

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Gerenciamento de Riscos em Instalações Elétricas
Uso de Técnicas e Algoritmos de Previsibilidade e Gestão

Alessandro Teixeira Reis

Rio de Janeiro - RJ

2012

Gerenciamento de Riscos em Instalações Elétricas

Uso de Técnicas e Algoritmos de Previsibilidade e Gestão

Alessandro Teixeira Reis

DRE: 090112283

Projeto submetido ao corpo docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Aprovada por:

Prof. Jorge Nemésio Souza, M.Sc. (Orientador)

Prof. Antonio Carlos Siqueira de Lima, D.Sc.

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Julho de 2012

Dedico este trabalho à minha mãe,
Sonia Maria Teixeira Reis, à minha esposa,
Ana Heloísa Ochorena Fartura Reis, à minha
irmã, Adriana Teixeira Reis e à minha avó,
Elvira Duarte Teixeira (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo, por ter trilhado em minha vida caminhos que permitiram encontrar minha vocação e exercer uma profissão que me permitiu ampliar meus horizontes de aprendizado e responsabilidades.

À toda Universidade Federal do Rio de Janeiro e seus Mestres - agradeço por exercer tão amplamente o papel de ENSINAR, dando aos seus alunos um enorme embasamento moral e técnico adequados para encarar desafios e ter sucesso e reconhecimento em sua carreira.

Agradeço à minha mãe Sonia Maria, por tanto empenho durante o percurso que segui na minha vida acadêmica, tendo realizado esforços sobre-humanos para garantir que pudesse galgar os degraus mais difíceis nesta jornada.

À minha esposa Ana Heloísa, todo o reconhecimento, por me apoiar em todas as decisões em minha vida pessoal e profissional, sendo um alicerce essencial, permitindo que pudesse alcançar vitórias e prosperar durante os 15 anos que estamos juntos.

À minha irmã Adriana Reis, o reconhecimento por ter alcançado títulos acadêmicos de grande valor e por ser uma profissional ímpar em seu meio, um exemplo de dedicação e profissionalismo, além de todo o exemplo de responsabilidade e amor ao próximo.

Agradeço profundamente ao Mestre Jorge Nemésio, pelo apoio à execução do trabalho, assim como a orientação dada a este projeto.

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

Alessandro Teixeira Reis

RESUMO

O risco tem uma origem controversa, entre tantas supostas origens ressaltamos a palavra árabe *Risq*, ‘algo do qual se pode extrair lucro’, e a palavra em latim *Risicum*, “o desafio colocado a um navegador por uma barreira de recifes” (TAYLOR-GOOBY & ZINN, 2008), que podemos ligar aos conceitos de oportunidade e riscos atualmente vigentes. Também deriva da palavra em italiano antigo *Risicare*, que significa ‘ousar’. “O risco é uma opção, não um destino” (BERNSTEIN, 1997). É das ações que ousamos tomar que depende nosso grau de liberdade de expressão. Gerenciar Riscos consiste na utilização de técnicas e métodos que visam identificar, analisar e eliminar as causas fundamentais que provocaram falhas. Todavia, nem sempre é possível tomar medidas que se representem ações definitivas, sem que tenha sido definida uma estratégia, que além de bloquear as causas de falhas, assegurem um gerenciamento eficaz das mesmas. Desta forma, este trabalho tem como objetivo consolidar técnicas de gerenciamento de riscos, focando em cenários de aplicação da Engenharia Elétrica, tendo como base modelos aplicados com sucesso no mercado, com ênfase na identificação de falhas. Entre esses modelos, estará sendo destacado o uso das técnicas do processo denominado MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade (*RCM - Reliability Centred Maintenance*), que já vêm sendo utilizado na indústria há mais de 25 anos. A partir desses conceitos, é possível estabelecer modelos que podem ser aplicados diretamente em projetos ou instalações elétricas, a partir de uma metodologia que se baseia na identificação das falhas e quantificação de riscos (entendendo risco como possibilidade de perda ou dano) permitindo tomar ações adequadas dentro das políticas e diretrizes das organizações, de forma que se tenha a máxima preservação dos sistemas. O risco não pode ser medido diretamente. Pode ser calculado através dos parâmetros: probabilidade de ocorrência e o tipo do evento. Baseado nas técnicas de MCC consideraremos **o risco como uma medida das consequências do modo de falha, resultado de uma falha funcional potencial, associado à frequência de ocorrência**. O estudo quantitativo será feito através da avaliação da gravidade e probabilidade de ocorrência da falha.

ABSTRACT

The risk has a controversial origin, among many supposed origins emphasize the Arabic word *Risq*, ‘something from which one can extract a profit’, and the Latin word *Risicum*, ‘the challenge to a browser by a barrier reef’ (TAYLOR-GOOBY & ZINN, 2008), we can connect the concepts of opportunity and risks that currently prevail. It also derives from the Italian old word *Risicare*, which means ‘dare’. “Risk is an option, not a destination” (BERNSTEIN, 1997). You dare to take the actions that it depends on our degree of freedom of expression. Manage Risk is to use techniques and methods designed to identify, analyze and eliminate the root causes that caused failures. However, it is not always possible to take measures to account for final action, it has been without a defined strategy, which in addition to blocking the causes of failures, ensure effective management of them. This study aims to strengthen risk management techniques, focusing on application scenarios of Electrical Engineering, based on models used successfully in the market, with an emphasis on troubleshooting. Among these models, is being emphasized the use of the technical process called RCM - Reliability Centered Maintenance or *MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade*, in Portuguese, which are already being used in industry for over 25 years. From these concepts, it is possible to establish models that can be applied directly to projects or electrical installations, from a methodology based on the identification and quantification of the failures of risk (understanding risk as the possibility of loss or damage), allowing to take appropriate actions within the policies and guidelines of the companies or institutions, so has the maximum preservation of the systems. The risk cannot be measured directly. It can be calculated using the parameters: a chance occurrence and type of event. Based on techniques MCC consider **the risk as a measure of the consequences of failure mode, the result of a functional failure potential associated with the frequency of occurrence**. The quantitative study will be done by evaluating the severity and likelihood of failure.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
CAPÍTULO 1	1
1.1.O problema.....	2
1.2.A organização da dissertação.....	3
CAPÍTULO 2	5
2.2.Contextualização dos riscos	8
2.2.1.Introdução	8
2.2.2.Conceituação.....	8
2.2.3.Princípios da Gestão de Risco de acordo com a ABNT NBR ISO 31000.....	16
2.3.O problema.....	18
2.3.1.Fatores motivadores/justificação.....	18
2.3.2.As hipóteses	23
2.3.3.Metodologia proposta	24
CAPÍTULO 3	26
Fundamentação Teórica	26
3.1.Introdução	26

3.2.Suporte matemático	26
3.2.1.Abordagens probabilísticas e determinísticas	27
3.2.2.Utilização do conhecimento <i>a priori</i>	28
3.2.3.Análise probabilística.....	29
3.3.Ferramentas de identificação e análise de perigos	36
3.4.Técnicas de MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade.....	52
3.4.1.Sistemas, subsistemas, funções e falhas.....	54
3.4.2.Modos de falha.....	56
3.4.3.Efeitos das falhas	59
3.4.4.Consequências das falhas.....	60
3.4.5.Diagrama de decisão	62
CAPÍTULO 4.....	66
Modelo de gerenciamento de riscos utilizando as ferramentas de MCC em Instalações do Sistema Elétrico	66
4.1.Introdução	66
4.2.Gerenciamento de riscos	67
4.3.Aplicação das técnicas de MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade	72
4.3.1.Escopo da aplicação	72
4.3.2.Sistema de numeração.....	73
4.3.3.Definição dos sistemas, subsistemas e falhas funcionais associadas a cada subsistema e os modos de falhas correspondentes	75
4.3.Avaliação dos riscos - Sistema Proteção	102
4.4.Processo de implementação	108
4.5.Programa de gerenciamento de riscos.....	109
CAPÍTULO 5.....	116
Conclusões e Sugestões	116
Apêndices.....	120
Referências Bibliográficas	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Listagem de palavras-guia	39
Tabela 3.2 - Pontuação G x U x T	51
Tabela 4.1 - Matriz do risco.....	70
Tabela 4.2 – Sistema Transformadores de Potência.....	76
Tabela 4.3 – Sistema disjuntores de alta tensão	84
Tabela 4.4 – Sistema barramentos	88
Tabela 4.5 – Sistema serviços auxiliares	92
Tabela 4.6 – Sistema Proteção.....	97
Tabela 4.7 - Categorias de Severidade Típica	102
Tabela 4.8 – Faixa de Severidade - Instalação de Transmissão	102
Tabela 4.9 – Riscos de subsistemas	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução da Sinistralidade - Riscos de Engenharia	7
Figura 2.2 – Curvas de Iso-Risco para uma Zona de Efeito de Acidente.....	12
Figura 2.2 – Evolução do Prêmio Direto Anual	7
Figura 2.3 - Evolução do consumo de energia no Brasil x PIB.....	8
Figura 2.4 – Curvas de Iso-Risco para uma Zona de Efeito de Acidente.....	12
Figura 2.5 - Curva F-N – Critério de Aceitabilidade de Risco Social em São Paulo.....	14
Figura 2.6 – Estatísticas de Acidentes no Setor Elétrico Brasileiro	20
Figura 2.7 – Estatísticas de Acidentes no Setor Elétrico Brasileiro	20
Figura 3.1 - Curva da banheira	35
Figura 3.2 - Estrutura de árvore de falhas.....	43
Figura 3.3 - Simbologia de árvore de falhas.....	44
Figura 3.4 - Exemplo de árvore de falhas.....	47
Figura 3.5 - Análise Preliminar de Riscos	50
Figura 3.6 - Curvas de taxa de falha típicas.....	58
Figura 3.7 - Diagrama de decisão	64
Figura 3.8 - Diagrama lógico de decisão	66
Figura 4.1 - Processo de gerenciamento de riscos.....	68
Figura 4.2 - Sistema de numeração.....	75

LISTA DE SÍMBOLOS

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

CAPÍTULO 1

Introdução

O risco sempre fez parte do cotidiano do ser humano estimulando-o a conhecê-lo, desafiá-lo e em alguns casos, até superá-lo. As formas de risco vêm sofrendo mudanças de natureza e origens diferentes com o passar do tempo. O homem pré-histórico, por exemplo, que tinha a caça como fonte de vida, corria riscos ao ser obrigado a conviver e enfrentar animais perigosos.

Ao longo da história e com o desenvolvimento das condições de vida, os riscos foram adquirindo novas formas. A chegada da revolução industrial, as garras dos animais perigosos já não eram mais ameaças para o homem moderno, que agora tinha que conviver com equipamentos e componentes industrializados.

Nos dias atuais, o desenvolvimento tecnológico, seguido da competitividade econômica, faz o homem conviver com vários tipos de risco.

Riscos podem ser puros ou especulativos. Riscos puros são aqueles que geram perdas de caráter humano, material ou ambiental. Riscos especulativos são aqueles que podem gerar uma possibilidade de ganho ou perda.

Antigamente, acidentes que ocasionavam esses tipos de perdas eram vistos como fatalidades e considerados obras do acaso. Porém essa visão foi modificada após a segunda guerra mundial, quando os EUA começaram a estudar a possibilidade de redução de prêmios de seguros e a necessidade de proteção da empresa frente a riscos de acidentes.

Surgiu então o Gerenciamento de Riscos. Entretanto, só nos anos 70, quando os prêmios de seguros de acidentes de trabalho começaram a subir, os procedimentos de prevenção de acidentes, assim como a reabilitação de vítimas não-fatais de acidentes de trabalho, levado a cabo pelo departamento de gerenciamento de risco, passou a ser mais respeitado.

No cenário brasileiro, a década de 60 marcou o início dos esforços ordenados na estruturação de uma sistemática de manutenção no setor elétrico, que permitisse atender a três

compromissos básicos: garantia da continuidade do suprimento; garantia da qualidade de energia e a minimização dos custos de suprimento (NUNES, 2001).

Empresas do setor elétrico brasileiro, tais como: FURNAS, COPEL, ITAIPU e CEMIG começaram a se apropriar de diversas ferramentas e técnicas de manutenção, que culminou com o boom, no final da década de 90, da adoção da metodologia da MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade.

No entanto, com a reestruturação do setor elétrico, a energia perdeu o caráter de ‘serviço público estrito’ assumindo *modus* de *commodity*. Houve desmembramento dos agentes da indústria eletro-energético em várias empresas, cada uma com objetivos e métricas de desempenho peculiares. O ambiente do setor elétrico deixou de ser um ambiente puramente técnico, para ser um ambiente de negócios.

Neste novo cenário, por um lado torna-se muito importante considerar uma abordagem estatística voltada a analisar o processo de ocorrência de falhas críticas para os descontos por parcela variável, buscar padrões na relação entre estas falhas e os tipos de gestão de riscos.

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 mais importantes há mais de duas décadas.

1.1. O problema

Nas empresas de eletricidade, onde está em operação grande número de equipamentos de potência, a segurança deve ser um princípio primordial em seu *modus operandi*. Esta segurança deve ser garantida internamente, em todas as rotinas de operação, inspeção e manutenção, assim como externamente, no que se refere a acidentes e prejuízos ao homem e ao meio ambiente. Não é mais suportável a ocorrência de falhas nos sistemas instalados sem que se existam justificativas convincentes. Uma estrutura de gerenciamento de riscos deve ser primordial para as empresas de energia elétrica.

Considerando este cenário, é possível definir um modelo para gerenciamento de riscos aplicando as ferramentas da reconhecida técnica de MCC.

Este 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.

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 digitais, também favoreceu a uma convivência de tecnologias diferentes, gerando, por consequência, a 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 mostrados também o contexto da Empresa, a síntese do ambiente de risco e as motivações que nortearam a elaboração da dissertação. Neste capítulo, também são apresentadas as hipóteses e a metodologia adotada.

Para a análise 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 da MCC. Considerando-se 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.

Não será considerado o uso de modelos estatísticos para comprovação do comportamento padrão das taxas de falha, assumindo as curvas representadas (tal como a curva da banheira) como uma referência baseada em modelos já consolidados.

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** são apresentadas as conclusões e sugestões que podem ser adotadas em trabalhos futuros afins.

CAPÍTULO 2

Contextualização do Problema

2.1. Introdução

As transformações sócio-econômicas mundiais, que vêm trazendo mudanças a toda sociedade nas últimas décadas, vêm impactando a cada dia mais os aspectos relacionados à segurança e uso da tecnologia em benefício da humanidade.

A segurança passa a ter uma importância mais evidente a cada dia. Além da visão tradicional de assegurar a funcionalidade dos equipamentos, passa a considerar o homem como elemento fundamental nesse contexto.

