento barra ou danificação de TC	Perda de suprimento
TT 02A2	Componentes	Atuação indevida devido a choque físico	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
TT 02A2	Relé principal	Atuação indevida devido a falha interna	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
TT 02A2	Relé principal	Recusa devido a fio/ponto solto interno	Desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento

## 7.4.2. FMEA dos equipamentos da Subestação de Mirueira

Tabela 7.2 – FMEA Equipamentos SE Mirueira

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
BARRA 230 KV	Barramento	Danificação de conexão	Folga, corrosão ou trinca	Curto-circuito com possibilidade de extensão de danos e/ou acidente pessoal	Perda de suprimento, Prejuízos financeiros, Acidentes pessoais e Danificação de outros equipamentos
BARRA 230 KV	Barramento	Danificação dos cabos	Choque mecânico	Acidentes com pessoas e perda da barra	Perda de suprimento, Acidentes pessoais e Danificação de outros equipamentos
BARRA 230 KV	Barramento	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
BARRA 230 KV	Barramento	Tombamento	Fadiga das ferragens de amarração ou choque mecânico	Acidentes com pessoas e desligamento da barra	Perda de suprimento, Acidentes pessoais e danificação de outros equipamentos
BARRA 230 KV	Estruturas metálicas	Tombamento	má fixação, choque mecânico ou movimentação do solo	Curto-circuito com possibilidade de extensão de danos e/ou acidente pessoal	Perda de suprimento, Acidentes pessoais e danificação de outros equipamentos
BARRA 230 KV	Isoladores	Curto circuito	Perda de isolamento de isoladores de pedestal e/ou de amarração	Explosão	Perda do(s) equipamento(s) afetado(s) com possibilidade de extensão de danos
BARRA 230 KV	Isoladores	Danificação de conexão	Folga, corrosão ou trinca	Curto-circuito com possibilidade de extensão de danos e/ou acidente pessoal	Perda de suprimento, Acidentes pessoais e danificação de outros equipamentos
BARRA 230 KV	TPC	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	sinalização (27) errada, perda da função sincronismo e subfreqüência	Deficiência do sistema de proteção
BARRA 230 KV	TPC	Corrosão	Poluição atmosférica	Danificação total ou parcial do TPC	
BARRA 230 KV	TPC	Curto-circuito enrolamento(s) secundário(s)	Falha interna no isolamento	Danificação do TPC e recusa ou atuação indevida da proteção	Perda da barra de 69 kV
BARRA 230 KV	TPC	Descarga parcial	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
BARRA 230 KV	TPC	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da barra	
BARRA 230 KV	TPC	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
BARRA 230 KV	TPC	Perda de isolamento	Falha interna ou agente externo	Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda da linha e/ou do suprimento

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
BARRA 69 kV	Barramento	Danificação de conexão	Folga, corrosão ou trinca	Curto-circuito com possibilidade de extensão de danos e/ou acidente pessoal	Perda de suprimento, Prejuízos financeiros, Acidentes pessoais e Danificação de outros equipamentos
BARRA 69 kV	Barramento	Danificação dos cabos	Choque mecânico	Acidentes com pessoas e desligamento da barra	Perda de suprimento, Prejuízos financeiros, Acidentes pessoais e Danificação de outros equipamentos
BARRA 69 kV	Barramento	Tombamento	Fadiga das ferragens de amarração ou choque mecânico	Acidentes com pessoas e desligamento da barra da barra	
BARRA 69 kV	Estruturas metálicas	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	
BARRA 69 kV	Estruturas metálicas	Tombamento	má fixação, choque mecânico ou movimentação do solo	Curto-circuito com possibilidade de extensão de danos e/ou acidente pessoal	Perda de suprimento, Prejuízos financeiros, Acidentes pessoais e Danificação de outros equipamentos
BARRA 69 kV	Isoladores	Curto circuito	Perda de isolamento de isoladores de pedestal e/ou de amarração	Explosão	Perda do(s) equipamento(s) afetado(s) com possibilidade de extensão de danos
BARRA 69 kV	Isoladores	Danificação de conexão	Folga, corrosão ou trinca	Curto-circuito com possibilidade de extensão de danos e/ou acidente pessoal	Perda de suprimento, Prejuízos financeiros, Acidentes pessoais e Danificação de outros equipamentos
BARRA 69 kV	TP	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Atuação indevida ou recusa da proteção	Perda de suprimento ou confiabilidade
BARRA 69 kV	TP	Corrosão	Poluição atmosférica	Danificação total ou parcial do TP	
BARRA 69 kV	TP	Curto-circuito enrolamento(s) secundário(s)	Falha interna no isolamento	Danificação do TP e recusa ou atuação indevida da proteção	Perda da barra de 69 kV
BARRA 69 kV	TP	Descarga parcial	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
BARRA 69 kV	TP	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da barra	
BARRA 69 kV	TP	Perda de isolamento	Falha interna ou agente externo	Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda da linha e/ou do suprimento
BC 69 KV	Banco de Capacitores	Curto circuito interno	Falha de isolamento	Explosão	Perda parcial ou total do BC
BC 69 KV	Banco de Capacitores	Vazamento de askarel	Trinca ou explosão	Acidentes com pessoas e dano ambiental	
BC 69 KV	Chave seccionadora	Arco elétrico	Desajuste dos contatos primários	Desgaste da chave por arco elétrico	Perda de suprimento
BC 69 KV	Chave seccionadora	Curto circuito	Perda de isolamento na porcelana	Danificação parcial ou total da chave	Desligamento do transformador ou barra associada

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
BC 69 KV	Chave seccionadora	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste dos contatos auxiliares ou quebra da haste	Falha na sinalização	
BC 69 KV	Chave seccionadora	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do BC	
BC 69 KV	Chave seccionadora	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
BC 69 KV	Chave seccionadora	Queda da chave	Falha na fixação da chave	Perda da barra	Perda de suprimento e acidente com pessoas
BC 69 KV	Chave seccionadora - 6	Curto circuito na cabeção	Entrada de umidade ou animais na caixa de passagem da fiação eletrodutos	Desligamento do BC	Deficiência de regulação
BC 69 KV	Disjuntor	Atuação indevida da proteção intrínseca	Desajuste ou curto circuito interno	Desligamento indevido do equipamento	
BC 69 KV	Disjuntor	Curto circuito	Falha interna	Explosão da câmara e coluna	Danificação do equipamento
BC 69 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeção ou fiação	Terminais da fiação expostos no armário de comando	Atuação indevida ou recusa da proteção	
BC 69 KV	Disjuntor	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuação indevida ou recusa da proteção	
BC 69 KV	Disjuntor	Desajuste no mecanismo de acionamento	Acomodação ou falha de manutenção	Inoperância ou recusa de operação do disjuntor	
BC 69 KV	Disjuntor	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do disjuntor	
BC 69 KV	Disjuntor	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
BC 69 KV	Disjuntor	Rompimento de tubulação de alta pressão de óleo	Choque físico ou danificação do material	Desligamento do disjuntor e perda de óleo e dano ambiental	Deficiência de regulação
BC 69 KV	Disjuntor	Vazamento de gás SF6	Deterioração do material/gaxetas	desligamento do disjuntor	Deficiência de regulação e dano ambiental
BC 69 KV	Reator Limitador	Curto circuito na coluna isoladora	Falha de isolamento	Desligamento do BC	Deficiência de regulação
BC 69 KV	Reator Limitador	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento do BC	Deficiência de regulação
BC 69 KV	TC	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Danificação do TC e desligamento do BC 69 kV	Perda de suprimento
BC 69 KV	TC	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Perda da barra

