

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ _ UTFPR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA _ DAELT
ESPECIALIZAÇÃO EM GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO

JOÃO LUIZ VILIMAVICIUS KASAHARA

ANÁLISE DA MANUTENÇÃO EM DISJUNTORES SUBESTAÇÃO
230kV UTILIZANDO OS CONCEITOS DA MCC

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2018

JOÃO LUIZ VILIMAVICIUS KASAHARA

ANÁLISE DA MANUTENÇÃO EM DISJUNTORES SUBESTAÇÃO
230kV UTILIZANDO OS CONCEITOS DA MCC

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gerência de Manutenção, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

CURITIBA
2018



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA MANUTENÇÃO EM DISJUNTORES SUBESTAÇÃO 230kV
UTILIZANDO OS CONCEITOS DA MCC
por

JOÃO LUIZ VILIMAVICIUS KASAHARA

Esta monografia foi apresentada em 23 de outubro de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gerência de Manutenção, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Marcelo Rodrigues, Doutor.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique K. Salata, Esp
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Ubirajara Zoccoli, Mestre
Membro Titular da Banca - UTFPR

AGRADECIMENTOS

Expresso sinceros agradecimentos às pessoas e entidades que gentilmente me cedeu o material e parte de seu tempo para me atender no que precisei para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimentos a:

Agradeço a Deus, por ter dado força e sabedoria para que pudesse escrever e concluir este trabalho.

Meus familiares, pela compreensão de cada momento que tive de me ausentar de suas presenças.

Ao meu professor orientador.

VILIMAVICIUS KASAHARA, João Luiz. **ANÁLISE DA MANUNTEÇÃO EM DISJUNTORES SUBESTAÇÃO 230kV UTILIZANDO OS CONCEITOS DA MCC** 2018. Número total de folhas 47. Monografia (Especialização em Gerência de Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

RESUMO

Ao seguir algumas etapas específicas da (MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade), com objetivo de análise da programação e manutenção na subestação 230kV, mostrando as dificuldades encontradas ao realizar os planos de manutenção e descobrir a causa das falhas, esse estudo propõem uma abordagem simples de uma situação real, e como pode ser realizada a tratativa, e através desse modelo ampliar o estudo a todos os equipamentos. Em muitas situações a solução não é simples e a busca do melhor plano de manutenção não é fácil, mas como mostrado através da MCC, utilizando a ferramenta FMECA em muitos casos é possível desmembrar o problema até chegar as suas causas raiz e por fim aplicar uma solução seja manutenção corretiva, preventiva, preditiva ou em muitos casos como o estudo propõem a análise das intervenções no plano de manutenção.

Palavras-chave: Centrada na Confiabilidade, Manutenção, disjuntor de alta.

VILIMAVICIUS KASAHARA, João Luiz. **230kV SUBSTATION SUPPLY ANALYSIS USING MCC CONCEPTS** 2018. Total number of sheets 47 Monograph (Specialization in Maintenance Management) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2018.

ABSTRACT

By following a few specific steps (RCM - Reliability Centered Maintenance), with the objective of analyzing programming and maintenance in the 230kV substation, showing the difficulties encountered in performing the maintenance plans and discovering the cause of the failures, this study proposes a simple approach of a real situation, and how the negotiation can be carried out, and through this model to extend the study to all equipment. In many situations the solution is not simple and the search for the best maintenance plan is not easy, but as shown through MCC, using the FMECA tool in many cases it is possible to break the problem down to its root causes and finally apply a corrective maintenance, preventive, predictive or in many cases like the study propose the analysis of interventions in the maintenance plan.

Key-words: Reliability-centric, high circuit breaker maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2: Procedimento de referencia para implantação da MCC.....	21
Figura 3: Disjuntor LTB 72,5-245E1.....	29
Figura 3.1: Polo do disjuntor na posição fechada.....	30
Figura 3.2: Mecanismo operacional.....	31
Figura 4: Arranjo Subestação 230kV.....	36
Figura 4.1: Subestação 230 kV.....	37
Figura 4.1.2: Disjuntor Barra de transferência.....	37
Figura 4.3: Painel de Comando Disjuntor 52.92 barra de transferência.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sequencia lógica para definição do estudo.	12
Tabela 3: Número de Prioridade de Risco – NPR.....	34
Tabela 4: Modos de falha, seus efeitos e sua criticidade (FMECA).....	39
Tabela 4.1: Seleção das funções significantes e classificação de seus modos de falhas.....	40
Tabela 4.2: Seleção das tarefas de manutenção.....	41
Tabela 4.3: Definição dos intervalos iniciais e agrupamento das tarefas de manutenção.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TPM (Manutenção Produtiva Total ou *Total Productive Maintenance* Manutenção)

RCM (Manutenção Centrada na Confiabilidade ou *Reliability Centered Maintenance*)

RBM (Manutenção Baseada na Confiabilidade ou *Reliability Based Maintenance*)

TPM (Manutenção Produtiva Total)

FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*)

ESA (Evidente Segurança Ambiental)

EEO (Evidente Econômico Operacional)

OSA (Oculto Segurança Ambiental)

OEO (Oculto Econômico Operacional).