Durante a história, tivemos diversos eventos e tragédias mundiais que subtraíram centenas e até milhares de vidas, nos quais, os aspectos de falha humana foram os maiores responsáveis por desencadear estes episódios - cerca de 80% (WHITTINGHAM, 2004). As condições de operação dos sistemas instalados são aspectos onde o estudo e a aplicação de métodos analíticos de prevenção de falhas são mais gerenciáveis através de modelos de monitoramento e controle.

O crescimento industrial das últimas décadas, além de representar um grande avanço tecnológico, passou a ter 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. Isso impulsionou a competitividade e a necessidade do aperfeiçoamento dos processos que tornaram as instalações cada vez mais complexas.

Dados da SUSEP¹ mostram que no período de 2003 até 2011, tanto a sinistralidade quanto os prêmios cresceram no Brasil, no que se refere a Riscos em Engenharia (Figuras 2.1 e 2.2).

¹ SUSEP - Superintendência de Seguros Privados - Órgão responsável pelo controle e fiscalização dos mercados de seguro, previdência privada aberta, capitalização e resseguro. Autarquia vinculada ao Ministério da Fazenda.

Como exemplo de episódio de sinistro com grande impacto financeiro e ambiental, no ano de 2011, o vazamento no poço da empresa petrolífera americana Chevron, no Campo de Frade, na Bacia de Campos, gerou prejuízos superiores a US\$50 milhões, desencadeando um longo processo de recuperação ambiental e despesas indenizatórias. (FOLHA, 2011).

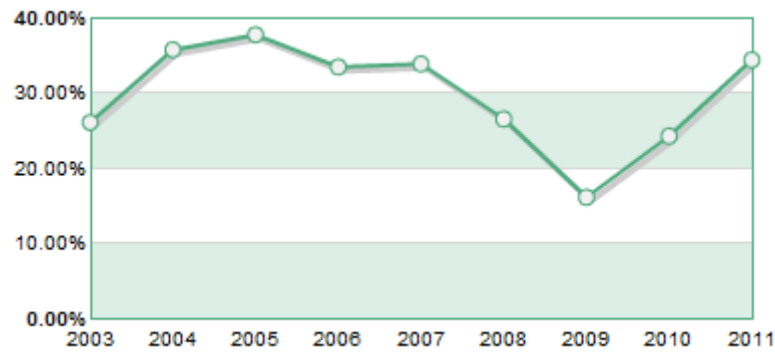


Figura 2.1 – Evolução da Sinistralidade - Riscos de Engenharia
Fonte: SUSEP, 2012

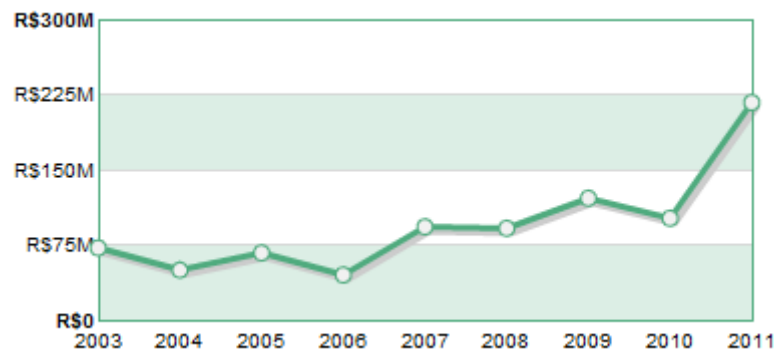


Figura 2.2 – Evolução do Prêmio Direto Anual
Fonte: SUSEP, 2012

Na área do setor elétrico mundial, a energia elétrica, no período que sucedeu a crise do petróleo (principalmente após a segunda fase em 1973), foi o único energético que teve um crescimento acentuado. Desta forma passou a ter uma representação crescente no componente energético mundial em detrimento ao uso exclusivo da energia proveniente do petróleo.

A intensificação da eletricidade no uso final permite uma diversificação nas fontes de energia primária, uma vez que pode ser gerada através de diferentes origens. 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.

No Brasil, nos últimos 5 anos, constata-se que a evolução do consumo de energia elétrica foi inferior ao crescimento do PIB. Porém, esta tendência apresenta uma inversão

perigosa a partir de 2009, estando em escala crescente, ultrapassando o crescimento do PIB a partir deste período (Figura 2.3).

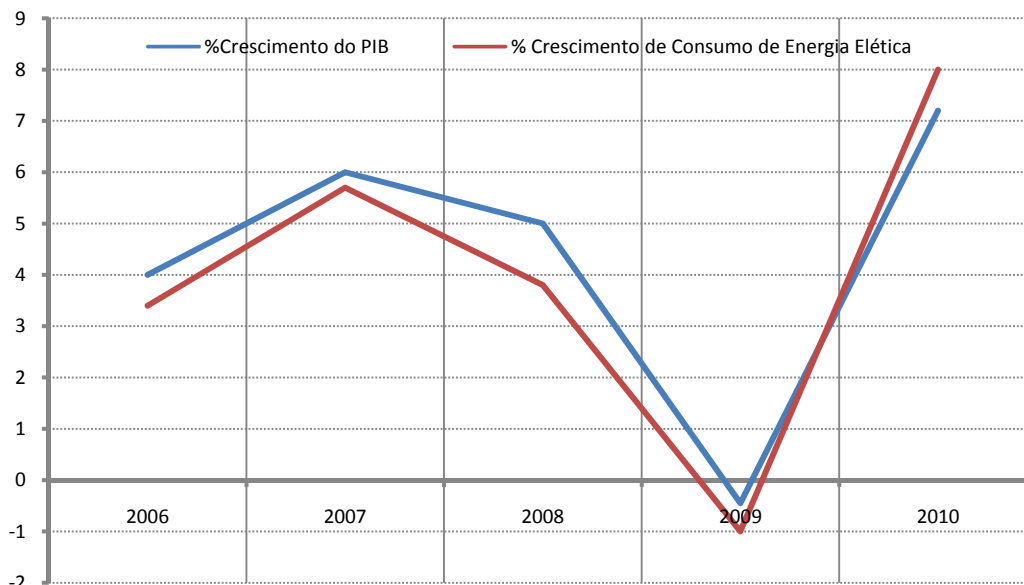


Figura 2.3 - Evolução do consumo de energia no Brasil x PIB
Fonte: FURNAS, 2011 (Adaptação)

Com uma demanda crescente, o sistema elétrico brasileiro 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 digitalizados, também favoreceu a uma convivência de tecnologias diferentes gerando, por consequência, uma necessidade de capacitação do homem nesse novo contexto. Desta forma, as possibilidades de falha aumentaram, principalmente pela dependência aos sistemas de automação, requerendo, portanto que ações sejam tomadas no sentido de preservar a segurança do pessoal 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. Todavia, o controle dos custos deve ser equilibrado com os impactos de falhas de equipamentos observando-se a segurança e o meio ambiente.

2.2. Contextualização dos riscos

2.2.1. Introdução

Apesar do estado de relativa conformidade com 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, está a necessidade de aumentar a disponibilidade do sistema em operação, tendo como consequência a 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 a indisponibilidade daqueles que, por extrema necessidade, estejam fora de operação, visando o seu retorno à condição de operação no menor tempo possível. Outro fator importante que leva à otimização da gestão do sistema em operação é o aspecto financeiro. Na atual conjuntura do setor elétrico, resultante da sua reestruturação, onde é exigida a disponibilidade máxima dos equipamentos para a operação, sob pena de pagamento de rigorosas multas, torna-se imprescindível a adoção de ações que minimizem a sua indisponibilidade.

Na busca da solução para a questão da segurança das instalações - e do homem - associado à minimização dos custos de indisponibilidade, as empresas do setor elétrico (bem como de outros segmentos) necessitam implantar processos de gerenciamento dos riscos existentes em cada instalação e categorizá-los, de forma que se tenha a administração desses riscos como elemento da sua gestão.

Desta forma, este trabalho visa apresentar técnicas e práticas para a identificação, classificação e 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 provenientes da metodologia MCC e da norma ABNT NBR ISO 31000 (ABNT, 2009).

2.2.2. Conceituação

É bastante usual a utilização de expressão associada a riscos e perigos de forma que intuitivamente é entendido o significado desses termos. Entretanto, é necessário adotar 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. Desta forma, devemos considerar as seguintes definições:

Perigo

Segundo PIRES (2000), pode-se definir perigo como uma característica do sistema que tem o potencial para causar sua falha, ferimentos em pessoas e danos à propriedade e ao meio ambiente. Se um sistema tem essas características, então ele é **perigoso**, ou seja, estará sempre em condições de causar as consequências mencionadas. Ocorre, no entanto, que nesse mesmo sistema, caso não ocorra uma ação sobre o mesmo não haverá nenhuma consequência danosa. Assim o conceito do perigo fica associado a uma ação dinamizadora. O perigo, portanto, é o grau de exposição ao risco.

Risco

PIRES (2000) afirma que “risco é a combinação da frequência e das consequências inerentes a um evento perigoso específico”.

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

De acordo com a FNQ¹, na definição dos Critérios de Excelência do MEG (Modelo em Excelência da Gestão), o risco é a “combinação da probabilidade de ocorrência e da(s) consequência(s) de um determinado evento não desejado”. (FNQ, apud NEMÉSIO SOUSA, 2012).

No ambiente empresarial, o risco pode ser classificado de acordo com seu com sua área de incidência, podendo ser um risco de saúde e segurança, ambiental, financeiro, legal, do negócio, tecnológico, operacional, regulatório, externo, interno, dentre outros.

Riscos devem ser identificados e analisados, possibilitando o planejamento de respostas.

Gerenciamento de risco

Identificação, análise, avaliação, formulação e implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos que têm como objetivo prevenir, controlar e reduzir

¹ FNQ - Fundação Nacional da Qualidade

os riscos e ainda manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis.

Para a quantificação das consequências 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 e SERPA (2002), tem-se os conceitos a seguir.

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 108 horas de exposição, que corresponde 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 (ARD)*

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 consequências 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, por meio de curvas pode-se apresentar a distribuição geográfica do risco em diferentes regiões. Dessa forma, o contorno de um determinado nível de risco individual apresenta a frequência esperada de um evento capaz de causar um dano num local específico. Denomina-se esta representação como Plotagem dos Contornos de Risco (*Risk Contour Plot*), onde são traçadas as Curvas de Iso-Risco (*Iso-Risk Curves*). Na Figura 2.4, são desenhadas as curvas de Iso-Risco 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.

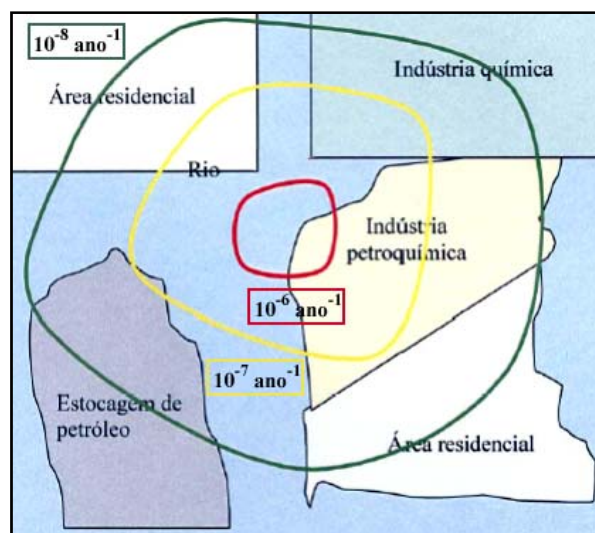


Figura 2.4 – Curvas de Iso-Risco para uma Zona de Efeito de Acidente

Fonte: CETESB, 2001

O perfil do risco individual é função da distância da fonte de perigo.

Assim sendo, podemos representar esse princípio graficamente em duas dimensões (Risco \times Distância).

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.

Conforme FANTAZZINE e SERPA (2002) consideram-se como eventos todas as falhas decorrentes de um acidente na região avaliada, tal como, vazamento de gás. 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 de fatalidade no ponto x, y ;
(chance de fatalidade por ano (ano^{-1}))

$RI_{x,y,i}$ = Risco de fatalidade no ponto x, y devido ao evento i ;
(chance de fatalidade por ano (ano^{-1}))

n = número total de eventos considerados na análise

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

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

onde:

$RI_{x,y}$ = Risco individual de fatalidade no ponto x, y ;
(chance de fatalidade por ano (ano^{-1}))

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 e a consequência esperada

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 consequências 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 específicos são necessários 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 consequências, estas representadas em números de vítimas fatais. A Figura 2.5 apresenta um exemplo de uma curva do tipo $F-N$.

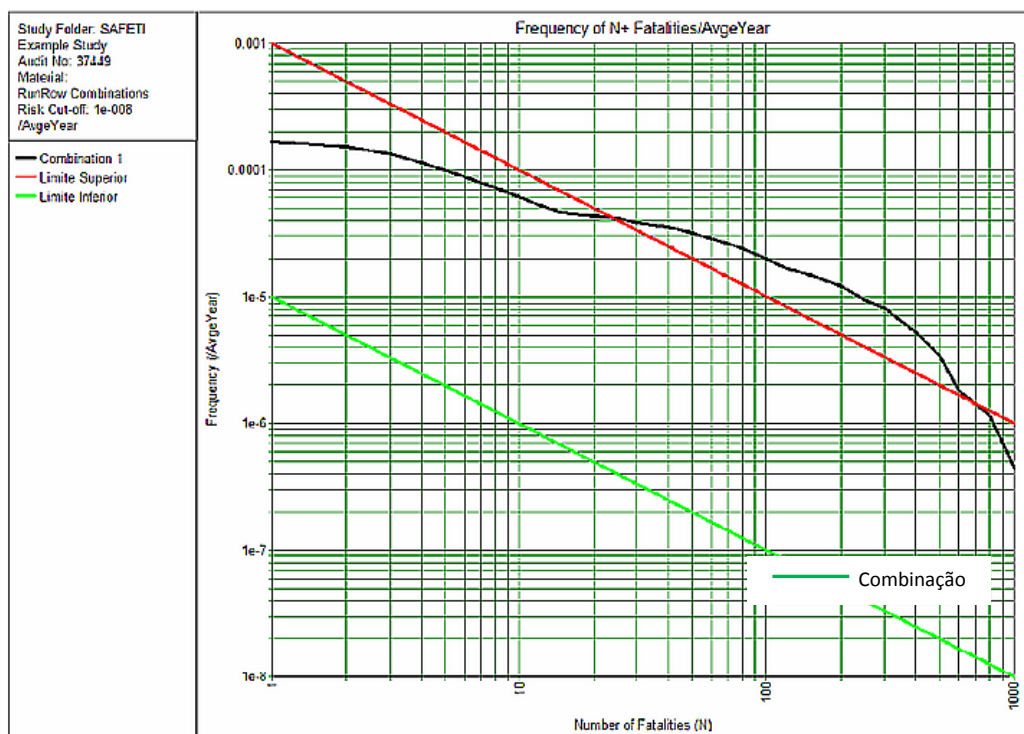


Figura 2.5 - Curva F-N – Critério de Aceitabilidade de Risco Social em São Paulo

Fonte: DNV, 1992

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, considerando informações sobre

o tipo de população (residências, estabelecimentos comerciais, indústrias, áreas rurais, escolas, hospitais etc.) para avaliação das medidas de mitigação a serem consideradas; efeitos em diferentes horários ou dias (para dimensionamento adequado do número de pessoas expostas); 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, pelo 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 consequências 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 resultantes 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 frequências de ocorrência (Equação 2.4). Estas informações devem então ser trabalhadas em termos de frequência 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 $N_i \geq N$, temos:

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 (FMEA, 2001), levando em conta, entre outros, os aspectos referentes aos valores sociais, éticos, econômicos e ambientais; capacidade de percepção dos riscos, considerando voluntariedade, benefícios, possibilidade de reconhecer e compreender os riscos além do controle individual e capacidade de proteção.