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
BC 69 KV	TC	Curto circuito na cabeaço	Entrada de umidade ou animais na caixa de passagem da fiaço eletrodutos	Desligamento do BC	Deficiêcia de regulaço
BC 69 KV	TC	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do BC	Perda da barra ou do BC
BC 69 KV	TC	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
BC 69 KV	TC	Perda de isolamento	descargas parciais ou contaminaço óleo	perda da barra	
BC 69 KV	TC de Neutro	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Danificaço do TC e desligamento do BC 69 kV	Perda do BC
BC 69 KV	TC de Neutro	Curto circuito	Falha interna	Explosão	perda do BC
BC 69 KV	TC de Neutro	Curto circuito na cabeaço	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiaço eletrodutos	Desligamento do BC	Deficiêcia de regulaço
BT 230 KV E 69 KV	Chaves seccionadoras	Curto circuito na cabeaço	Entrada de umidade e animais no armário e eletrodutos	Atuaço indevida ou recusa da proteço	
BT 230 KV E 69 KV	Chaves seccionadoras	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuaço indevida ou recusa da proteço	
BT 230 KV E 69 KV	Chaves seccionadoras	Desajuste dos contatos primários	Acomodaço ou fragilidade do material	Desgaste da chave por arco elétrico	Perda de suprimento
BT 230 KV E 69 KV	Chaves seccionadoras	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
BT 230 KV E 69 KV	Chaves seccionadoras	Falha na fixaço da chave	Parafusos folgados ou quebra	Queda da chave e perda da barra	Perda de suprimento e acidente com pessoas
BT 230 KV E 69 KV	Chaves seccionadoras	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
BT 230 KV E 69 KV	Chaves seccionadoras	Perda de isolamento na porcelana	poluiço atmosférica	Danificaço parcial ou total da chave	
BT 230 KV E 69 KV	Chaves seccionadoras	Quebra da haste	Fragilidade da estrutura	Atuaço indevida ou recusa da proteço	
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Atuaço indevida da proteço intrínseca	Desajuste ou curto circuito interno	Desligamento indevido do equipamento	
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Curto circuito	Falha interna	Explosão da câmara e coluna	Danificaço do equipamento
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeaço ou fiaço	Terminais da fiaço expostos no armário de comando	Atuaço indevida ou recusa da proteço	
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuaço indevida ou recusa da proteço	

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Desajuste no mecanismo de acionamento	Acomodação ou falha de manutenção	Inoperância ou recusa de operação do disjuntor	
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do disjuntor	
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Rompimento de tubulação de alta pressão de óleo	Choque físico ou danificação do material	Desligamento do disjuntor e sobrecarga nos demais transformadores e perda de óleo e danos ambientais	Acidente com pessoas
BT 230 KV E 69 KV	Disjuntor	Vazamento de gás SF6	Deterioração do material/gaxetas	Dano ambiental e perda de funcionalidade do disjuntor	
CT 69 KV	Chaves seccionadoras	Arco elétrico	Desajuste dos contatos primários	Desgaste da chave por arco elétrico	Perda de suprimento
CT 69 KV	Chaves seccionadoras	Curto circuito	Perda de isolamento na porcelana	Danificação parcial ou total da chave	Desligamento do transformador ou barra associada
CT 69 KV	Chaves seccionadoras	Curto circuito na cabeção	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiação eletrodutos	Perda de sinalização e de comutação a distância	Deficiência na operação
CT 69 KV	Chaves seccionadoras	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 69 KV	Chaves seccionadoras	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69 KV	Chaves seccionadoras	Queda da chave	Falha na fixação da chave	Perda da barra	Perda de suprimento e acidente com pessoas
CT 69 KV	Chaves seccionadoras-6	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste dos contatos auxiliares ou quebra da haste	Atuação indevida ou recusa da proteção	
CT 69 KV	Disjuntor	Aproximação da Fase	Pulo baixo da chave-5 para o disjuntor	Desligamento da barra 69 kV e choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69 KV	Disjuntor	Curto circuito	Falha interna	Explosão da câmara e coluna	Danificação do equipamento
CT 69 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeção ou fiação	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiação eletrodutos	Desligamento do trafo	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 69 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeção ou fiação	Terminais da fiação expostos no armário de comando	Desligamento do transformador	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 69 KV	Disjuntor	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuação indevida ou recusa da proteção	



SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
CT 69 KV	Disjuntor	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do disjuntor	
CT 69 KV	Disjuntor	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69 KV	Disjuntor	Recusa de operação do disjuntor	Desajuste no mecanismo de acionamento	Perda do disjuntor parcial ou total e desligamento da barra	
CT 69 KV	PR	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
CT 69 KV	PR	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69 KV	PR	Perda de isolamento		Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda do transformador e/ou do suprimento
CT 69 KV	TC	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Danificação do TC e desligamento do trafo	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 69 KV	TC	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Desligamento do disjuntor e/ou perda da barra
CT 69 KV	TC	Curto circuito	Falha interna	Explosão TP (04T4)	Danificação do equipamento TP e TC
CT 69 KV	TC	Curto circuito na cabeção	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiação eletrodutos	Desligamento do trafo	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 69 KV	TC	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 69 KV	TC	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69 KV	TC	Perda de isolamento			
CT 69 KV	TP (04T4)	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Atuação indevida ou recusa da proteção e perda da medição	Desligamento do trafo 04T4 e sobrecarga nos demais
CT 69 KV	TP (04T4)	Curto circuito	Falha interna no TP	Explosão TC (04T4)	Danificação do equipamento TP e TC
CT 69 KV	TP (04T4)	Curto circuito na cabeção	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiação eletrodutos	Recusa ou atuação indevida da proteção	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 69 KV	TP (04T4)	Curto-circuito enrolamento(s) secundário(s)	Falha interna no isolamento	Danificação do TP e recusa ou atuação indevida da proteção	Perda do trafo 04T4 de 230 kV
CT 69 KV	TP (04T4)	Descarga parcial	Falha interna	Explosão	Danificação do TC e TP
CT 69 KV	TP (04T4)	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 69 KV	TP (04T4)	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69 KV	TP (04T4)	Perda de isolamento		Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda do transformador e/ou do suprimento e TC e TP