IDM's (Indicadores de manutenção)

OM (Ordens levantados pela manutenção)

IR (Ordens de inspeção de rota)

IP (Inspeção de rota preditiva)

PR (Ordens preventiva)

SS (Solicitação de serviço)

NPR (Número de Prioridade de Risco)

MTBF (Tempo médio até a falha)

MTTF (Tempo médio até a primeira falha)

MTTFF (Tempo médio de reparo, tempo médio entre manutenção).

MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade)

GC (Gerenciamento do Conhecimento)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. TEMA	8
1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA	9
1.3. PROBLEMAS E PREMISSAS	10
1.4. OBJETIVO	10
1.4.1. Objetivo geral	10
1.4.2. Objetivos específicos	10
1.5. JUSTIFICATIVA	11
1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	11
1.7. ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2. MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÕES	14
2.1 EVOLUÇÃO DA MCC	15
2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)	17
2.3 UTILIZAÇÃO DAS ETAPAS DO MCC	21
2.4. ETAPAS MCC	22
2.4.1. Etapa 0 – Adequação da MCC	22
2.4.2. Etapa 1 – Preparação	22
2.4.3. Etapa 2 – Seleção do sistema e coleta das informações	22
2.4.4. Etapa 3 – Análise dos modos de falha, seus efeitos e sua criticidade (FMECA)	22
2.4.5. Etapa 4 – Seleção das funções significantes e classificação de seus modos de falha	23
2.4.6. Etapa 5 – Seleção das tarefas de manutenção	23
2.4.7. Etapa 6 – Definição dos intervalos iniciais e agrupamento das tarefas de manutenção	23
2.4.8. Etapa 7 – Redação do manual da MCC	24
2.4.9. Etapa 8 – Acompanhamento e realimentação	24
3. REFERENCIAL TEÓRICO	25
3.1. SUBESTAÇÃO	25
3.2. TIPOS DE SUBESTAÇÃO	26
3.2.1. Classificação quanto á relação entre a tensão de entrada e saída	26
3.2.2. Classificação quanto ao tipo de instalação:	27
3.2.3. Classificação quanto ao tipo construtivo:	27
3.2.4. Classificação quanto ao tipo de comando:	27
3.3. DISJUNTOR DE ALTA-TENSÃO GÁS SF6	28
3.3.1. O sistema de gás do disjuntor	29
3.3.2. Abertura e fechamento.	30
3.3.3. Mecanismo operacional.	31
3.4. FERRAMENTA DE SUPORTE À MCC	32

3.4.1.	Modo de falha	32
3.4.2.	Falha funcional	32
3.4.3.	FMEA/FMECA	33
4.	UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DA MCC	35
4.1.	ETAPA 2 – SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DAS INFORMAÇÕES	35
4.2.	ETAPA 3 – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, SEUS EFEITOS E SUA CRITICIDADE (FMECA).	39
4.3.	ETAPA 4 – SELEÇÃO DAS FUNÇÕES SIGNIFICANTES E CLASSIFICAÇÃO DE SEUS MODOS DE FALHAS	40
4.4.	ETAPA 5 – SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO	41
4.5.	ETAPA 6 – DEFINIÇÃO DOS INTERVALOS INICIAIS E AGRUPAMENTO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO	42
4.6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	43
5.	CONCLUSÕES	44
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:	44
	REFERÊNCIA	45

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA

Até os anos 40 a manutenção era essencialmente corretiva, o reparo se dava após a falha ou o baixo desempenho. A partir da segunda guerra mundial as empresas tomaram consciência de que, além de reparar as falhas, deveriam evita-las de modo a manter a produção mais previsível e estável. Começaram aparecer, então, técnicas de planejamento, controle e a ideia de fazer intervenções antes que as falhas ocorressem. Surgiram então às práticas de inspeção (sensitiva) e manutenção preventiva, a inspeção nasceu no processo produtivo buscando garantir a conformidade do produto, mas no começo se inseriu na manutenção a partir da necessidade de diagnóstico dos equipamentos. A manutenção preventiva era executada com a substituição regular de componentes, a partir de uma duração de vida calculada ou estabelecida empiricamente. É necessário fazer uma observação no que diz respeito à confiabilidade da “duração calculada ou estabelecida empiricamente”. Há casos conhecidos na indústria e na área de transportes nos quais a intervenção de manutenção preventiva trouxe mais problema do que solução. (NASCIF, DORIGO, 2013).