De acordo com a literatura a respeito de avaliação de riscos de instalações elétricas no Brasil (FUNCOGE, 2011), os estudos no sentido de se estabelecer um critério para a tolerabilidade de riscos, impostos por instalações ou atividades perigosas, estão sendo norteados pela ISO 31000, que estabelece as normas que devem ser usadas como critérios quantitativos a serem estabelecidos no setor elétrico.

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 fragilizado, facilitando a possibilidade de defeito em cascata, com probabilidade de danificar outros equipamentos por sobrecarga.

2.2.3. Princípios da Gestão de Risco de acordo com a ABNT NBR ISO 31000

Para a gestão de riscos ser eficaz, convém que uma organização, em todos os níveis, atenda aos princípios abaixo descritos.

A gestão de riscos cria e protege valor

A gestão de riscos contribui para a realização demonstrável dos objetivos e para a melhoria do desempenho referente, por exemplo, à segurança e saúde das pessoas, à segurança, à conformidade legal e regulatória, à aceitação pública, à proteção do meio ambiente, à qualidade do produto, ao gerenciamento de projetos, à eficiência nas operações, à governança e à reputação.

A gestão de riscos é parte integrante de todos os processos organizacionais

A gestão de riscos não é uma atividade autônoma separada das principais atividades e processos da organização. A gestão de riscos faz parte das responsabilidades da administração e é parte integrante de todos os processos organizacionais, incluindo o planejamento estratégico e todos os processos de gestão de projetos e gestão de mudanças.

A gestão de riscos é parte da tomada de decisões

A gestão de riscos auxilia os tomadores de decisão a fazer escolhas conscientes, priorizar ações e distinguir entre formas alternativas de ação.

A gestão de riscos aborda explicitamente a incerteza

A gestão de riscos explicitamente leva em consideração a incerteza, a natureza dessa incerteza, e como ela pode ser tratada.

A gestão de riscos é sistemática, estruturada e oportuna

Uma abordagem sistemática, oportuna e estruturada para a gestão de riscos contribui para a eficiência e para os resultados consistentes, comparáveis e confiáveis.

A gestão de riscos baseia-se nas melhores informações disponíveis

As entradas para o processo de gerenciar riscos são baseadas em fontes de informação, tais como dados históricos, experiências, retroalimentação das partes interessadas, observações, previsões, e opiniões de especialistas. Entretanto, convém que os tomadores de decisão se informem e levem em consideração quaisquer limitações dos dados ou modelagem utilizados, ou a possibilidade de divergências entre especialistas.

A gestão de riscos é feita sob medida

A gestão de riscos está alinhada com o contexto interno e externo da organização e com o perfil do risco.

A gestão de riscos considera fatores humanos e culturais

A gestão de riscos reconhece as capacidades, percepções e intenções do pessoal interno e externo que podem facilitar ou dificultar a realização dos objetivos da organização.

A gestão de riscos é transparente e inclusiva

O envolvimento apropriado e oportuno das partes interessadas da empresa e, em particular, dos tomadores de decisão em todos os níveis da organização assegura que a gestão de riscos permaneça pertinente e atualizada. O envolvimento também permite que as partes interessadas sejam devidamente representadas e tenham suas opiniões levadas em consideração na determinação dos critérios de risco.

A gestão de riscos é dinâmica, iterativa e capaz de reagir a mudanças

A gestão de riscos continuamente percebe e reage às mudanças. Na medida em que acontecem eventos externos e internos, o contexto e o conhecimento modificam-se, o monitoramento e a análise crítica de riscos são realizados, novos riscos surgem, alguns se modificam e outros desaparecem.

A gestão de riscos facilita a melhoria contínua da organização

Convém que as organizações desenvolvam e implementem estratégias para melhorar a sua maturidade na gestão de riscos juntamente com todos os demais aspectos da sua organização.

2.3. O problema

2.3.1. Fatores motivadores/justificação

Semelhantemente às grandes empresas que operam com produtos químicos, nucleares ou petrolíferos, as empresas do setor elétrico atuam com o fenômeno da eletricidade, que por sua natureza pode 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 procede da interrupção do 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 consequências 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.

Na Figura 2.6, está representada a estatística de acidentes no setor elétrico no período compreendido entre 2005 a 2010. Neste intervalo, o número de fatalidades decorrente de acidentes se mantém numa média de 308 vítimas ao ano, oscilando de forma não-significativa ano a ano. Todavia, o número de acidentados não-fatais, tem apresentado um decréscimo médio de 30%, comparando-se os números de 2010 em relação a 2005. A Figura 2.7 traz um maior detalhamento do número de acidentes por setor, considerando o ano de 2010.

Estes indicadores refletem a necessidade de ações no setor no que se refere ao número ainda elevado e praticamente constante de fatalidades, assim como uma maior efetividade nos

processos de prevenção de acidentes no âmbito empresarial. A conscientização da força de trabalho através da realização periódica de SIPAT (Semana Interna de Prevenção de Acidentes de Trabalho), assim como o monitoramento constante de uso de EPI (Equipamento de Proteção Individual) adequado para a execução das atividades diárias, deve fazer parte da base do plano de prevenção de acidentes nas empresas, reduzindo ao longo do tempo os números ainda elevados de incidentes desta natureza.

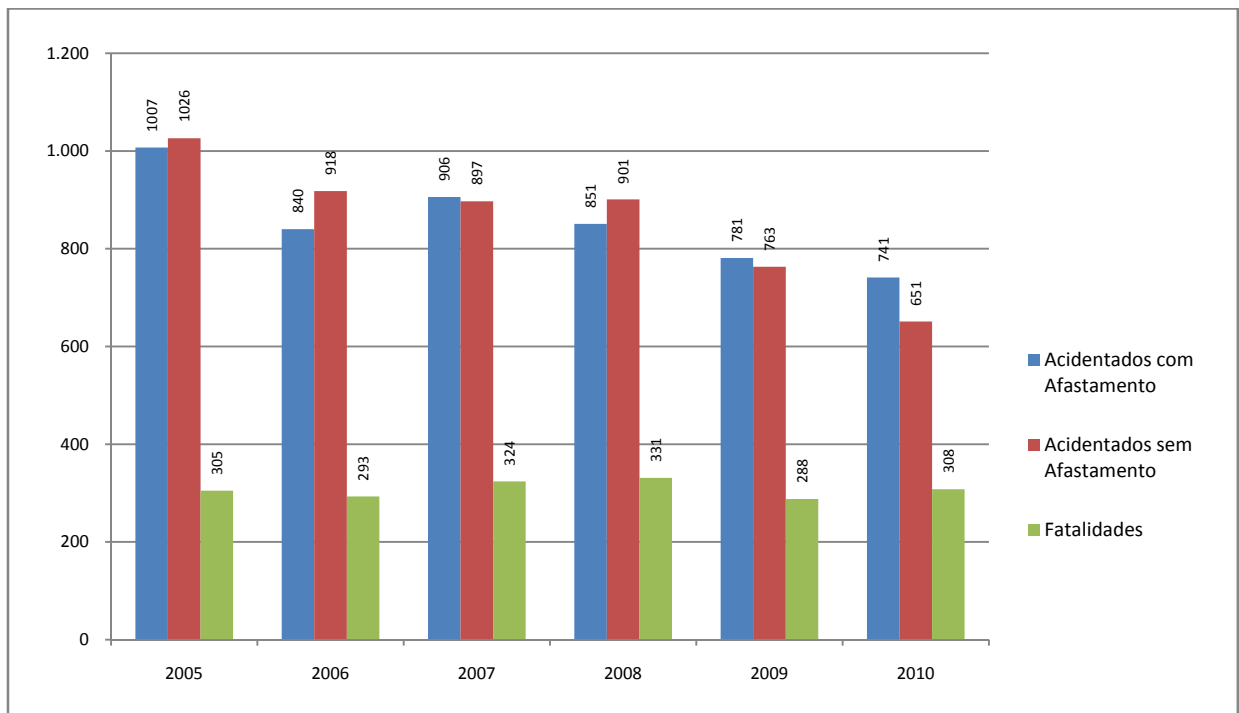


Figura 2.6 – Estatísticas de Acidentes no Setor Elétrico Brasileiro

Fonte: FUNCOGE, 2011 (Adaptação)

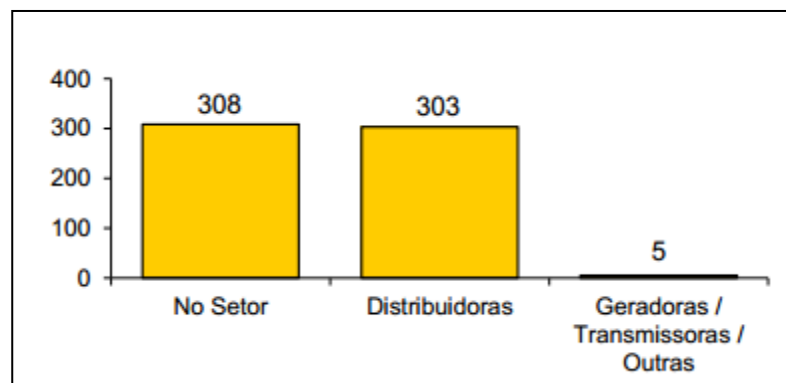


Figura 2.7 – Estatísticas de Acidentes Fatais no Setor Elétrico Brasileiro por Setor

Fonte: FUNCOGE, 2011

Embora algumas falhas não resultem em prejuízos sociais significantes, podem afetar 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 podem gerar prejuízos financeiros às empresas. Tendo em vista a atual regulamentação, coordenada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) na área de distribuição (ANEEL, 2012), são estabelecidos parâmetros para medir a continuidade dos serviços e ocorrência de falhas no fornecimento de energia, com base em indicadores coletivos e individuais.

Dentre estes parâmetros, temos o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) - que indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, geralmente o mês ou o ano – e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) – que indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora (residência, comércio, indústria etc.).

DEC e FEC são indicadores coletivos e são acompanhados pela ANEEL através de subdivisões das distribuidoras, denominadas Conjuntos Elétricos, que podem abranger mais de um município, ao mesmo tempo em que alguns municípios podem possuir mais de um conjunto.

Além dos indicadores coletivos (DEC e FEC), as distribuidoras devem acompanhar as interrupções ocorridas em cada unidade consumidora. Para isso, são apurados os indicadores de continuidade individual, DIC, FIC e DMIC. Os indicadores DIC (Duração de Interrupção por Unidade Consumidora) e FIC (Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora) indicam por quanto tempo e o número de vezes respectivamente que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica durante um período considerado. O DMIC (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora) é um indicador que limita o tempo máximo de cada interrupção, impedindo que a concessionária deixe o consumidor sem energia elétrica durante um período muito longo.

Os limites são estabelecidos para os indicadores de continuidade individuais. São definidos para períodos mensais, trimestrais e anuais. Quando há violação desses limites, a distribuidora deve compensar financeiramente a unidade consumidora. A compensação é

automática, e deve ser paga em até dois meses após o mês de apuração do indicador (mês em que houve a interrupção). As informações referentes aos indicadores de continuidade estão disponíveis na fatura de energia elétrica.

Na área de geração, tomemos como exemplo as usinas hidrelétricas. Existem em torno de 20.000 itens em sua instalação, no que diz respeito a equipamentos elétricos, 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, frequentemente são adotadas recomendações que buscam bloquear as causas fundamentais que geraram a falha.

Ainda dentro desse contexto, as empresas necessitam promover a divulgação das ações nos ambientes propícios, com objetivo de conduzir todo o ambiente e pessoas no sentido de salvuardá-los de novas ocorrências. Acontece, no entanto que, por razões culturais e até por características dos 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-se 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 regra, pontuais, pois se busca 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’.

Na grande maioria dos casos no cenário elétrico brasileiro, 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 aos 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 frequente 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 seu 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.

Dentre 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 tratadas as falhas, não se tem a participação efetiva de todos os envolvidos no processo gerando, como consequência, uma visão com viés da falha e soluções limitadas.

2.3.2. As hipóteses

Com uma visão voltada para o tratamento dos riscos de forma sistemática, e considerando-se 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 comuns quando se analisam falhas. Portanto, tomando-se como base fragilidades sistêmicas no contexto das empresas de energia elétrica, busca-se, com este trabalho, apontar soluções adequadas para o tratamento de falhas de forma organizada e estruturada com fundamentação em técnicas já comprovadas.

Considerando-se 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.

2.3.3. 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 consequências 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 o processo desta metodologia 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-se a diversidade de equipamentos e ambientes que compõem uma instalação de 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-se 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 consequências são extremamente críticas para a sociedade, visto que até perdas de vidas humanas são suscetíveis em caso de ocorrências de acidentes nesses sistemas.

A direção do estudo focou em equipamentos considerados de maior essencialidade, no entanto, pode perfeitamente ser utilizado para outros sistemas de tão importância como esses em análise. Dentre esses sistemas estão instalações prediais, sistemas hidráulicos, ambientes em que se armazenam produtos perigosos etc.

Será feita a 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 facilitam a quantificação desses riscos. Essas tabelas permitirão estabelecer uma estrutura para o gerenciamento de cada modo de falha.

Será utilizada a abordagem matemática na definição dos riscos envolvidos nos sistemas sob análise. Serão avaliados os aspectos de quantificação dos riscos através do foco probabilístico e incluídas as características de confiabilidade dos sistemas considerados.

CAPÍTULO 3

Fundamentação Teórica

3.1. Introdução

Pretende-se com este trabalho oferecer uma base ferramental que permita, 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 de acordo com as necessidades priorizadas dentro das políticas de gestão da empresa. Sendo assim, a análise se fundamenta no contexto de risco de cada equipamento ou família de equipamentos instalados. Serão levadas em consideração suas características, os procedimentos atuais de manutenção, o histórico de falhas, a indisponibilidade etc. 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. 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 fortemente baseadas em condições de incertezas, no entanto, qualquer que seja a política, tem desdobramentos e consequências sobre a confiabilidade dos sistemas e influenciam 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 de acordo com fundamentos de probabilidade.