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
CT 230 KV	Chave seccionadora	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste dos contatos auxiliares ou quebra da haste	Atuação indevida ou recusa da proteção	
CT 230 KV	Chaves seccionadoras	Arco elétrico	Desajuste dos contatos primários	Desgaste da chave por arco elétrico	Perda de suprimento
CT 230 KV	Chaves seccionadoras	Atuação indevida da proteção	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiação	Desligamento do transformador	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 230 KV	Chaves seccionadoras	Curto circuito	Perda de isolamento na porcelana	Danificação parcial ou total da chave	Desligamento do transformador ou barra associada
CT 230 KV	Chaves seccionadoras	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 230 KV	Chaves seccionadoras	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 230 KV	Chaves seccionadoras	Queda da chave	Falha na fixação da chave	Perda da barra	Perda de suprimento e acidente com pessoas
CT 230 KV	Disjuntor	Atuação indevida da proteção intrínseca	Desajuste ou curto circuito interno	Desligamento indevido do equipamento	
CT 230 KV	Disjuntor	Curto circuito	Falha interna	Explosão da câmara e coluna	Danificação do equipamento
CT 230 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeção ou fiação	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiação eletrodutos	Desligamento do transformador	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 230 KV	Disjuntor	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do disjuntor	
CT 230 KV	Disjuntor	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 230 KV	Disjuntor	Recusa de operação do disjuntor	Desajuste no mecanismo de acionamento	perda do disjuntor parcial ou total e desligamento da barra	
CT 230 KV	Disjuntor	Rompimento de tubulação de alta pressão de óleo	Choque físico ou danificação do material	Desligamento do disjuntor e sobrecarga nos demais transformadores e perda de óleo e dano ambiental	Acidente com pessoas
CT 230 KV	Disjuntor	Vazamento de gás SF6	Deterioração do material/gaxetas	Dano ambiental e perda de funcionalidade do disjuntor	
CT 230 KV	PR	Curto circuito	Falha interna	Explosão TC 04T4	Danificação do equipamento
CT 230 KV	PR	Curto circuito	Falha interna	Explosão do PR e bucha do trafo	Danificação do equipamento e bucha
CT 230 KV	PR	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 230 KV	PR	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
CT 230 KV	PR	Perda de isolamento		Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda do transformador e/ou do suprimento
CT 230 KV	TC	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Danificação do TC e desligamento do trafo	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 230 KV	TC	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Desligamento do disjuntor e/ou perda da barra
CT 230 KV	TC	Curto circuito	Falha interna	Explosão PR ( 04T4)	Danificação do equipamento
CT 230 KV	TC	Curto circuito na cabeção	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiação eletrodutos	Desligamento do transformador	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 230 KV	TC	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 230 KV	TC	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 230 KV	TC	Perda de isolamento			
CT 230 KV	TPC (04T4)	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Atuação indevida ou recusa da proteção	Perda do transformador e sobrecarga nos demais transformadores
CT 230 KV	TPC (04T4)	Curto circuito na cabeção	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiação eletrodutos	Desligamento do transformador	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 230 KV	TPC (04T4)	Curto-circuito enrolamento(s) secundário(s)	Falha interna no isolamento	Danificação do TPC e recusa ou atuação indevida da proteção	Perda do trafo 04T4 de 230 kV
CT 230 KV	TPC (04T4)	Descarga parcial	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
CT 230 KV	TPC (04T4)	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 230 KV	TPC (04T4)	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 230 KV	TPC (04T4)	Perda de isolamento		Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda do transformador e/ou do suprimento
CT 69/13.8 KV AS	Chave seccionadora	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste dos contatos auxiliares ou quebra da haste	Falha na sinalização	
CT 69/13.8 KV AS	Chaves seccionadoras	Curto circuito	Perda de isolação na porcelana	Danificação parcial ou total da chave	Desligamento do transformador ou barra associada
CT 69/13.8 KV AS	Chaves seccionadoras	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69/13.8 KV AS	Chaves seccionadoras	Queda da chave	Falha na fixação da chave	Perda da barra	Perda de suprimento e acidente com pessoas

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Desligamento do disjuntor e/ou perda da barra
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Curto circuito	Falha interna	Explosão da câmara e coluna	Danificação do equipamento
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Curto circuito na cabeaço ou fiaço	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiaço eletrodutos	Desligamento do transformador	Sobrecarga nos demais transformadores
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Curto circuito na cabeaço ou fiaço	Terminais da fiaço expostos no armário de comando	Desligamento do transformador	
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuação indevida ou recusa da proteço	Perda da fonte
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do disjuntor	
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Perda de isolamento			
CT 69/13.8 KV AS	Disjuntor	Recusa de operação do disjuntor	Desajuste no mecanismo de acionamento	perda do disjuntor parcial ou total e desligamento da barra	
CT 69/13.8 KV AS	PR	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
CT 69/13.8 KV AS	PR	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
CT 69/13.8 KV AS	PR	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
CT 69/13.8 KV AS	PR	Perda de isolamento	Falha interna	Danificação do equipamento e atuação indevida da proteço	Perda do transformador e/ou do suprimento
CT 69/13.8 KV S.A	Chaves seccionadoras	Arco elétrico	Desajuste dos contatos primários	Desgaste da chave por arco elétrico	Perda de suprimento
CT 69/13.8 KV S.A	Disjuntor	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	desligamento do disjuntor e/ou perda da barra	Perda da fonte
EDF. OPERAC.	Cabana de mediço	Curto circuito na cabeaço/fiaço	Falha de isolamento ou ação externa	Incêndio	Perda parcial ou total do sistema de mediço
EDF. OPERAC.	Cabana de mediço	Mediço falsa	Falha de refrigeraço	Perda de qualidade de mediço	
EDF. OPERAC.	Cabanas de relés	Curto circuito na cabeaço/fiaço	Falha de isolamento ou ação externa	Incêndio	Perda parcial ou total do sistema de proteço e controle
EDF. OPERAC.	canaletas de cabos	Curto circuito na cabeaço/fiaço	Falha de isolamento ou ação externa	Incêndio	Perda parcial ou total do sistema de proteço e controle