- Atuação em painéis elétricos, disjuntores e sistemas de proteção para “prevenir” introduz algum tipo de defeito notado imediatamente após a intervenção.
- Serviços de correção geométrica da superestrutura da via permanente ferroviária provocaram a degradação prematura do lastro.

No final dos anos 60, com o desenvolvimento de instrumentos e de técnicas de medição, foi possível estabelecer um acompanhamento dos principais parâmetros dos equipamentos. Esse tipo de acompanhamento recebeu a

denominação de manutenção preditiva ou manutenção com base no estado do equipamento (*Condition Based Maintenance*), cujo grande mérito é manter os equipamentos operando enquanto são acompanhadas as variáveis de interesse e definir a hora exata de parar o equipamento para substituir ou reparar uma condição diagnosticada com base em dados concretos. (NASCIF, DORIGO, 2013).

Em 1960 os fundamentos da MCC tiveram força com o americano Stanley Nowlan, executivo sênior da United Airlines, durante o projeto do Boeing 747, onde estudos preliminares mostraram que para cada hora de voo o 747 precisaria de quatro horas de manutenção – o que claro, tornava economicamente inviável o projeto. A situação criou um grande impasse no projeto, que só terminou em um momento de reflexão de Nowlan. (AZEVEDO, 2007).

Na ocasião, ele ponderava que de fato o Boeing 747 tinha mais que o dobro da capacidade dos aviões da época, mas de resto era como qualquer outra aeronave. Sendo assim, por que os especialistas não definiam um plano de manutenção das funções do avião, e não de suas partes?

E assim surgiu a metodologia da manutenção funcional, ou RCM cuja lógica é mapear os processos e grupos funcionais em que reside a vulnerabilidade do sistema produtivo como um todo, do qual faz parte a máquina (ou as máquinas) a ser mantida, nas quais há risco de falha, de perda de segurança funcional e qualidade de produção. (AZEVEDO, 2007).

Existem diversas metodologias disponíveis e para serem adotadas no gerenciamento estratégico da função manutenção. Dentre elas destacam-se: Manutenção Produtiva Total (TPM) ou *Total Productive Maintenance*, Manutenção Centrada na Confiabilidade ou *Reliability Centered Maintenance* (RCM), Manutenção Baseada na Confiabilidade ou *Reliability Based Maintenance* (RBM).

É importante observar que essas não são novos tipos de manutenção, mas simplesmente uma estrutura que permite a aplicação para os principais tipos de manutenção de maneira organizada e sistemática. Nelas estão envolvidas as diferentes estratégias de manutenção como: Corretiva não-planejada, Corretiva Planejada, Preventiva, Preditiva e Detectiva.

1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA

A pesquisa é delimitada em um estudo de caso onde mostrará as principais dificuldades e premissas ao realizar, planejar e executar manutenção preventiva em disjuntores de alta tensão. O conceito será aplicado em um disjuntor utilizado na subestação 230kV.

No escopo da pesquisa serão utilizadas informações operacionais e informações técnicas. A área da empresa envolvida no estudo será o departamento de manutenção. A empresa em questão é do segmento madeireiro e fica localizada na Região Metropolitana de Curitiba (RMC).

1.3. PROBLEMAS E PREMISSAS

Tendo em questão os desafios de realizar um bom plano de manutenção, e após a sua implantação a certeza que o melhor plano é o que esta sendo executado, através dessa incerteza inerente na manutenção e execução, muitos profissionais elaboram os planos tendo como base históricos e o que vivenciam no dia a dia. Decorrente desta questão principal: **Como utilizar a MCC para elaborar um plano de manutenção?**

Cada metodologia de gestão da manutenção possui requisitos e necessidades cuja adequação da empresa/sistema deve ser previamente avaliada para que a sua aplicação resulte nos efeitos desejados. Além disto, ao se adotar uma metodologia de gestão da manutenção, seu ciclo de vida deve ser acompanhado a fim de que os desvios de conduta sejam rapidamente corrigidos, maximizando seus benefícios. (RIGONI, 2009)

1

1.1

1.2

1.3

1.

1.1.

1.2.

1.3.

1.

1.1.

1.2.

1.3.

1.4. OBJETIVO

1.4.1. Objetivo geral

2.

2.1.

2.2.

2.3.

2.4.

1.

1.1.

1.2.

1.3.

Aplicar a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) em disjuntores de alta tensão modelo LTB 72,5-245E1 ABB.