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 responsável pela gestão 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 primeira, relativa a informações disponíveis em banco de dados da empresa, dos modos de falhas já catalogados - caso em que se analisa a partir de informações históricas, constituindo-se a abordagem determinística. A segunda, quando não se tem dados históricos ou estes não são adequados para a análise, considera-se o conhecimento de especialistas que podem fazer inferências de forma a apoiar as decisões no sentido de 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 determinado 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.

Considerando-se esta restrição de caráter técnico (a não-avaliação 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 apresenta uma tendência acentuada nos dados observados. Estes indicadores permitem utilizações diversificadas, pela sua natureza quantitativa são fáceis de serem manipulados, ou seja, não exigem 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, 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, intuitivamente fazemos uso frequente, 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 têm dados a respeito.

Considerando-se 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***

Segundo BARROS FILHO (1995), no caso de se utilizar as informações dos especialistas ('conhecimento *a priori*'), alguns ganhos são facilmente visíveis como:

- Interpretação simples: a probabilidade de ocorrência é vista como o grau de credibilidade; a probabilidade *a posteriori* mede a precisão final.
- Lógica simples: Para inferência, obtém-se distribuição *a posteriori* para as variáveis desejadas; nas decisões, as ações maximizam a utilidade esperada.
- Aplicabilidade universal: Sempre que houver incerteza, há também probabilidades pessoais (subjetivas).

- Comportamental: Permite que crenças, valores e inferências sejam interpretados em termos de comportamento.
- Garante coerência e consistência com respeito ao comportamento do decisor.
- Fornece um esquema formal para utilizar a informação a priori, principalmente no caso de gerenciamento de sistemas homem-máquina.

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. Para a identificação das causas, leva-se 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.

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 à frequência, deixando-se de considerar os aspectos quantitativos de distribuição de probabilidade tendo em vista que a análise matemática será avaliada dentro do contexto de taxa de falha, quando for o caso.

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 à confiabilidade; pois de acordo com CARTER (1986), ‘a definição utilizada por fontes respeitáveis é uma forma de se conseguir confiabilidade e não defini-la’.

A seguir, são apresentadas algumas entidades e suas definições para o termo confiabilidade, a saber:

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’ (CARTER, 1986).

U.S. Military Handbook (1970)

‘Confiabilidade é a probabilidade de que um item realizará sua função sob as condições estabelecidas de uso e durante um determinado período de tempo’ (CARTER, 1986).

U. K. Ministry of Defense (1979)

‘A aptidão de um item executar ou ser capaz de executar uma determinada função sem falhar sob as condições estabelecidas por um período de tempo ou de operação é também expressa como uma probabilidade’ (CARTER, 1986).

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 (λ). Esta taxa, também denominada taxa de falha instantânea, é a relação entre a quantidade dos componentes em falha e o número de componentes sobreviventes no instante t . É a frequência de falha por item no intervalo de tempo Δt em relação à população sobrevivente no intervalo Δt .

Esta é uma probabilidade (instantânea) de falhas para um dado equipamento. Outro parâmetro empregado é o TMEF - Tempo Médio Entre Falha (*MTBF - Medium Time Between Fail*). O *MTBF* é uma medida do intervalo de tempo médio em que um sistema ou item tem um desempenho como especificado antes que uma falha ocorra (SMITH, 1993). É aplicável a componentes reparáveis, sendo calculado por:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt \quad (3.1)$$

onde $f(t)$ representa a função de densidade de falha.

SEIXAS (2002) define o *MTBF* como o inverso da taxa de falhas (λ), ou seja:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (3.2)$$

Considerando-se 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:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3.3)$$

A função de distribuição acumulada em um intervalo de tempo t_1 até o tempo t_2 é dada por:

$$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt \quad (3.4)$$

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 t_1 a t_2 . A confiabilidade é dada pela função confiabilidade $R(t)$. Por essa definição tem-se:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad (3.5)$$

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

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (3.6)$$

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:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (3.7)$$

Analisando-se 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 conexão mista. Os sistemas das instalações, de acordo com a sua complexidade, têm, de forma geral, seus componentes interligados de forma mista, ou seja, com ligações série-paralelo.

Segundo BILLINTON e ALLAN (1983) e SEIXAS (2002), 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:

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i \quad (3.8)$$

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:

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (3.9)$$

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 (LIMA, 1997) como:

$$R = \sum_{l=0}^{m-1} \binom{n}{l} R^l (1 - R)^{n-l} \quad (3.10)$$

As falhas podem ser classificadas em três tipos básicos (O'CONNOR, 1985):

- (i) **Precoces/Prematuras (Infância):** Falhas que podem ser totalmente depuradas através de um rigoroso controle na fabricação e mediante testes antes do envio do produto ao consumidor. São elas: o uso demasiadamente intenso, as anormalidades de fabricação ou projeto defeituoso. A classificação da taxa de falha é decrescente.

- (ii) **Falhas por desgaste (Velhice):** Em alguns casos pode-se reduzir ou eliminar as falhas por desgaste mediante um sistema de manutenção preventiva. Acontecem devido ao envelhecimento do equipamento ou desgaste real (pela perda ou degeneração de características importantes). A taxa de falha é classificada como crescente.
- (iii) **Falhas casuais (Vida útil):** Não é fácil a eliminação deste tipo de falhas, porém em alguns casos, deve ser feito um acompanhamento de componentes adequados, através de projetos. São falhas que ocorrem ao acaso, em intervalos de tempo inesperados. Pico de concentrações de tensões aleatórias que atuam sobre algum ponto fraco e produzem a quebra.

A Curva da Banheira, apresentada na Figura 3.1, reflete o comportamento da taxa de falha de um equipamento (ou componente, ou sistema) por um longo período de tempo.

Esta curva pode ser tratada como um modelo teórico e bastante aplicável a diversos tipos de componentes que, por algum motivo, não puderam ser devidamente testados após a montagem do sistema e apresentam um modo de falha predominante. Diversos autores como BERGAMO (1997); BLANCHARD (2003); MATHEW (2004) e MORAIS (2004) consolidaram a aplicabilidade da teoria do histórico de confiabilidade dividido em três fases diferentes. De acordo com a Teoria da Curva da banheira todo componente tende a falhar no período inicial e final de sua vida útil.

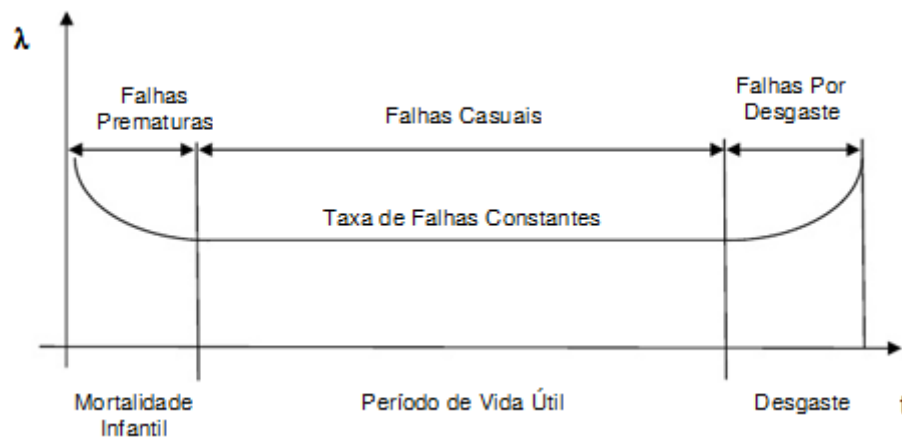


Figura 3.1 - Curva da banheira
Fonte: LAFRAIA, 2001

Ao analisar a representação gráfica dos tipos de falhas durante o período de vida de equipamentos, no período de mortalidade infantil, ocorrem falhas prematuras. A taxa de falha

(λ) é decrescente e pode ter as seguintes origens: processos de fabricação deficientes, controle de qualidade, mão-de-obra desqualificada, instalação imprópria, erro humano etc.

O período de vida útil é caracterizado por taxa de falha (λ) constante. Normalmente, as falhas são de natureza aleatória, pouco podendo ser feito para evitá-las. No período de desgaste, inicia-se o término da vida útil do equipamento. A taxa de falhas (λ) cresce continuamente: envelhecimento, desgaste, manutenção insuficiente ou deficiente são alguns exemplos desta fase. LAFRAIA (2001) ressalta que, nem todos os componentes/equipamentos apresentam sempre todas as fases. Para os instrumentos que possuem componentes eletrônicos, estes apresentam normalmente falhas aleatórias; para estes tipos de falha é comum lançar-se mão do conceito de substituição quando há quebra, já que a manutenção preventiva nesta fase é normalmente de pouca efetividade.

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 podem-se obter as características de comportamento dos equipamentos a partir do conceito matemático de probabilidade.

As falhas também podem ser classificadas avaliando-se os inter-relacionamentos de componentes no sistema e com os agentes envolvidos. De acordo com SIQUEIRA (2001), as falhas podem ser classificadas também sob os seguintes aspectos:

- (i) **Quanto à origem:** as falhas podem ter origem primária, quando decorrem de deficiências próprias de um componente, dentro dos limites normais de operação; origem secundária, quando se derivam de operação fora dos limites normais, tais como descarga atmosférica, sobrecargas e etc; ou falhas de comando que se originam de ordens errôneas do operador ou uso inadequado pelo usuário. Quanto à extensão: de acordo com sua extensão as falhas podem ser parciais, quando resultam do desvio de alguma característica funcional do item, além dos limites especificados, mas sem perda total de sua funcionalidade; ou completas, quando provocam a perda total da função requerida do item.
- (ii) **Quanto à velocidade:** as falhas podem ser graduais, quando podem ser percebidas ou previstas por uma inspeção antes que ocorram; ou falhas repentinas, em caso contrário.

- (iii) **Quanto à manifestação:** pode ocorrer por degradação, quando ela ocorre simultaneamente de forma gradual ou parcial, podendo tornar-se completa ao longo do tempo, ao contrário das falhas catastróficas, que ocorrem simultaneamente de forma repentina e completa. E existem ainda as falhas intermitentes, que persiste por tempo limitado, após o qual o item aparentemente se recupera sem qualquer ação externa.
- (iv) **Quanto à criticidade:** as falhas críticas seriam aquelas que produzem condições perigosas ou inseguras para quem usa, mantém ou depende do item, ou que podem causar grandes danos materiais ou ambientais, caso contrário, as falhas serão classificadas como não-críticas.

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 possam tomar medidas saneadoras no sentido de bloquear a dinamização do risco ou administrar da maneira mais apropriada quando da ocorrência de falhas. Estudos têm sido feitos 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 consequências sejam minimizadas.

Para se ter um tratamento criterioso a respeito de riscos, de modo 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 analisado para se obter uma adequada visão do contexto do risco, para que as medidas a serem tomadas sejam efetivas.

Dentre as ferramentas mais usuais citam-se as abaixo relacionadas (DE CICCO, 1986).

I) Análise de subsistema - ASS

Esta é uma ferramenta para análise de riscos, de caráter auxiliar, ou seja, apóia 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: elementos/componentes que se inter-relacionam entre si e com suas fronteiras, cumpre objetivo/finalidade/missão e é dinâmico.

II) **Série de riscos - SR**

Com essa ferramenta procura-se identificar através de um processo de regressão, as causas contribuintes e as sequências dos fatos. É utilizada com frequência para avaliar fatos ocorridos. Essa técnica se assemelha à técnica da análise de árvore de falha na medida em que se faz a regressão de um evento catastrófico e se buscam as causas origens.

Com essa técnica, procuram-se identificar as sequências de riscos envolvidos e as causas que conduziram ao evento, bem como a causa fundamental. Com essa classificação obtém-se a sequência de risco inicial, risco contribuinte e risco principal. O risco principal é aquele que pode direta ou imediatamente causar: morte ou lesão, danos a equipamentos, veículos, estruturas, degradação de capacidades funcionais (serviços e utilidades) e 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, sendo como ponto de partida a identificação de um elemento da série; em seguida, recuar, logicamente, até o risco(s) inicial(ais); avançar, logicamente, até os efeitos/danos

finais e prever as possíveis inibições dos eventos (eliminando/contendo os danos e 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 como sendo as situações de quase acidente, ou seja, embora não tenha ocorrido uma situação de fato com danos, lesões ou perdas, já se podem avaliar esses possíveis efeitos. Considerando tratar-se de inferência sobre probabilidades associadas, a metodologia de se proceder à aplicação dessa ferramenta é feita de acordo com os passos a seguir.

- (i) Toma-se uma amostra aleatória de observadores-participantes oriundos de diversas áreas da empresa;
- (ii) 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;
- (iii) Os incidentes críticos são registrados e classificados em suas categorias de risco;
- (iv) 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 as instalações, equipamentos e demais objetos de riscos e verificar o grau de cumprimento de rotinas e de procedimentos. Confere parâmetros já estabelecidos. É qualitativa. 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 desenvolvem 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 (*Hazard and Operability Study*) 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 busca visualizar formas como uma planta industrial pode apresentar problemas operacionais e de segurança. O processo de imaginação por si só não é suficiente, e 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 consequências para o mesmo. Algumas causas não são realistas e, portanto as consequências devem ser rejeitadas. Algumas consequências são triviais e não merecem maior exame, entretanto, existem alguns desvios que possuem causas que são concebíveis e consequências 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 consequências, 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

Palavra	Equivalente Inglês	Significado
NÃO / nenhum	<i>No</i>	Negação da intenção do projeto
MAIS / maior	<i>More / higher</i>	Um aumento quantitativo no parâmetro operacional
MENOS / menor	<i>Less / lower</i>	Uma diminuição quantitativa no parâmetro operacional
ALÉM DE/ também	<i>As well as</i>	Aumento qualitativo
PARTE DE	<i>Part of</i>	Diminuição qualitativa
REVERSO	<i>Reverse</i>	O oposto da intenção do projeto
OUTRO	<i>Other than</i>	Completa substituição
COMO	<i>How</i>	Ex.: as instalações são adequadas para o operador concluir a etapa especificada?
PORQUE	<i>Why</i>	Ex.: existe uma razão lógica para esta etapa?
QUANDO	<i>When</i>	Ex.: é importante a duração da etapa?
ONDE	<i>Where</i>	Ex.: é importante onde ocorre a reação?
QUEM	<i>Who</i>	Ex.: esta definido quem deve se envolvido p/ .by-passar o sistema de segurança do reator?
VERIFICAÇÃO	<i>Check</i>	Ex.: como se sabe que determinada etapa foi concluída
ORDEM	<i>Order</i>	Ex.: A ordem das etapas é importante?