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
EDF. OPERAC.	galeria de cabos (porão)	Curto circuito na cabeaço/fiaço	Falha de isolamento ou açáo externa	Incêndio	Perda parcial ou total do sistema de proteço e controle e/ou perda parcial ou total da sala de comando
EDF. OPERAC.	Sala de baterias	Acionamento da iluminaço	lâmpadas inadequadas	explosáo	Perda do banco de baterias e acidente com pessoas
EDF. OPERAC.	Sala de comando	Curto circuito na cabeaço/fiaço	Falha de isolamento ou açáo externa	Incêndio	Perda parcial ou total do sistema de proteço e controle, serviços auxiliares
EL 230 KV	Bobina de bloqueio	Curto circuito	Falha de isolamento	Desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 230 KV	Bobina de bloqueio	Falha na conexáo	Folga, corrosáo ou trinca	Curto circuito e desligamento da linha	
EL 230 KV	Chaves seccionadoras	Curto circuito na cabeaço	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem da fiaço eletrodutos	Desligamento de linha	Perda de confiabilidade
EL 230 KV	Chaves seccionadoras	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuaço indevida ou recusa da proteço	
EL 230 KV	Chaves seccionadoras	Desajuste dos contatos primários	Acomodaço ou fragilidade do material	Desgaste da chave por arco elétrico	Perda de suprimento
EL 230 KV	Chaves seccionadoras	Falha na conexáo	Folga, corrosáo ou trinca	Desligamento indevido da linha	
EL 230 KV	Chaves seccionadoras	Falha na fixaço da chave	Parafusos folgados ou quebra	Queda da chave e perda da barra	Perda de suprimento e acidente com pessoas
EL 230 KV	Chaves seccionadoras	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 230 KV	Chaves seccionadoras	Perda de isolaço na porcelana	poluiço atmosférica	Danificaço parcial ou total da chave	
EL 230 KV	Chaves seccionadoras	Quebra da haste	Fragilidade da estrutura	Atuaço indevida ou recusa da proteço	
EL 230 KV	Disjuntor	Curto circuito	Falha interna	Explosáo da câmara e coluna	Danificaço do equipamento
EL 230 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeaço ou fiaço	Entrada de umidade e animais no armário e eletrodutos	Desligamento de linha	Perda de confiabilidade
EL 230 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeaço ou fiaço	Terminais da fiaço expostos no armário de comando	Atuaço indevida ou recusa da proteço	
EL 230 KV	Disjuntor	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuaço indevida ou recusa da proteço	

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
EL 230 KV	Disjuntor	Desajuste no mecanismo de acionamento	Acomodação ou falha de manutenção	Inoperância ou recusa de operação do disjuntor	
EL 230 KV	Disjuntor	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do disjuntor	
EL 230 KV	Disjuntor	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 230 KV	Disjuntor	Rompimento de tubulação de alta pressão de óleo	Choque físico ou danificação do material	Desligamento do disjuntor e sobrecarga nos demais transformadores e perda de óleo e danos ambientais	Acidente com pessoas
EL 230 KV	Disjuntor	Vazamento de gás SF6	Deterioração do material/gaxetas	Dano ambiental e perda de funcionalidade do disjuntor	
EL 230 KV	TC	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Danificação do TC e/ou desligamento da barra 230 kV	Perda de suprimento
EL 230 KV	TC	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Danificação do TC e perda da linha e/ou barra
EL 230 KV	TC	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da linha	
EL 230 KV	TC	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 230 KV	TC	Perda de isolamento			
EL 230 KV	TPC	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Atuação indevida ou recusa da proteção e perda da medição	Desligamento da barra para defeito na linha
EL 230 KV	TPC	Curto circuito	Falha interna	Explosão TPC	Danificação do equipamento
EL 230 KV	TPC	Curto-circuito enrolamento(s) secundário(s)	Falha interna no isolamento	Danificação do TPC e recusa ou atuação indevida da proteção	Perda da linha de 230 kV
EL 230 KV	TPC	Descarga parcial	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
EL 230 KV	TPC	Descarga parcial	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
EL 230 KV	TPC	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da linha	
EL 230 KV	TPC	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da linha	
EL 230 KV	TPC	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 230 KV	TPC	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 230 KV	TPC	Perda de isolamento		Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda da linha e/ou do suprimento
EL 230 KV	TPC	Perda de isolamento		Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda do transformador e/ou do suprimento

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
EL 69 KV	Chaves seccionadoras	Desajuste dos contatos primários	Acomodação ou falha de manutenção	Desgaste da chave por arco elétrico	Perda de suprimento
EL 69 KV	Chaves seccionadoras	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da linha	
EL 69 KV	Chaves seccionadoras	Falha na fixação da chave	Parafusos folgados ou quebra	Queda da chave e perda da barra	Perda de suprimento e acidente com pessoas
EL 69 KV	Chaves seccionadoras	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 69 KV	Chaves seccionadoras	Perda de isolamento na porcelana	poluição atmosférica	Danificação parcial ou total da chave	
EL 69 KV	Chaves seccionadoras	Quebra da haste	Fragilidade da estrutura	Falha na sinalização	
EL 69 KV	Disjuntor	Curto circuito	Falha interna	Explosão da câmara e coluna	Danificação do equipamento
EL 69 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeção ou fiação	Entrada de umidade e animais no armário e eletrodutos	Desligamento de linha	Perda de suprimento
EL 69 KV	Disjuntor	Curto circuito na cabeção ou fiação	Terminais da fiação expostos no armário de comando	Atuação indevida ou recusa da proteção	
EL 69 KV	Disjuntor	Curto circuito ou descontinuidade na chave de contatos auxiliares	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuação indevida ou recusa da proteção	
EL 69 KV	Disjuntor	Desajuste no mecanismo de acionamento	Acomodação ou falha de manutenção	Inoperância ou recusa de operação do disjuntor	
EL 69 KV	Disjuntor	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do disjuntor	
EL 69 KV	Disjuntor	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 69 KV	PR	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
EL 69 KV	PR	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 69 KV	PR	Perda de isolamento		Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda do transformador e/ou do suprimento
EL 69 KV	TC	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Danificação do TC e/ou desligamento da barra 69 kV	Perda de suprimento
EL 69 KV	TC	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Danificação do TC e perda da linha e/ou barra
EL 69 KV	TC	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da linha	

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
EL 69 KV	TC	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 69 KV	TC	Perda de isolamento			
EL 69 KV	TC faturamento	Abertura circuitos secundários	Falha na conexão ou fio solto	Danificação do TC e desligamento da linha	Perda de suprimento
EL 69 KV	TC faturamento	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento e desligamento da linha
EL 69 KV	TC faturamento	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da linha	
EL 69 KV	TC faturamento	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
EL 69 KV	TC faturamento	Perda de isolamento		Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda da linha e/ou do suprimento
PAINÉIS	Painéis da sala de comando	Abertura indevida do disjuntor	Choque físico parte da frente ou de trás	Desligamento do equipamento associado	Perda de suprimento ou de confiabilidade
PAINÉIS	Painéis da sala de comando	Curto circuito na cabeaço ou fiação	Entrada de umidade e animais na passagem de cabos	Desligamento de linha ou trafo e perda da medição operacional	Perda de suprimento ou de confiabilidade
PAINÉIS	Painéis da sala de comando	Curto circuito na cabeaço ou fiação	Falha de isolamento ou ação externa	Desligamento do equipamento associado e perda da medição operacional	Perda de suprimento ou de confiabilidade
PAINÉIS	Painéis da sala de comando	Curto circuito na cabeaço/fiação	Falha de isolamento ou ação externa	Incêndio	Perda parcial ou total do sistema de proteção e controle, serviços auxiliares
PAINÉIS	Painéis da sala de comando	Desarme indevido de disjuntor	Erro de manobra durante perturbação	Desligamento do equipamento associado	Perda de suprimento ou de confiabilidade
PAINÉIS	Painéis da sala de comando	Desarme indevido de disjuntor	Manuseio errado da chave de controle ou de transferência	Desligamento do equipamento associado	Perda de suprimento ou de confiabilidade
S. A. AC	Chave fusível fonte CHESF ou CELPE	Curto circuito	Falha de isolamento	Explosão	Perda da fonte
S. A. AC	Chave fusível fonte CHESF ou CELPE	Queima do elo indevidamente	subdimensionamento	Perda da fonte correspondente	
S. A. AC	Grupo gerador	Curto circuito na cabeaço/fiação	Falha de isolamento ou ação externa	incêndio	Perda parcial ou total da fonte auxiliar e danificação do GGE
S. A. AC	Grupo gerador	Falha no funcionamento	Falha interna, falta de combustível, bateria descarregada ou excitação	Perda de alimentação de cargas essenciais	Sobrecarga nos transformadores e suprimeto a SE
S. A. AC	Grupo gerador	sobrecarga	Excesso de carga	Perda da funcionalidade do GGE	perda de transformadores
S. A. AC	Painéis AC	Curto circuito na cabeaço/fiação	Falha de isolamento ou ação externa	incêndio	Danificação dos painéis e/ou sala de comando



SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
S. A. AC	Painéis AC	Desligamento indevido de carga auxiliar	Choque físico	perda de alimentação de carga associada	
S. A. AC	Painéis AC	Perda da barra AC	Falha na comutação de barras	Sobrecarga nos transformadores	
S. A. AC	Painéis AC	Perda de alimentação	manobra errada	perda de alimentação	
S. A. AC	istema AC	Não funciona	perda do GGE		
S. A. AC	Trafos fonte CHESF ou CELPE	Corrosão	Poluição atmosférica	Danificação total ou parcial do trafo	
S. A. AC	Trafos fonte CHESF ou CELPE	Curto circuito na cabeção/fiação	Falha de isolamento ou ação externa	Incêndio	Danificação do transformador
S. A. AC	Trafos fonte CHESF ou CELPE	Descarga parcial	Perda de isolamento e/ou falha interna	Explosão de bucha	Desligamento do equipamento e perda da bucha
S. A. AC	Trafos fonte CHESF ou CELPE	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
S. A. AC	Trafos fonte CHESF ou CELPE	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
S. A. AC	Trafos fonte CHESF ou CELPE	Perda de isolamento em bucha	poluição atmosférica	Desligamento do equipamento e perda da bucha por descarga elétrica	Sobrecarga nos demais transformadores
S. A. AC	Trafos fonte CHESF ou CELPE	Vazamento de óleo	Deterioração do material/gaxetas	Prejuízo ambiental e/ou perda do equipamento	
S. A. DC	Baterias	Concentração de gases	Falha na exaustão	Explosão	Perda dos sistemas de proteção e controle
S. A. DC	Baterias	Rompimento de polos	Falha na conexão por corrosão	Perda dos sistemas de proteção e controle	Perda da subestação
S. A. DC	Baterias	Vazamento de eletrólito	má vedação ou trinca	Acidentes com pessoas e dano ambiental	
S. A. DC	Cabeção	Curto circuito	Atrito ou falha no isolamento	Perda dos sistemas de proteção e controle	Perda da subestação
S. A. DC	Cabeção	Rompimento de cabos	Esforço mecânico	Perda dos sistemas de proteção e controle	Perda da subestação
S. A. DC	Painéis de distribuição	Desligamento indevido de carga auxiliar	Choque físico	perda de proteção associada	
S. A. DC	Painéis de distribuição	Recusa da proteção	Falha na comutação de barras	Perda dos sistemas de proteção e controle	
S. A. DC	Painéis de distribuição	Recusa ou atuação indevida da proteção	manobra errada	perda de proteção associada	
S. A. DC	Retificador	Bloqueio de função	Falha em componentes internos	Perda de função	Descarregamento das baterias

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
S. A. DC	Retificador	Desligamento sem sinalização	Falha de supervisão/controle	Operação das baterias isoladas por longo período	
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Atuação indevida da proteção	Entrada de umidade e animais na caixa de passagem/armário da fiação e eletrodutos	Saída do transformador	Sobrecarga nos demais transformadores e perdas financeiras
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Atuação indevida da proteção intrínseca	Desajuste ou curto circuito interno	Desligamento indevido do equipamento	
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Corrosão	Poluição atmosférica	Danificação total ou parcial do trafo	
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Curto circuito	Falha interna no pára raio	Explosão de PR 230 kV associado ao 04T4	Danificação do TC associado e PR
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Curto circuito	Falha interna no pára raio	Explosão de PR 230 kV associados (04T1, T2 e T3)	Danificação do transformador e PR
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Curto circuito	Perda de isolamento e/ou falha interna	Explosão de bucha	Desligamento do equipamento e perda da bucha
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Curto circuito na cabeção/fiação	Falha de isolamento ou ação externa	Incêndio	Danificação e extensão de danos para cabana de relés
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	curto-circuito no armário de refrigeração	Terminais da fiação expostos no armário de comando ventiladores	Choque elétrico e perda de refrigeração	Acidente com pessoas
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Espalhamento de óleo quando de explosão	Obstrução entre caixa de contenção e a separadora	Danificação dos equipamentos próximos	
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Falha na conexão	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido do trafo	
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Falha no comutador	Falha interna	Desligamento do transformador	
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Fuga de corrente no neutro	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidente com pessoas
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Perda de isolamento em bucha	poluição atmosférica	Desligamento do equipamento e perda da bucha por descarga elétrica	Sobrecarga nos demais transformadores
TRAFO 230/69 KV	Trafo 230/69 kV	Vazamento de óleo	Deterioração do material/gaxetas	Prejuízo ambiental e/ou perda do equipamento	
TRAFO TERRA	TRAFO	Atuação indevida da proteção intrínseca	Desajuste ou curto circuito interno	Desligamento indevido do equipamento	
TRAFO TERRA	TRAFO	Corrosão	Poluição atmosférica	Danificação total ou parcial do trafo	
TRAFO TERRA	TRAFO	Curto circuito	Falha interna	Explosão	Danificação do equipamento
TRAFO TERRA	TRAFO	Curto circuito	Perda de isolamento e/ou falha interna	Explosão de bucha	Desligamento do equipamento e perda da bucha
TRAFO TERRA	TRAFO	Curto circuito na cabeção	Entrada de umidade e animais no armário e eletrodutos	Desligamento da barra	Perda de suprimento
TRAFO TERRA	TRAFO	curto-circuito no armário do 220V (02A1)	Terminais da fiação expostos	Choque elétrico	Acidente com pessoas