Fonte: Loss Prevention in the Process Industries (LEES, 1996)

VI) Análise de Árvore de Falha - AAF

A 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.

FUSSEL, citado em FANTAZZINI,M,L.& SERPA,R,R, (2002), assinala em sua obra que uma árvore de falhas tem as características a seguir relacionadas.

- 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 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.

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 consequências 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.

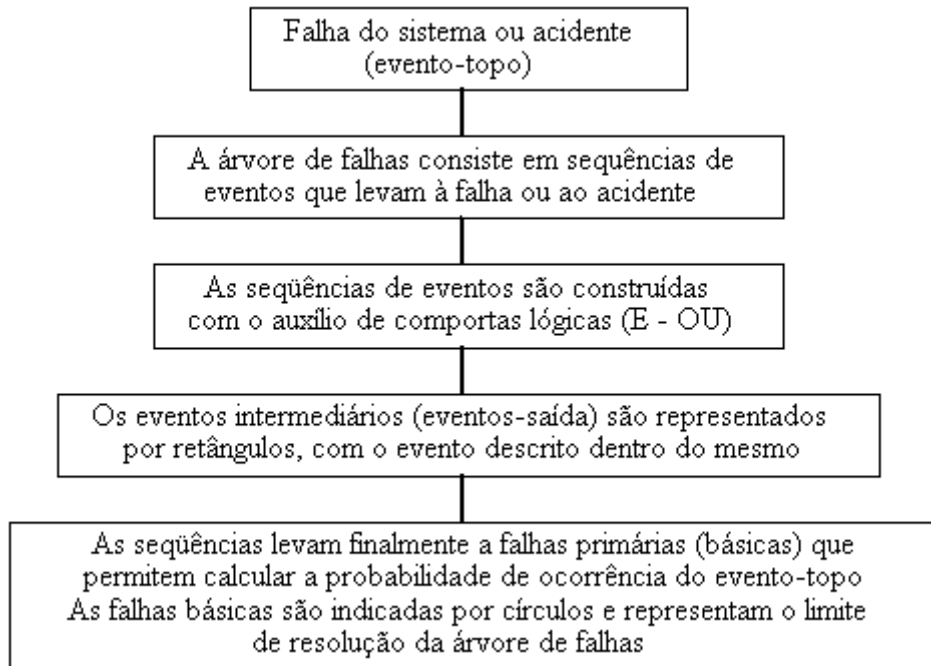


Figura 3.2 - Estrutura de árvore de falhas
Fonte: (HENLEY, KUMAMOTO, 1981)

Portanto, a árvore de falha é uma estrutura de módulos ou portas E e OU, com símbolos retangulares 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 árvores 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 árvore de falha a partir do diagrama de blocos de confiabilidade, e vice-versa.

A simbologia mais frequente 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
Fonte: (O'CONNOR, 1985)

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. O losango 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 sequência 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.

VI.1) 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 AAF é fundamental conhecer os diversos inter-relacionamentos e características de cada componente do sistema.

De acordo com HAMMER (1993), usualmente as falhas de componentes são classificadas em falhas primárias ou básicas, falhas secundárias e falhas de comando.

- (i) **Falhas primárias** - Ocorrem 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. Este tipo de falhas, também conhecidos como básicas são causados 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 decorrem do envelhecimento natural dos componentes e são representadas na AAF pelo círculo.

- (ii) **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 AAF pela figura do losango.
- (iii) **Falhas de comando** – São falhas provenientes de sinais de controle incorretos, impróprios e ruído. Na maioria das vezes, ela não exige ações de reparo para que o componente volte a funcionar.

VI.2) 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.

VI.3) Avaliação quantitativa

Para a avaliação quantitativa recorreremos ao exemplo em que a simplificação de uma árvore de falha resulte no diagrama representado na Figura 3.4.

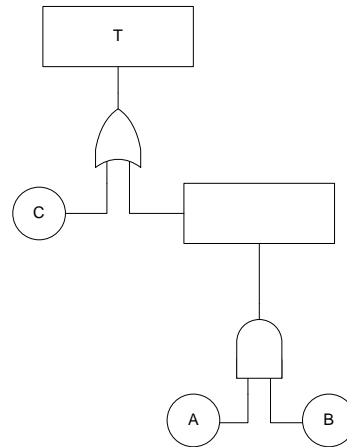


Figura 3.4 - Exemplo de árvore de falhas

Fonte: (O'CONNOR, 1985)

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:

$$T = C \cup (B \cap A) \quad (3.11)$$

verifica-se que se deve 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:

$$P(T) = P(C) + P(B \cap A) - P(A \cap B \cap C) \quad (3.12)$$

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

$$P(T) = P(C) + P(B) \cdot P(A) - P(A) \cdot P(B) \cdot P(C) \quad (3.13)$$

Entretanto, se houver dependência entre eventos, devem-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 3.13 as probabilidades de A , B e C fossem respectivamente, 10^{-2} , 10^{-4} e 10^{-6} . Cada um dos dois primeiros termos da Equação 3.13 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 $P(A \cap B \cap C)$, ou seja:

$$P(X \cup Y) = P(X) + P(Y) - P(X \cap Y) \quad (3.14)$$

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:

$$P(X \cup Y) = P(X) + P(Y) \quad (3.15)$$

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

VI.4) 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 CMC - Conjuntos Mínimos Catastróficos.

Um CMC (*MCS - Minimal Cut Set*) 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, uma 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 APR - 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 sequência de gravidade deve ser atribuída para que se possam priorizar as ações.

- (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 (Modelo)

A APR deve ser elaborada de acordo com as etapas a seguir.

- 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 APR 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* (AMFE - Análise de Modo de Falha e Efeitos) 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 obtêm-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 *FMECA*

A sigla *FMECA* tem origem da seguinte expressão em inglês *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, e é ser traduzida como Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticalidade.

Muitos autores tal como VILLACOURT (1992), propõem discutir a respeito do *FMEA*, mas na verdade se referem ao *FMECA*.

MOHR (1994) apresenta a diferença entre *FMEA* e *FMECA*.

$$FMECA = FMEA + C \quad (3.16)$$

onde, $C = \text{Criticalidade} = (\text{Ocorrência}) \times (\text{Severidade})$.

O índice **Ocorrência** é usado para avaliar as chances (probabilidade) da falha ocorrer, enquanto que a **Severidade** avalia o impacto dos efeitos da falha, a gravidade dos efeitos.

Os autores relacionam a severidade aos efeitos dos modos de falha. No entanto, a ocorrência é relacionada, dependendo da abordagem e da interpretação, ao modo de falha ou às causas do modo de falha.

X) Ferramenta GUT

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 parâmetros para cada fator de **Gravidade** (G), **Tendência** (T) e **Urgência** (U) conforme Tabela 3.2.

Estes parâmetros são tomados para se estabelecer prioridades na eliminação de problemas, especialmente se forem vários e relacionados entre si. Segundo GRIMALDI (1994), a técnica de GUT foi desenvolvida com o objetivo de orientar decisões mais complexas, isto é, decisões que envolvem muitas questões. A mistura de problemas gera confusão. Nesse caso, é preciso separar cada problema que tenha causa própria. Depois disso, é hora de saber qual a prioridade na solução dos problemas detectados. Isto se faz com três perguntas.

Qual a gravidade do desvio? Indagação que exige outras explicações (Efeitos que surgirão em longo prazo, caso o problema não seja corrigido; impacto do problema sobre coisas, pessoas, resultados).

Qual a urgência de se eliminar o problema? (A resposta está relacionada com o tempo disponível para resolvê-lo).

Qual a tendência do desvio e seu potencial de crescimento? (Probabilidade que o problema se tornará progressivamente maior ou tenderá a diminuir e desaparecer por si só).

Tabela 3.2 - Pontuação G × U × T

Valor	Gravidade	Urgência	Tendência	G×U×T
5	Os prejuízos e as dificuldades são extremamente graves	É necessária uma ação imediata	Se nada for feito, a situação irá piorar rapidamente	125
4	Muito grave	Com alguma urgência	Vai piorar em pouco tempo	64
3	Grave	O mais cedo possível	Vai piorar em médio prazo	27
2	Pouco grave	Pode esperar um pouco	Vai piorar em longo prazo	8
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar e pode até melhorar	1

Fonte: COLENGHI, 2007

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 MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade

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 consequências 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-se o caráter empírico dessa filosofia são muito comuns iniciativas no sentido de aplicá-la de forma incompleta, gerando por consequência algumas derivações equivocadas e até produzindo resultados incorretos. Para regulamentar a aplicação da utilização da estratégia de MCC, 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 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, tais como maximização da disponibilidade dos ativos, necessidade de redução dos custos de manutenção atualmente em ascensão em face do aumento de complexidade de automação, exigência de novos padrões de qualidade, necessidade de reduzir as possibilidades de acidentes, implicando por consequência em maior segurança e regulamentações rigorosas com relação ao meio ambiente

A MCC tem como pilares questões que devem ser respondidas a partir da aplicação dessa filosofia.

- Quais são as funções e padrões de desempenho 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 onde 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 a 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 equipamento estão contextualizadas no sistema ao qual o equipamento 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-se 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 de 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 no estado de falha o mesmo não poderá exercer a sua função preestabelecida.

Na MCC são consideradas as falhas funcionais que consistem na interrupção ou incapacitação do 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 às suas consequências 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 têm-se 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 na

metodologia da 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 na 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 que 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 da 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.

Assim, a identificação dos modos de falha 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 falha 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 perda brusca e total de capacidade funcional; desgaste por fadiga que ocorre com uma diminuição gradativa do número de ciclos necessários para falha; além da 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 através da ‘Curva da banheira’, citado na Seção 3.2.3.

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 e equipamentos têm mecanismos de falhas cuja representação se distancia daquela da ‘curva da banheira’. Na Figura 3.6, são apresentados alguns tipos de curvas de desgastes típicas.



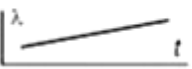



	Curva		Características	Exemplos
Falhas por desgaste	A		• Curva anormal	• Motores à vapor do século 18
	B		• Dispositivos simples • Máquinas complexas mau projetadas	• Bomba de água veicular • Cadarço de tênis
	C		• Estruturas • Elementos de desgaste	• Carroceria • Pneus
Falhas Aleatórias	D		• Máquinas complexas com rotinas de estresse.	• Válvulas de alívio de pressão
	E		• Máquinas complexas bem projetadas	• Girobússola
	F		• Componentes eletrônicos	• Placa mãe de computador

Figura 3.6 - Curvas de taxa de falha típicas
Fonte: BERTSCHE, 2008

Na Figura 3.6 pode-se considerar que o comportamento da **curva A** é uma típica ‘curva da banheira’ com as três regiões bem definidas; na **curva B** a taxa de falhas permanece constante até que falhas por desgaste ocorrem na fase de desgaste; a **curva C** por sua vez, é caracterizada por um crescimento contínuo da taxa de falha. O comportamento da **curva D** mostra uma baixa taxa de falha no início da vida seguido de um abrupto crescimento da taxa de falha até uma estabilização. A **curva E** demonstra taxa de falha constante em todo o período, sendo claramente identificadas como falhas aleatórias. Por fim a **curva F** é marcada

por uma alta taxa de falha no início da vida útil seguida por uma baixa significativa estabilizando em uma taxa até o fim da vida.

Consideremos a **curva A** para uma análise mais detalhada. No período de **mortalidade infantil** (prematura), a taxa de falhas é alta, porém decrescente. As falhas preliminarmente são causadas por defeitos congênitos ou fraquezas, erros de projeto, peças defeituosas, processos de fabricação inadequados, mão-de-obra desqualificada, estocagem inadequada, instalação imprópria, partida deficiente entre outras. A taxa de falha diminui com o tempo, conforme os reparos de defeitos eliminam componentes frágeis ou à medida que são detectados e reparados erros de projeto ou de instalação. SELLITTO (2005) aponta que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a corretiva, ou seja, cabe à manutenção não apenas reparar o equipamento, mas corrigi-lo, para que a falha não se repita.

No intervalo seguinte (**fase de maturidade** ou período de vida útil - casual), o valor médio da taxa de falha é constante. Nesta fase, as falhas ocorrem por causas aleatórias, externas ao sistema, tais como acidentes, liberações excessivas de energia, mau uso ou operação inadequada, e são de difícil controle. Falhas aleatórias podem assumir diversas naturezas, tais como: sobrecargas aleatórias, problemas externos de alimentação elétrica, vibração, impactos mecânicos, bruscas variações de temperatura, erros humanos de operação entre outros. Falhas aleatórias podem ser reduzidas projetando equipamentos mais robustos do que exige o meio em que opera ou padronizando a operação. SELLITTO (2005) aponta que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a preditiva, ou seja, monitoramento para detectar o início da fase de desgaste.

Na fase seguinte (**desgaste**), há crescimento da taxa de falha (a mortalidade senil), que representa o início do período final de vida do item. Esta fase é caracterizada pelo desgaste do componente, corrosão, fadiga, trincas, deterioração mecânica, elétrica ou química, manutenção insuficiente entre outros. Para produzir produtos com vida útil mais prolongada, deve-se atentar para o projeto, utilizando materiais e componentes mais duráveis, um plano de inspeção e manutenção que detecte que iniciou a mortalidade senil e a previna, por substituição preventiva de itens, além da supressão dos agentes nocivos presentes no meio.

SELLITTO (2005) aponta que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a preventiva, ou seja, já que o equipamento irá falhar, cabe à manutenção aproveitar a melhor oportunidade para substituir ou reformar o item.

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 consequências.

A descrição desses efeitos deve suportar a avaliação das consequências das falhas.

Especificamente quando da descrição dos efeitos das falhas deve-se registrá-los, tal como a seguir.

- (i) **Qual a evidência de que a falha ocorreu.** Pode ser identificada através dos sistemas de alarmes e supervisão existentes ou através de observações de cheiro, fumaça, ruído, etc;
- (ii) **De que modo ela coloca ameaça à segurança ou ao meio ambiente.** 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;
- (iii) **De que modo ela afeta a operação ou produção.** O impacto sobre a produção é identificado analisando-se aspectos como indisponibilidades de equipamentos ou linhas de transmissão, restrições operacionais, perda de confiabilidade, etc;
- (iv) **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 consequências (impactos dos efeitos na segurança física, no meio ambiente e no processo).
- (v) **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 consequências 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 consequências.

3.4.4. Consequências das falhas

No processo de MCC a análise das consequências das falhas é o ponto mais importante no processo. Essa fase se torna o diferencial na MCC, pois através da estratificação dessas consequências é que se estabelece um plano de ação efetivo, resultando em medidas mais adequadas para cada caso. Dependendo das consequências de cada falha, devem-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 consequências 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 consequências 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 às 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 consequências das falhas são agrupadas como falhas ocultas, segurança e meio ambiente, operacionais e não operacionais.