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQUÊNCIAS/IMPACTOS
TRAFO TERRA	TRAFO	Falha na conexão de alta e na de neutro	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido da barra	
TRAFO TERRA	TRAFO	Perda de isolamento em bucha	poluição atmosférica	Desligamento do equipamento e perda da bucha por descarga elétrica	Sobrecarga nos demais transformadores
TRAFO TERRA	TRAFO	Vazamento de óleo	Deterioração do material/gaxetas	Prejuízo ambiental e/ou perda do equipamento	

### 7.5. Avaliação de riscos gerais da Subestação de Mirueira

A partir dos registros dos modos de falhas para os sistemas de proteção e equipamentos da subestação de Mirueira, conforme indicado nas tabelas de FMEA, a equipe elaborou uma nova planilha com os itens considerados mais significativos agregando outros itens de forma que esse agrupamento de informações simplificasse o estudo considerando a importância de reduzir a quantidade de riscos para se ter uma visão gerencial sobre os casos mais críticos. Nesse sentido foram selecionados aqueles itens significativos avaliados a partir de uma análise com os membros da equipe. Esses novos itens foram analisados e seus riscos quantificados em termos de frequência e severidade. Tendo em vista que incidência de ocorrência de alguns itens é muito pequena e em alguns casos não se tem registro de ocorrências, a avaliação de frequência foi feita utilizando o conhecimento dos especialistas a partir das experiências destes e histórico de casos similares na CHESF ou em outras empresas de eletricidade. Após a análise e quantificação dos riscos, foram sugeridas medidas de correção visando eliminar ou reduzir a classe de riscos constatados.

Para a quantificação dos riscos foi considerada a seguinte classificação de riscos:

**Tabela 7.3 – Classificação dos riscos SE Mirueira**

CLASSE	SIGLA	DEFINIÇÕES
Muito Grave	MG	Ações urgentes devem ser tomadas para reduzir o risco para o nível de, no mínimo, tolerável.
Grave	G	Necessário um plano de ação detalhado para reduzir o risco ao nível de, no mínimo, tolerável.
Tolerável	T	Gerenciar o risco para mantê-lo sob controle através de práticas adequadas.
Baixo	B	Gerenciar através de práticas adequadas.
Muito Baixo	MB	Nenhuma ação é necessária.

A planilha resultante com as identificações dos riscos inerentes e residuais (após a efetivação de medidas sugeridas) está indicada a seguir:

Tabela 7.4 – Pontuação dos riscos SE Mirueira

ITEM	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITOS IMEDIATOS	CONSEQÜÊNCIAS/IMPACTOS							Após Plano de Ação		
					Inerente			Residual			IF	IG	CLASSE
01	Estocagem de bauxita impregnada de óleo/ <b>ÁREA FÍSICA</b>	Instalações inadequadas	Contaminação do meio ambiente (solo e lençol freático).	Degradação do meio ambiente, multas e imagem da empresa	4,3	3,9	MG	4,3	3,9	MG	1,0	1,0	MB
02	Vulnerabilidade/ <b>SE</b>	Muro baixo, área densamente povoada e vigilância deficiente	Vandalismo e presença de pessoas estranhas na subestação	Acidente com terceiros, danos aos equipamentos e roubos	4,3	4,4	MG	4,3	4,4	MG	2,0	3,0	B
03	Sobrecarga em contingência/ <b>B.230</b>	Inclusão de suprimento de GNN e CGD através de MRR	Sobreaquecimento	Perda da barra	2,8	3,7	G	2,8	3,7	G	2,0	2,0	B
04	Queda dos cabos de blindagem/ <b>EQUIPOS E B.230.</b>	Trinca, folga e corrosão nas conexões	Acidentes e desligamento da barra ou equipamentos	Danificação de equipamentos e/ou lesões com pessoas	2,8	4,4	G	2,0	4,4	T	1,0	4,4	T
05	Curto circuito em isoladores/ <b>B.230</b>	Perda de isolamento de isoladores de pedestal e/ou de amarração	Danificação de isoladores	Perda da barra	3,1	4,2	G	2,0	4,2	T	-	-	-
06	Perda de isolamento de TPC/ <b>B.230</b>	Falha interna ou agente externo	Danificação do equipamento	Perda da barra	2,7	4,0	G	2,5	4,0	G	2,0	4,0	T
07	Abertura circuitos secundários do TP/ <b>B.230</b>	Falha interna ou agente externo	Atuação indevida da proteção	Perda da barra	2,3	4,0	T	-	-	-	-	-	-
08	Abertura circuitos secundários do TP/ <b>B.69</b>	Falha na conexão ou fio solto	Atuação indevida ou recusa da proteção	Perda de suprimento ou confiabilidade	2,3	3,7	T	-	-	-	-	-	-

09	Curto-circuito enrolamento secundário do TP/ <b>B.69</b>	Falha interna ou agente externo	Danificação do TP e recusa ou atuação indevida da proteção	Perda da barra de 69 kV	2,3	3,8	T	-	-	-	-	-	-
10	Falha na conexão primária do TP/ <b>B.69</b>	Folga, corrosão ou trinca	Desligamento indevido de LT's	Perda de Carga	2,2	3,5	T	-	-	-	-	-	-
11	Perda de isolamento TP/ <b>B.69</b>	Falha interna ou agente externo	Danificação do equipamento e atuação indevida da proteção	Perda da barra	2,5	4,0	G	2,5	4,0	G	2,0	4,0	T
12	Curto circuito em isoladores/ <b>B.69</b>	Perda de isolamento de isoladores de pedestal e/ou de amarração	Danificação de isoladores	Perda da barra	3,1	4,2	G	2,5	4,0	G	2,0	2,0	B
13	Vazamento de askarel/ <b>ÁREA BC.69</b>	Trinca ou explosão em células capacitivas	Contaminação do meio ambiente e acidente com pessoas	Degradação do meio ambiente e lesões	3,9	3,6	MG	3,0	3,6	G	3,0	3,6	G
14	Desligamento de linha ou trafo/ <b>DISJ. BT.230</b>	Indisponibilidade do disjuntor de transf.	Desenergizar parte da SE	Impossibilidade de manutenção	4,7	3,6	MG	4,7	3,6	MG	1,0	1,0	MB
15	Descontinuidade na chave de contatos auxiliares das chaves seccionadoras 32A1-8 e 32A2-8/ <b>B.69</b>	Desajuste da chave de contatos auxiliares	Atuação indevida ou recusa da proteção	Perda da barra	3,7	3,2	G	3,0	3,0	T	1,0	1,0	MB
16	Proximidade excessiva entre os TPI's e TC's da CT/69-Trafo 04T4	Falha interna	Perda simultânea dos TPI's e TC's	Desligamento do trafo ou barra de 69 kV	3,0	3,0	G	3,0	3,0	G	1,0	1,0	MB
17	Curto circuito no pára raios/ <b>TRAFOS 04T1/T2 e T3 da CT.230</b>	Falha interna	Explosão do PR	Danificação do pára raios, bucha do trafo e perda da barra	2,6	5,0	MG	2,0	5,0	G	1,0	1,0	MB
18	Curto circuito no PR da CT.230	Falha interna	Explosão TC e PR	Danificação do TC, pára raios (04T4) e perda da barra	2,5	3,5	G	2,5	3,5	G	1,0	1,0	MB
19	Choque elétrico/ <b>CT.69, Trafos e Auxiliares</b>	Deslocamento de pessoas sob a CT	Lesão e desligamento de equipamento	Lesão e desligamento de equipamento	2,5	4,1	G	2,5	4,1	G	1,0	1,0	MB

## CAPÍTULO 7

## APÊNDICE

20	Soltura de pulsos por falha em conexões/CT, B.e EL.230-69	Trinca, folga e corrosão	Acidentes e desligamento da barra ou equipamentos	Danificação de equipamentos e/ou lesões com pessoas	3,0	4,3	G	2,5	4,0	G	1,0	4,0	B
21	Fuga de corrente no neutro em PR, TP, TC e TPC/ CT, B.e EL.230-69	Aterramento deficiente	Choque elétrico	Acidentes com pessoas	2,1	4,3	T	-	-	-	-	-	-
22	Curto circuito na cabeção/fiação/ PORÃO-GALERIA CABOS	Falha de isolamento ou ação externa	Incêndio/Desligamento	Perda parcial ou total do sistema de proteção e controle e/ou perda parcial ou total da sala de comando	3,7	4,1	MG	3,7	4,1	MG	2,0	3,0	B
23	Curto circuito na cabeção/fiação/ SALA COMANDO	Falha de isolamento ou ação externa	Incêndio/Desligamento	Perda parcial ou total do sistema de proteção e controle, serviços auxiliares	3,6	4,1	MG	3,0	4,0	G	2,0	2,0	B
24	Atuação indevida do relé principal/ EL.230	Mau desempenho do relé	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade	3,0	3,2	T	-	-	-	-	-	-
25	Rompimento de tubulação de alta pressão de óleo hidráulico do disjuntor/EL.-CT.230 e BC.-CT.69	Choque físico ou danificação do material	Desligamento do disjuntor e lesões	Desligamento de equipamentos	2,0	3,2	B	-	-	-	-	-	-
26	Curto circuito na cabeção ou fiação/ ARMÁRIOS PÁTIOS	Entrada de umidade e animais na passagem de cabos	Desligamento de linha ou trafo e perda da medição operacional	Perda de confiabilidade	3,6	3,1	G	3,0	3,0	T	2,0	3,0	B
27	Acesso direto ao pátio de equipamentos	Deficiência de sinalização ou de isolamento da área de risco	Acidentes pessoais e/ou desligamento de equipamento	Lesões e/ou desligamento	4,2	3,9	MG	4,2	3,9	MG	1,0	1,0	MB
28	Vulnerabilidade da vigilância	Estratégia de vigilância inadequada	Acidentes pessoais e/ou danos à instalação	lesões e/ou desligamento	4,3	4,6	MG	4,3	4,6	MG	2,0	3,0	B

29	Penetração de umidade/ <b>DISJ.- TP.TC.</b>	Redução de estanqueidade e de controle de manutenção para TP e TC	Explosão	Desligamento da linha ou trafo	3,0	3,1	T	-	-	-	-	-	-
30	Atuação indevida/ <b>COMPONENTES PROTEÇÃO - PAINÉIS-CHASSIS</b>	Choque físico, falha de refrigeração	Desligamento da linha	Perda de confiabilidade	3,0	3,4	T	-	-	-	-	-	-
31	Curto circuito na cabeção ou fiação/ <b>PAINÉIS-CHASSIS SALA COMANDO</b>	Entrada de animais na passagem de cabos	Desligamento de linha ou trafo e perda da medição operacional	Perda de suprimento ou de confiabilidade	3,3	3,4	T	-	-	-	-	-	-
32	Perda da barra AC/ <b>SA. AC.</b>	Barra única	Indisponibilidade do Serv. Auxiliares	Sobrecarga nos transformadores	2,0	3,2	B	-	-	-	-	-	-
33	Concentração de gases/ <b>SA.DC. - BATERIAS</b>	Falha na exaustão e instalações elétricas não blindadas	Explosão	Perda dos sistemas de proteção e controle e acidentes com pessoas	2,6	4,4	G	2,0	4,4	T	1,0	4,0	T
34	Desligamento do disjuntor de interligação/ <b>SA.DC. - BATERIAS</b>	Falha interna ou na cabeção	Perda dos sistemas de proteção e controle	Perda da subestação	2,4	4,0	T	-	-	-	-	-	-
35	Funcionamento errado/ <b>SA.DC. - RETIFICADOR</b>	Falha em componentes internos	Perda de função	Descarregamento das baterias	3,2	3,3	T	-	-	-	-	-	-
36	Curto circuito na cabeção/fiação/ <b>TRAFO 230-69</b>	Falha de isolamento ou ação externa	Desligamento do equipamento	Sobrecarga nos demais transformadores	2,8	3,2	T	-	-	-	-	-	-
37	Curto circuito interno/ <b>TRAFO 230-69</b>	Falha de isolamento	Incêndio	Danificação e extensão de danos para cabana de relés	1,9	4,0	T	-	-	-	-	-	-
38	Perda de isolamento em bucha do terciário/ <b>TRAFO 230-69</b>	Perda do isolamento do terminal	Desligamento do equipamento e perda da bucha por descarga elétrica	Sobrecarga nos demais transformadores	2,8	3,5	G	2,0	3,0	B	1,0	3,0	B



# CAPÍTULO 8

## Referências bibliográficas

ALADON, *Gerenciamento da Manutenção*, Publicação elaborada para apresentação de Metodologia RCM II pela SPES Engenharia de Sistemas Ltda, Recife, 2002.