As consequências das falhas ocultas são consideradas importantes na medida em que ao ocorrerem não são percebidas e mantêm o sistema sob condições inadequadas de operação podendo haver 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 àquelas associadas aos dispositivos de proteção que não dispõem de auto supervisão. Os dispositivos de proteção são equipamentos ou sistemas que, em geral, têm as funções de alertar o operador de uma condição anormal, desligar o equipamento principal em caso de ocorrência de falha, eliminar ou minimizar as condições anormais que sucedem a uma falha e que poderão causar sérios prejuízos, isolar a falha do sistema e finalmente, evitar que situações perigosas sejam agravadas.

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

Analisando-se 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 consequências, 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 consequências decorrentes de suas falhas são de altíssimos riscos visto que, ao acontecer, o sistema protegido fica sob condições completamente inadequadas e sujeito a desdobramentos irreparáveis com prejuízos sem comparação 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 é supervisionada e ao surgirem, deixam os sistemas por eles protegidos, em condição fragilizada.

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 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 falha 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 a importância do equipamento protegido, na instalação, o que determinará o nível de aceitabilidade, pela empresa, de uma falha oculta no dispositivo de proteção tal como a probabilidade de que uma função protegida venha a falhar em um determinado período e 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 consequências 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 consequências que se seguem, ou seja, consequências sobre a segurança, consequências operacionais e consequências não operacionais, estão associadas às falhas evidentes, ou seja, aquelas falhas que são percebidas imediatamente pelo operador.

Considerando as consequências sobre a segurança e o meio ambiente, um modo de falha tem consequências 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 aos prejuízos ao bem estar da sociedade.

Em se tratando de consequências operacionais, uma falha tem consequência 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 total (saída do equipamento), a qualidade de produção (o equipamento continua a trabalhar em condições inadequadas), a prestação de serviço aos usuários. O resultado é o aumento dos custos de operação associados aos custos diretos de reparo.

Com relação às consequências não operacionais, estas são as consequências que não afetam diretamente a segurança, o meio ambiente ou a capacidade operacional. As únicas consequências associadas com essas falhas são os custos diretos com reparo, assim sendo também chamadas de consequências 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 consequências 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 consequências mencionadas.

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

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?

Um modelo desse diagrama é apresentado na Figura 3.7.

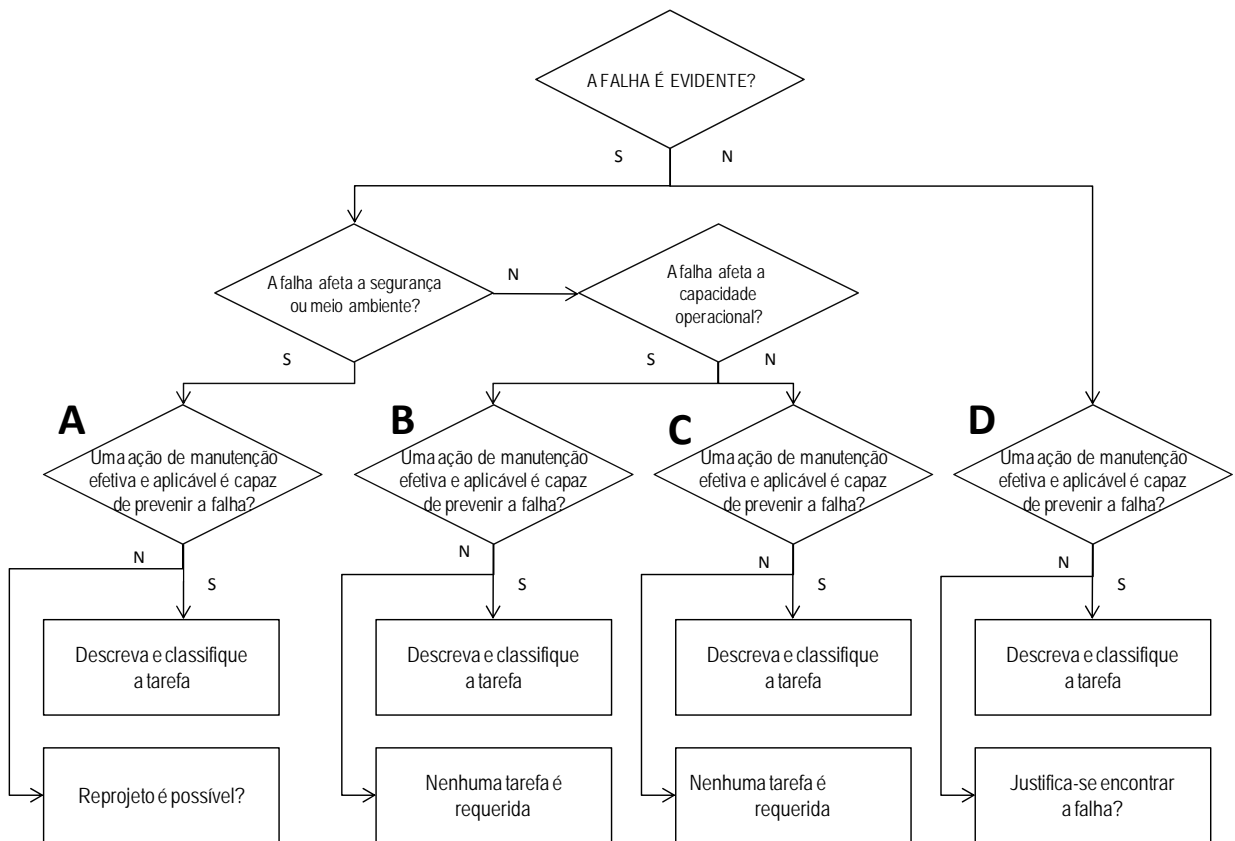


Figura 3.7 - Diagrama de decisão
 Fonte: SMITH, 1993

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.

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 MUBRAY (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 lógico na Figura 3.8, adaptado de HAUGE & JONHSON (2001).

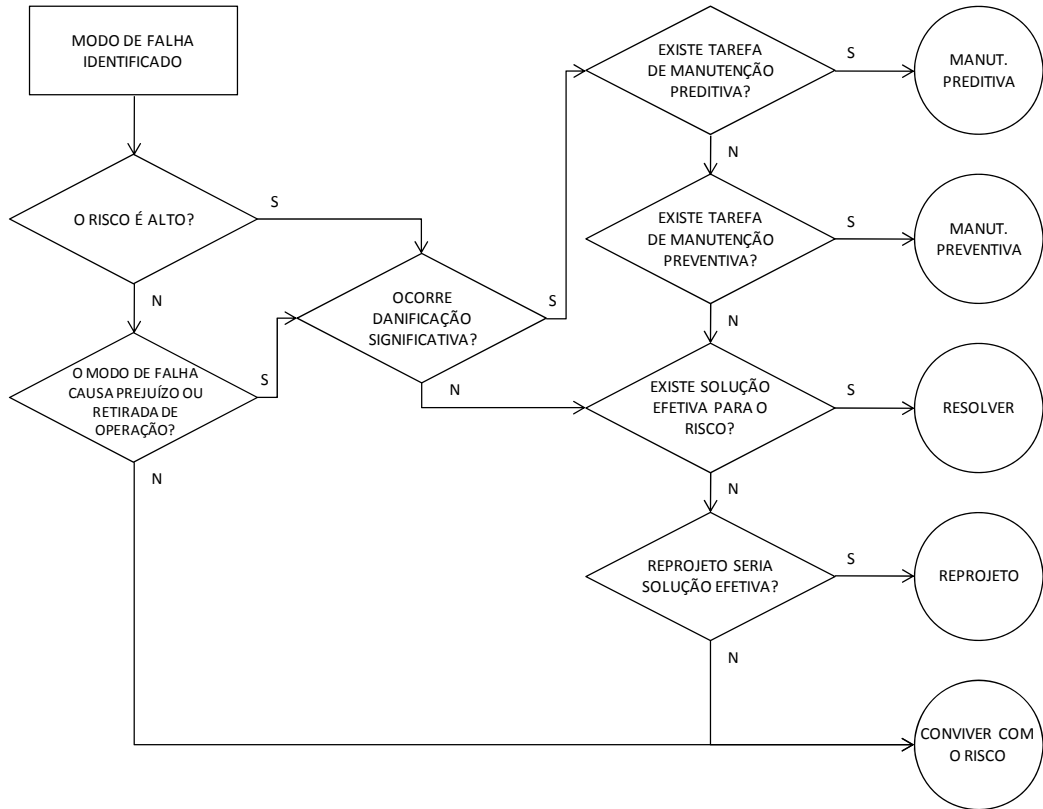


Figura 3.8 - Diagrama lógico de decisão
Fonte: HAUGE & JONHSON (2001)

CAPÍTULO 4

Modelo de gerenciamento de riscos utilizando as ferramentas de MCC em Instalações do Sistema Elétrico

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 a Análise de Modo de Falha, Efeitos e Criticidade (*FMEA/FMECA*), e outras como Análise de Árvore de Falha (AAF) e Análise Probabilística de Riscos (APR).

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 consequências de cada modo de falha e serão direcionadas essas consequências para os riscos associados. O gerenciamento dos riscos será abordado de acordo com a severidade da falha e da frequência 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 como resultados o conhecimento detalhado da instalação e de seus riscos, avaliação dos possíveis danos às instalações, aos trabalhadores, à população externa e ao meio ambiente, além de prover subsídios para a implementação de medidas para a redução e gerenciamento dos riscos existentes na instalação.

Considerando-se que o risco é uma função da frequência de ocorrência e dos danos (consequências) 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 4.1.

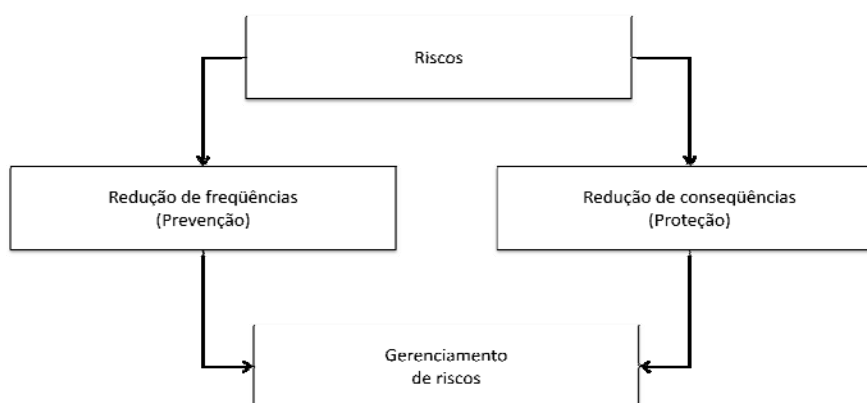


Figura 4.1 - Processo de gerenciamento de riscos
Fonte: LAFRAIA, 2001

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.

Com relação às medidas preventivas, temos aquelas que se referem à melhoria da qualidade do sistema (aumento da confiabilidade individual dos componentes, aperfeiçoamento da configuração do sistema); às que promovem aumento da disponibilidade dos sistemas de segurança; as que estão relacionadas à revisão da frequência de inspeções nos equipamentos vitais, essenciais e ordinários e as que fazem parte de programa de capacitação e treinamento de pessoal - contemplando formação profissional, experiência na atividade, tempo disponível para a execução de tarefas, comportamento/procedimentos adotados em situações rotineiras/emergenciais e local/ambiente de trabalho.

As medidas relacionadas com a redução de consequências não têm o caráter preventivo, já que visam minimizar os danos decorrentes de eventuais acidentes, tal como diminuição da quantidade estocada ou manipulada de substâncias perigosas; contenção de vazamentos (diques e bacias de contenção, sistemas de drenagem fechados); limitação dos danos resultantes de incêndios e explosões; eliminação de locais de confinamento de gases e vapores (sistemas de revestimento; sistemas de prevenção/combate ao fogo; reforço de estruturas e alteração da disposição de equipamentos/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 a questionamentos tais como o que aconteceria caso houvesse uma falha no sistema em análise e 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 consequência 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-se 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 permita uma decisão adequada.

Dentre as considerações dessas graduações podem-se adotar as que estão mencionadas na sequência.

Graus de severidade (consequências)

De acordo com JONES (1995), 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 estimação 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 níveis a seguir.

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) e 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 e 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. 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. Segue uma das graduações utilizadas.

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 - Improvável: 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 \times frequência, estabelecer a graduação do risco.

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

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

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

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-se essas definições a matriz de risco fica conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Matriz do risco

Severidade/ Frequência	Inacreditável	Improvável	Remota	Provável	Frequente
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

Fonte: NUNES, 2001

4.3. Aplicação das técnicas de MCC - 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 sequencial e de fácil entendimento.

Essa ordenação do processo é feita a partir da repartição da unidade em sistemas. A definição de sistema 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 sequência são determinadas as falhas funcionais de cada subsistema e as causas das falhas, ou seja, os modos de falhas (**Etapa 3**). Essas 3 etapas são chamadas por JONES (1995) de decomposição das funções dos sistemas.

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, reprojeção, 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 possam 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 decisões listadas a seguir, 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); de 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 tenda 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. Na 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, as falhas funcionais e os 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, as falhas funcionais e os 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 desnecessária a indexação do sistema, visto que ele 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 deve ser utilizada necessariamente 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 supersistema (bloco de sistemas) é baseada no uso de seis dígitos. O dígito mais a esquerda identifica o sistema - nesse caso considera-se um bloco de sistema com no máximo nove 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.

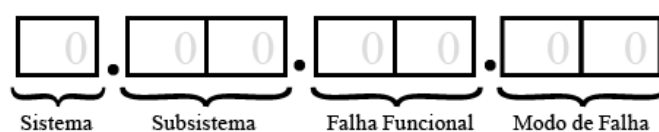


Figura 4.2 - Sistema de numeração

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 sistemas listados a seguir 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 anteriormente, esses sistemas foram escolhidos considerando-se 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 consequências são extremamente críticas para o homem.

4.3.3.1. 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.

Uma vez 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 da ocorrência de desligamento de um transformador.

Os transformadores de potência constituem grandes potenciais de risco. Dentre os pontos de risco envolvidos nos transformadores, o óleo isolante (cujas duas das principais 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: subsistema de transformação, subsistema de refrigeração forçada, subsistema de isolamento e resfriamento e subsistema de controle e supervisão.