ALMEIDA,A,T. et al, *Gestão da Manutenção na Direção da Competitividade*, UFPE, 2001.

ALMEIDA,A,T, *Critérios para estabelecimento de índices e níveis de desempenho operacional*. In: X Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Brasil, 1989.

ALMEIDA,R.R., *Gerência de Riscos- O Desafio*, UFPE, 1996.

ANDERS,G.J., ENDRENYL,J.,LEITE DA SILVA,A.M., *Probabilistic Evaluation of the Effect of Maintenance on Reliability - An Application*. , IEEE, Transaction, 1997.

ANDERS,G.J., *Probability Concepts in Electric Power Systems*, Jonh Wiley & Sons, 1990.

ANDERSON,P.M. & AGARWAL, S.K., *An Improved Model for Protective-System Reliability*, IEEE, Transaction, 1992.

BALL, D.J, FLOYD, P.J., *Societal Risks*, HSE,UK, 1998, *apud* FANTAZZINI,M.L. & SERPA,R.R., *Aspectos Gerais de Segurança e Elementos de Gerência de Riscos*, ITSEMAP, 2002.

BARROS FILHO,L.C., *Modelos de Decisão Aplicados à Avaliação da Mantabilidade*, Dissertação de mestrado, UFPE, 1995.

BEEHLER,M.E., *Reliability Centered Maintenance for Transmission Systems*, IEEE, Transaction, 1996

BERTLING,L., ERIKSSON,R.,ALLAN,R.N., *Relation Between Preventive Maintenance an Reliability for a Cost-effective distribution System*, , IEEE, Transaction, 2001.

BILLINTON,R, ALLAN,R.N., *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques*, Pitman Advanced Publishing Program, 1983.

CAMINHA,A.C., *Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos*, Edgard Blücher Ltda, EFEI,1977

CARTER,A.D.S., *Mechanical Reliability*, Macmillan Education Ltd.,2.ed.,1986.

CARVALHO,A.C.C., et al., *Disjuntores e Chaves: Aplicação em Sistemas de Potência*, EDUFF, 1995

- CCPE-Comite Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas elétricos, *Projeção do mercado de energia elétrica – ciclo 2000*, 4<sup>a</sup>. reunião do comitê técnico, 2000.
- CHESF, *Manual de Gerência de Riscos*, 2000.
- CLARKE,A.B.& DISNEY,L.R., *Probabilidade e Processos Estocásticos*, Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- COLOMBO,R., *Disjuntores de Alta Tensão*, NOBEL - SIEMENS, 1986.
- FANTAZZINI,M.L. & SERPA,R.R., *Aspectos Gerais de Segurança e Elementos de Gerência de Riscos*, ITSEMAP, 2002.
- FERREIRA,H.L., *Uso do Conhecimento a Priori de Especialistas no Dimensionamento de Sobressalentes para Manutenção do Sistema na Celpe*, Dissertação de Mestrado, UFPE, 2001.
- FU,W. et al, *Risk Assesment for Special Protection Systems*, IEEE, Transaction on Power Systems, 2002.
- GOODFELLOW,J.W., *Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Overhead Electric Utility Distribution Systems*, IEEE, Transaction, 2000.
- HAUGE,B.S. & JOHNSTON,D.C., *Reliability Centered Maintenance and Risk Assessment*, IEEE, Annual Reliability and maintainability Symposium, 2001.
- JOHNSTON,D.C., *Simulation in RCM Training*, IEEE, Annual Reliability and maintainability Symposium, 2001.
- JONES,R.B, *Risk-Based Management - A Reliability-Centered Approach*, Gulf Publishing Company, 1995.
- KUMM,J.J. et al, *Philosophies for Testing Protective Relays*, 48<sup>th</sup> Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, 1994.
- LAFRAIA,J.R.B.,*Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*, Qualitymark, Petrobrás, 2001.
- LIMA, E.S., *Modelo de Sistema de Informação para Avaliação de Desempenho Estratégico, Baseado em Expectativas de Resultados*, Dissertação de Mestrado, UFPE, 1997.
- MARTIGNONI,A., *Transformadores*, GLOBO, Porto Alegre,1971.
- MILASH,M., *Manutenção em Transformadores em Líquido Isolante*, Edgard Blücher Ltda, EFEI,1984
- MOUBRAY,J., *Reliability-Centered Maintenance*, Butterworth Heinemann, Oxford, 2 ed.,1997.
- O’CONNOR,P.D.T., *Practical Reliability Engineering*, Jonh Wiley & Sons, 2. ed., 1985.

PIERPOINT,T.J., *RCM - The Driver for T&D Condition-Based Maintenance - A Utility Perspective*, IEEE, Transaction, 2001.

PIRES,T.T., *Gerenciamento dos Riscos de Incêndio: Uma Nova Maneira de Pensar*, Dissertação de Mestrado, UFPE, 2000.

SHERWIN,D.J., *A Constructive Critique of Reliability-Centered Maintenance*, IEEE, Annual Reliability and maintainability Symposium, 1999

SIQUEIRA,I.P., *Impactos da Manutenção na Disponibilidade e Performance de Sistema Elétricos de Potência*, XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, CIGRÉ, Campinas, 2001.

SIQUEIRA,I.P., *Manutenção Centrada na Confiabilidade*, Apostila do curso Gestão de Manutenção do PPGE, UFPE, Recife, 2002.

SOLVANG,E., LUNDGAARD,L., GUSTAVSEN,B., *Risk Management: Cost Minimization Using Condition-Based Maintenance*, IEE, Transaction, 1999.

WILLIS, *Risk Profiling - Projeto Piloto: Subestação de Mirueira*, Relatório elaborado para a CHESF, 2002.

Jocílio Tavares de Oliveira  
Rua Padre Landim, 302 apto. 401 Recife PE  
jocilio@elogica.com.br