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

As descrições dos subsistemas associados a este sistema, assim como as falhas funcionais e modo de falha associadas ao seu funcionamento, estão discriminadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Sistema Transformadores de Potência

Transformadores de Potência			
Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
<i>1.01.00.00.</i> Subsistema de transformação	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. 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.	<i>1.01.01.00.</i> Incapacidade de transformar as tensões	<i>1.01.01.01.</i> Curto-circuito entre as espiras do enrolamento de alta tensão devido à deterioração do material
			<i>1.01.01.02.</i> Curto-circuito entre as espiras do enrolamento de alta tensão devido à vibração excessiva
			<i>1.01.01.03.</i> Curto-circuito no enrolamento de baixa tensão devido à deterioração do material
			<i>1.01.01.04.</i> Curto-circuito no enrolamento de baixa tensão devido à vibração excessiva
			<i>1.01.01.05.</i> Abertura de espiras no enrolamento de alta tensão devido à deterioração do material
			<i>1.01.01.06.</i> Abertura de espiras no enrolamento de alta tensão devido à vibração excessiva
			<i>1.01.01.07.</i> Abertura de espiras no enrolamento de baixa tensão devido à deterioração do material
			<i>1.01.01.08.</i> Abertura de espiras no enrolamento de baixa tensão devido à

Transformadores de Potência

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
			vibração excessiva
1.02.00.00. Subsistema de refrigeração forçada	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grupo de radiadores; • Grupo de ventiladores; • Sensores de temperatura <p>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</p>	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

Transformadores de Potência

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
	<p>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).</p> <p>O grupo de radiadores tem como função principal promover por radiação a redução dessa temperatura no corpo do transformador.</p> <p>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.</p>		<i>1.02.02.03.</i> Fiação aberta no circuito de acionamento dos ventiladores
<i>1.03.00.00.</i> Subsistema de isolamento e resfriamento	Composto pelo óleo isolante que envolve todo o interior do	<i>1.03.01.00.</i> Perda da capacidade de isolamento	<i>1.03.01.01.</i> Deterioração do óleo

Transformadores de Potência

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
	<p>equipamento. O óleo isolante tem as seguintes funções:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 <p>A função de transferir o calor produzido pela parte ativa é intensificada a partir do acionamento do subsistema de refrigeração forçada do transformador</p>		<p><i>1.03.01.02.</i> Vazamento de óleo</p> <hr/> <p><i>1.03.01.03.</i> Contaminação do óleo</p>
<i>1.04.00.00.</i> Subsistema de controle e supervisão	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	<i>1.04.01.00.</i> Não acionamento dos ventiladores	<p><i>1.04.01.01.</i> Fiação aberta na caixa de controle e supervisão</p> <hr/> <p><i>1.04.01.02.</i> Relé auxiliar ou componentes do circuito de acionamento inoperante</p>

Transformadores de Potência

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
	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.		<i>1.04.01.03.</i> Termostato com defeito
		<i>1.04.02.00.</i> Não supervisionamento da temperatura do transformador	<i>1.04.02.01.</i> Termostato com defeito interno
			<i>1.04.02.02.</i> Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
			<i>1.04.02.03.</i> Relé auxiliar ou componentes do circuito de supervisão inoperante
		<i>1.04.03.00.</i> Não supervisionamento do nível de pressão do transformador	<i>1.04.03.01.</i> Pressostato com defeito interno
			<i>1.04.03.02.</i> Fiação aberta na caixa de controle e supervisão
			<i>1.04.03.03.</i> Relé auxiliar ou componentes do circuito de supervisão inoperante
		<i>1.04.04.00.</i> Interrupção de transmissão de informações para	<i>1.04.04.01.</i> Fiação aberta na caixa de controle e supervisão

Transformadores de Potência

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
		a sala de comando	<i>1.04.04.02. Cabeação aberta entre a régua de terminais da caixa e os painéis da casa de comando</i>
			<i>1.04.04.03. Fiação em curto-circuito na caixa de controle e supervisão</i>
			<i>1.04.04.04. Cabeação em curto-circuito entre a régua de terminais da caixa e os painéis da casa de comando.</i>

4.3.3.2. 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 dispositivos 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, na 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 até que a sua proteção dê comando para abrir.

Quando, na manobra de abertura, o disjuntor deve dominar todos os casos de manobras possíveis da instalação onde está situado (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-se 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 prejuízos à confiabilidade e desligamentos de carga importantes com custo social irreparável.

Os disjuntores, como já mencionado, são grandes potenciais de riscos, considerando-se tanto as consequências 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: subsistema de acionamento ou mecanismo de operação; subsistema de controle e supervisão ou unidade de comando; 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.

As descrições dos subsistemas associados a este sistema, assim como as falhas funcionais e modo de falha associadas ao seu funcionamento, estão detalhadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Sistema disjuntores de alta tensão

Disjuntores de alta tensão			
Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
2.01.00.00. Subsistema de acionamento ou mecanismo de operação	Subsistema que possibilita o armazenamento de energia necessária à operação mecânica do disjuntor, assim como a necessária liberação dessa energia através de mecanismos apropriados, quando do comando de abertura ou fechamento do mesmo. Os acionamentos podem ser monopolares ou tripolares e são utilizados em conformidade com as necessidades da instalação. 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	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

Disjuntores de alta tensão

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
	interromper a corrente através dos contatos. Alguns tipos de acionamento são: por solenóide; por mola; por ar comprimido; hidráulico.		<p>2.01.03.02. Defeito na válvula por fadiga de material</p> <hr/> <p>2.01.03.03. Abertura do circuito hidráulico</p> <hr/> <p>2.01.03.04. Abertura do circuito elétrico de acionamento</p>
2.02.00.00. Subsistema de controle e supervisão ou unidade de comando	Compõe os elementos de comando, controle e supervisão do disjuntor. 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	<p>2.02.01.00. Falha no comando de acionamento</p> <hr/> <p>2.02.02.00. Não supervisionamento das pressões do óleo e gás</p>	<p>2.02.01.01. Fiação aberta na caixa de controle e supervisão</p> <hr/> <p>2.02.01.02. Relé auxiliar ou componentes do circuito de supervisão inoperante</p> <hr/> <p>2.02.01.03. Falta de tensão auxiliar</p> <hr/> <p>2.02.02.01. Pressostato com defeito interno</p>

Disjuntores de alta tensão

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
	pressões do óleo e gás e o comando em geral do equipamento.		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. Cabeação 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. Cabeação 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	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, pois a formação de arco durante o processo de abertura é fonte de possíveis explosões e danificação do equipamento e lesões, caso não se tenha a extinção desse arco de acordo com o esperado.	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

4.3.3.3. 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 Rede³ (ONS, 2012). 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: subsistema de cabos de alta tensão, conectores e isoladores e estruturas, subsistema de cabos pára-raios e cabos de aterramento.

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

As descrições dos subsistemas associados a este sistema, assim como as falhas funcionais e modo de falha associadas ao seu funcionamento, estão detalhadas na Tabela 4.4.

³ Procedimentos de Rede - são documentos de caráter normativo elaborados pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), com participação dos agentes, e aprovados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que definem os procedimentos e os requisitos necessários à realização das atividades de planejamento da operação eletroenergética, administração da transmissão, programação e operação em tempo real no âmbito do SIN (Sistema Interligado Nacional).

Tabela 4.4 – Sistema barramentos

Barramentos			
Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
<p><i>3.01.00.00.</i> Subsistema de cabos de alta tensão, conectores, isoladores e estruturas</p>	<p>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.</p>	<p><i>3.01.01.00.</i> Cabos não transferem a potência</p>	<i>3.01.01.01.</i> Rompimento das veias dos cabos devido a excesso de tensão mecânica
			<i>3.01.01.02.</i> Rompimento das veias dos cabos devido à corrosão
			<i>3.01.01.03.</i> Rompimento das veias dos cabos devido à fadiga do material
			<i>3.01.01.04.</i> Curto-circuito entre fases por vibração devido ao mau dimensionamento dos vãos
			<i>3.01.01.05.</i> Curto-circuito entre fases por vibração devido à dilatação dos cabos face sobrecorrentes
			<i>3.01.02.00.</i> Abertura dos circuitos devido à folga nos conectores
		<p><i>3.01.02.01.</i> Quebra de conector por fadiga de material</p>	<i>3.01.02.02.</i> Excesso de tensão mecânica
			<i>3.01.02.03.</i> Corrosão
			<i>3.01.02.04.</i> Folga ou quebra de parafuso
			<i>3.01.03.00.</i> Incapacidade de suportar os cabos
		<p><i>3.01.03.01.</i> Tombamento de estruturas face corrosão das partes metálicas</p>	<i>3.01.03.02.</i> Tombamento de

Barramentos

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
			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. <i>Subsistema de cabos pára-raios e cabos de aterramento</i>	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	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	3.02.02.01. Falha nas conexões

Barramentos

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
	estruturas.	de aterramento dos equipamentos e estruturas	dos cabos às estruturas/equipamentos devido à conexões folgadas face quebra ou soltura de parafuso <hr/> 3.02.02.02. Falha nas conexões dos cabos às estruturas devido à fadiga do material <hr/> 3.02.02.03. Falha nas conexões dos cabos às estruturas devido à trinca de conector face tensão mecânica excessiva

4.3.3.4. 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 suas funções principais são: o suprimento de tensão firme e independente do sistema elétrico à instalação; e o provimento a algumas cargas de tensão própria derivada desse sistema, considerando a importância e essencialidade dessas cargas quando da falta da tensão normal do sistema elétrico.

Para um estudo de MCC esse sistema pode ser composto dos subsistemas a seguir.

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

As descrições dos subsistemas associados a este sistema, assim como as falhas funcionais e modo de falha associadas ao seu funcionamento, estão detalhadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Sistema serviços auxiliares

Serviços Auxiliares			
Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
4.01.00.00. Subsistema Banco de baterias	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	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	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	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

Serviços Auxiliares

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
			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	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.	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

Serviços Auxiliares

Subsistema	Descrição	Falha Funcional	Modo de Falha
			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	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.	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.

4.3.3.5. Sistema de 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 perda mínima de carga, evitando-se danos 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 alertar os operadores em caso de perigo (pré-ocorrência de anormalidade) ou imediatamente após uma ocorrência de anormalidade; isolar rapidamente as faltas ocorridas no sistema, como curtos circuitos ou sobretensões não suportáveis pelos equipamentos; 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 como tipos de proteção a proteção contra incêndio; contra descargas atmosféricas e surtos de manobras; contra perturbações no sistema elétrico, como curtos circuitos ou sobretensões.

Tanto as proteções contra incêndio como a proteção contra descargas atmosféricas são vitais para a instalação considerando-se 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-se 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, de reatores, de barramentos e 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.

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. 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 (régua de conexão de cabos de comando e controle).

Para os sistemas de proteção podem ser visualizados os subsistemas a seguir.

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 de proteção que em função de suas falhas funcionais desencadeiam as consequências mais danosas aos equipamentos da instalação.

As descrições dos subsistemas associados a este sistema, assim como as falhas funcionais e modo de falha associadas ao seu funcionamento, estão detalhadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Sistema Proteção

Subsistema	Função	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha
5.01.00.00 RELÉS DE PROTEÇÃO	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
5.02.00.00 CIRCUITOS	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 à 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
			5.02.01.02. Fios ou cabos partidos devido ao 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
				5.02.01.03. Curto-circuito na fiação ou cabos devido à perda de isolamento por desgaste do material

Subsistema	Função	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha
			isolante	
			5.02.01.04. Conexões trocadas devido à falha humana durante a montagem ou testes	Saída de blocos de cargas desnecessariamente
	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 à 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
5.04.00.00 ANUNCIADORES E	Alertar os operadores quando de ocorrência anormal na instalação	5.04.01.00. Não alertar os operadores quando de	5.04.01.01. Falha de operação de componentes auxiliares por queima	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de informações de ocorrências

Subsistema	Função	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha	
ALARMES SONOROS		ocorrência	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		
			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	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	

Subsistema	Função	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha
			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. Avaliação dos riscos - Sistema de Proteção

Após a identificação dos efeitos das falhas através da *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 tomadas visando à 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, conforme comentado no Capítulo 3.

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, a taxa de falha, informações a partir do conhecimento *a priori* dos especialistas, a bagagem de conhecimento das pessoas envolvidas, além da massa de experiência adquirida pelos mesmos.

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 consequências 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). Valores típicos para as consequências são mostrados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Categorias de Severidade Típica

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

No contexto de riscos em uma instalação de transmissão pode-se adotar a seguinte faixa de severidade. A Tabela 4.8 dá essa classificação:

Tabela 4.8 – Faixa de Severidade - Instalação de Transmissão

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

Aplicando essas faixas para as consequências 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 de Proteção, a Tabela 4.9 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-se 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 consequências 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 4.9 – Riscos de subsistemas

Subsistema	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequências da Falha
5.01.00.00 RELÉS DE PROTEÇÃO	<i>5.01.01.01.</i> Recusa da proteção decorrente de graduação, implantação de ajustes ou alterações mecânicas do relé	Saída de blocos de cargas superiores àqueles estabelecidos em estudo	Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema
		Equipamentos conduzirão correntes de curtos circuitos por tempo excessivo ao estabelecido.	Explosões com possibilidade de afetar outros equipamentos
	<i>5.01.02.01.</i> 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
5.02.00.00 CIRCUITOS	<i>5.02.01.01.</i> 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	Explosões com possibilidade de afetar outros equipamentos
		Saída de blocos de cargas desnecessariamente	Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema
	<i>5.02.01.02.</i> 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	Explosões com possibilidade de afetar outros equipamentos
		Saída de blocos de cargas desnecessariamente	Perda de suprimento acima do esperado, instabilidade do sistema
		<i>5.02.01.03.</i> Curto-circuito na fiação ou cabos devido à perda de isolamento por desgaste do material isolante	Saída de blocos de cargas desnecessariamente

Subsistema	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequências da Falha
	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
5.04.00.00 ANUNCIADORES E ALARMES SONOROS	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	Demora no reconhecimento de ocorrências e perdas de	Perda de suprimento acima do esperado, desligamento

Subsistema	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequências da Falha
	bobina devido a curto-circuito	informações de ocorrências	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
	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 é 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 a seguir (ALADON, 2002).

- 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 em SIQUEIRA (2001).

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 o 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, 2002), sendo a estruturação de programas de manutenção; revisão de procedimentos operacionais; levantamento de necessidades de modificações de projetos;

Analisado sob o ponto de vista de riscos, a aplicação da MCC resulta 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 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. Para isso se faz necessário a estruturação de um PGR - Programa de Gerenciamento dos Riscos dos ativos em operação incluindo-o nas ações permanentes da empresa.

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.

Um programa de gerenciamento de riscos deve contar com o apoio da alta direção da empresa, uma vez que deve fazer parte da sua política prevencionista, na qual todos os funcionários devem ter as suas atribuições e responsabilidades muito bem definidas. Assim, o PGR deve ter, entre outras, as características (FANTAZZINI & SERPA, 2002) de 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 PGR deve ser dimensionado, de forma a atender os requisitos de promover o 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 de um PGR está intimamente ligado aos aspectos da conscientização, integração, apoio, documentação e 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. 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 devem contemplar 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, além de 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 processo, 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 e 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 são listados a seguir.

- 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 tipos de dados a seguir.

- 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 a 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 conformidades 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&IDs⁴) desatualizados, o que faz que, quando da necessidade de consulta a esses documentos, decisões erradas sejam tomadas, podendo, conseqüentemente, induzir 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,

⁴ *Piping and Instrumentation Diagram* - Diagrama bastante utilizado em processos industriais que exhibe as tubulações de determinado processo, juntamente com os equipamentos instalados e instrumentação da planta.

uma vez que os processos, materiais e equipamentos, ou mesmo a comunidade vizinha à 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, levar 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: processo de garantia da qualidade no projeto inicial, na fabricação de materiais e equipamentos e na instalação; 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 ensaios, o mesmo não ocorre com outros itens.

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 sejam compatíveis entre si.

Essa compatibilidade nem sempre é fácil de ser definida, mas, frequentemente, 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 nas formas de ausência de ação, ação tardia, ação errada e 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 do conhecimento, há a necessidade de haver um equilíbrio entre teoria e prática. A capacitação restrita 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 consequências, 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 o 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 e 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 aspectos de leis, normas e critérios ambientais; segurança e higiene industrial; normas técnicas de instituições nacionais e internacionais (ABNT, ASME, ISO, API e NFPA, entre outras).

Já, com relação às normas e procedimentos internos, estas normalmente contemplam os aspectos de procedimentos operacionais; segurança, resposta a emergências, especificações de projetos, caracterização de substâncias químicas e 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 consequências, 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 a identificação dos perigos e reduzir os riscos de suas atividades; elaboração e implantação de planos de emergência; Informação e treinamento das comunidades locais, que possam sofrer danos decorrentes de suas atividades; atuação em conjunto com os órgãos de governo na prevenção e na resposta a acidentes.

CAPÍTULO 5

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 consequências são indesejáveis como é o caso de perda de vida. Associadas a essas consequências o ambiente do SEB - Setor Elétrico Brasileiro com as reformas a que foi submetido na última década, impulsiona a estudos de natureza técnico-gerencial que torne o mais harmônica 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 MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade. Como já mencionado, 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 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 ante 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 consequências 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 frequência 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 consequências passa 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 emocional. Deve ser ressaltada 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 assegurar a maior confiabilidade possível dos sistemas; reduzir os custos com restauração dos sistemas quando de ocorrência de falha; estender a vida da instalação; reduzir a taxa de falha; usar mais efetivamente os recursos de manutenção; 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 uma vez 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, mostrou a aderência da metodologia aos objetivos de gerenciamento de riscos.

É ainda importante ressaltar que considerando a conjuntura atual do SEB e o estágio que a sociedade brasileira atingiu no que se refere à conscientização da cidadania, é extremamente necessário o desenvolvimento de uma metodologia como a proposta nesse trabalho para se atingir 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. 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 constatada 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 contribuirá fortemente para a formação das distribuições de probabilidades visando à 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 falha dos sistemas em instalações elétricas.

Outras contribuições para trabalhos futuros devem considerar também outros segmentos de avaliação de riscos como a aplicação de RBI (IBR - Inspeção Baseada em Riscos). Esse segmento de estudo associado aos métodos de MCC poderão complementar com maior consistência a análise de riscos em instalações elétricas.

Apêndices

Diagrama de decisão – ALADON

A empresa inglesa ALADON tem como objetivo principal a aplicação da estratégia de MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade. Além de manterem especialistas e desenvolvedores de estudos com a aplicação dessa estratégia, disponibiliza *software* e treinamentos em MCC.

A ALADON também faz transferência da tecnologia de MCC diretamente a grupos de clientes específicos e dá consultoria na área de MCC. A ALADON tem como um dos suportes o Sr. JOHN MOUBRAY que introduziu a técnica de MCC com um enfoque novo, dando maior ênfase na visão humana no processo e considerando 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-se 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 MCC através dessa entidade é muito reconhecida. Dessa forma a utilização do diagrama de decisão, nos moldes estabelecidos pela ALADON, é considerada completa e de fácil entendimento. Com o objetivo de dar uma visão mais detalhada desse diagrama, a seguir é apresentado um modelo do diagrama de decisão utilizado pela ALADON.

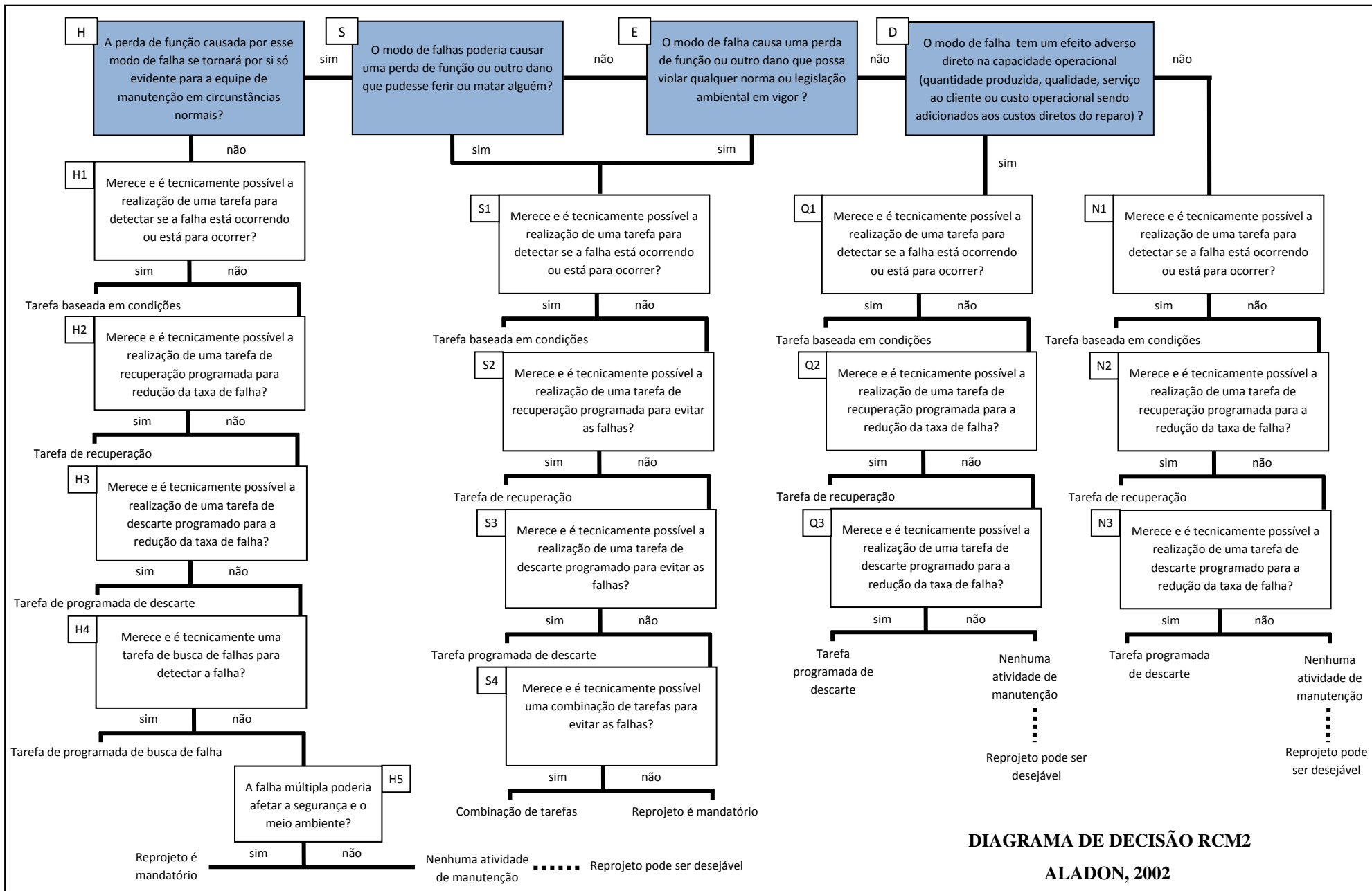


DIAGRAMA DE DECISÃO RCM2
ALADON, 2002

Referências Bibliográficas

ABNT. ISO31000:2009. *Gestão de Riscos, Princípios e Diretrizes*. Disponível em <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=57311>>. Acesso em 2 abr. 2012.

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., *Crerios para estabelecimento de índices e níveis de desempenho operacional*. In: X Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Brasil, 1989.

ANDERS, G.J., ENDRENYL,J.,LEITE DA SILVA,A.M., *Probabilistic Evaluation of the Effect of Maintenance on Reliability - An Application.*, IEEE, Transaction, 1997.

ANEEL, *Distribuição de Energia Elétrica. Qualidade do Serviço*, Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=79&idPerfil=2>>. Acesso em 14 abr. 2012.

BARROS FILHO, L.C., *Modelos de Decisão Aplicados à Avaliação da Manutenibilidade*, Dissertação de mestrado, UFPE, 1995.

BERGAMO, V. F., *Confiabilidade Básica e Prática*. São Paulo: E. Blücher, 1997.

BERNSTEIN, P. L., *Desafio aos deuses: a fascinante história do risco*. 6. ed. Tradução de: Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 390 p.

BERTSCHE, B., *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering*, Springer, Stuttgart, 2008.

BILLINTON, R, ALLAN, R.N., *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques*, Pitman Advanced Publishing Program, 1983.

BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J., *Logistics Engineering and Management*. 6th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2003.

CARTER, A.D.S., *Mechanical Reliability*, Macmillan Education Ltd., 2.ed.,1986.

CARVALHO, Antonio Carlos Cavalcanti de; PUENTE, Antonio Perez; FUCHS, Artur; PORTELA, Carlos Medeiros et al. *Disjuntores e Chaves: Aplicação em Sistemas de Potência*. UFF – 1995.

CCPE - Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas elétricos, *Projeção do mercado de energia elétrica – ciclo 2000*, 4^a. reunião do comitê técnico, 2000.

CETESB. Análise, *Avaliação e Gerenciamento de riscos*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, vol.2, 2001.

COLENGHI, Vitor Mature, *O&M e Qualidade Total: uma integração perfeita*. 3^a ed. Uberaba: VMC, 2007.

COLOMBO, R., *Disjuntores de Alta Tensão*, NOBEL - SIEMENS, 1986.

DE CICCIO, Francesco, FANTAZZINI, Mario Luiz, *Prevenção e controle de perdas - uma abordagem integrada*. São Paulo: Fundacentro, 1986.

DNV, Technica., *Conceitos Fundamentais, Formas de Expressão e Critérios*. São Paulo, 1992 (Apostila).

FANTAZZINE, M. L. & SERPA, R. R., *Aspectos gerais de segurança e Elementos de Gerenciamento de Riscos*. Rio de Janeiro – ITSEMAP do Brasil, Serviços Tecnológicos MAPFRE, 2002.

FOLHA, *Mercado*. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/1011960-mancha-de-petroleo-de-acidente-da-chevron-diminui-para-1-km.shtml>>. Acesso em 15 mar. 2012.

FUNCOGE, Fundação Comitê de Gestão Empresarial – Fundação COGE. *Estatística de Acidentes no Setor Elétrico Brasileiro* – Relatório 2012. Disponível em: <<http://www.funcoge.org.br/csst/relat2012>>. Acesso em 10 mai. 2012.

FURNAS, *Anuário Estatístico*. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br/hotsites/AnuarioEstatistico/2011/pibXconsEnerg.html>>. Acesso em 20 mar. 2012.

GOODFELLOW, J.W., *Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Overhead Electric Utility Distribution Systems*, IEEE, Transaction, 2000.

GRIMALDI, R. & MANCUSO, J.H., *Qualidade Total*. Folha de SP e Sebrae, 6º e 7º fascículos, 1994.

HAMMER, Willie., *Product Safety Management and Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs - NJ, USA, 2.ed., 1993.

HAUGE, B.S. & JOHNSTON, D.C., *Reliability Centered Maintenance and Risk Assessment*, IEEE, Annual Reliability and maintainability Symposium, 2001.

HENLEY, Ernest J., KUMAMOTO, Hiromitsu., *Reliability engineering and risk assessment*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1981.

JONES, R.B, *Risk-Based Management - A Reliability-Centered Approach*, Gulf Publishing Company, 1995.

LAFRAIA, J.R.B., *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Qualitymark, Petrobrás, 2001.

LEES, F. P., *Loss Prevention in the Process Industries - Hazard Identification, Assessment and Control*. Second edition. Butterworth-Heinemann, 1996.

LIMA, E.S., *Modelo de Sistema de Informação para Avaliação de Desempenho Estratégico, Baseado em Expectativas de Resultados*, Dissertação de Mestrado, UFPE, 1997.

MATHEW, S., *Optimal inspection frequency: a tool for maintenance planning/forecasting*
In: International Journal of Quality & Reliability Management. v. 21, n. 7. Bradford: Emerald Group, 2004.

MOHR, *Failure modes and effects analysis*, January 1994. 8th Edition.

MORAIS, V. C., *Metodologia de priorização de equipamentos médico- hospitalares em programas de manutenção preventiva*. Campinas: Unicamp, 2004.

MOUBRAY, J., *Reliability-Centered Maintenance*, Butterworth Heinemann, Oxford, 2 ed., 1997.

NEMÉSIO SOUSA, Jorge. *Material Didático da Disciplina de Engenharia do Trabalho*. UFRJ, 2012.

NUNES, E. L., *Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada*. Dissertação (Mestrado em Eng. Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

O'CONNOR, P.D.T., *Practical Reliability Engineering*, John Wiley & Sons, 2. ed., 1985.

ONS, *Procedimentos de Rede*. Disponível em <<http://www.ons.org.br/procedimentos/index.aspx>>. Acesso em 5 mai. 2012.

PIRES, T.T., *Gerenciamento dos Riscos de Incêndio: Uma Nova Maneira de Pensar*, Dissertação de Mestrado, UFPE, 2000.

SEIXAS, Eduardo. *Confiabilidade aplicada na Manutenção*. Rio de Janeiro: Qualytek, 2002.

SELLITTO, M., *Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos*. *Produção*, v.15, n.1, 2005.

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.

SHERWIN, D.J., *A Constructive Critique of Reliability-Centered Maintenance*, IEEE, Annual Reliability and maintainability Symposium, 1999.

SMITH, A.M., *Reliability-centered maintenance*. New York: McGraw-Hill, 1993.

SUSEP. *Informações Gráficas*. Disponível em: <http://www2.susep.gov.br/menuestatistica/monitormercado/index_chart.asp>. Acesso em 27 jul. 2012.

TAYLOR-GOOBY, P; ZINN, J. *The Current Significance of Risk*, In: TAYLOR-GOOBY, P; ZINN, J.O (Ed.) *Risk in Social Science*, Oxford, University of Kent, 2008.

VILLACOURT, Mario, *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry*, SEMATECH, 1992.

WHITTINGHAM, R.B., *The Blame Machine: Why Human Error Causes Accidents*, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.