1.4.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do estudo são:

- Descrever de forma simples e direta as etapas da (MCC);
- Apresentar os conceitos da confiabilidade aplicada à manutenção;
- Avaliar o atual plano de manutenção;
- Sugerir uma análise mais apurada das falhas dos equipamentos utilizando conceitos da confiabilidade.

1.5. JUSTIFICATIVA

Considerando o ciclo de vida do equipamento e suas variações a manutenção tem que acompanhar tais mudanças, através do melhoramento contínuo nas revisões no plano de manutenção, a utilização dos conceitos da confiabilidade como ferramentas para análise dos planos, pode ser de grande valia no momento de elaborar ou revisar um plano de manutenção.

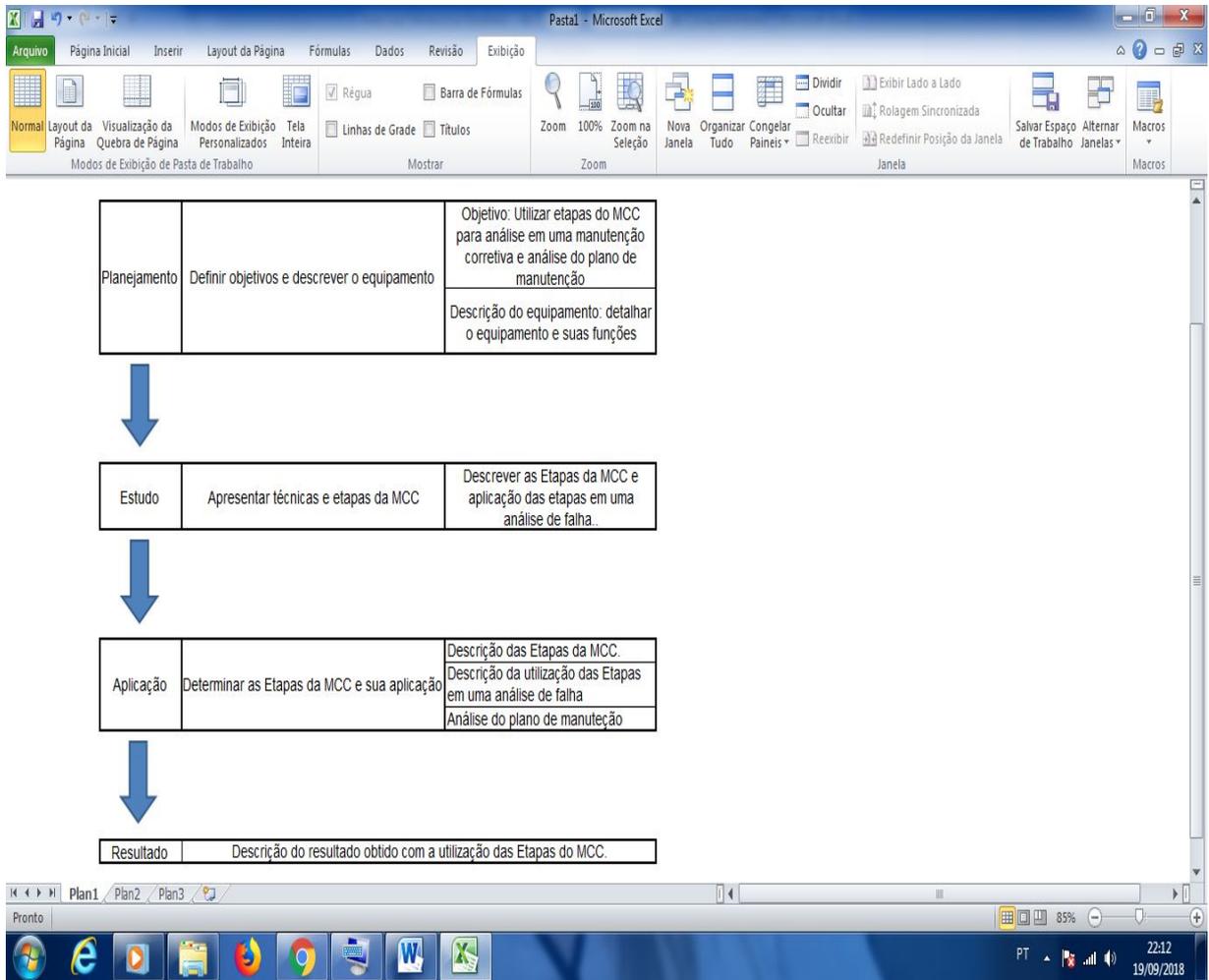
Todo o processo de uma determinada empresa, idealmente, deve ter como base o ciclo do custo de vida otimizado de cada equipamento, considerando as etapas de aquisição, operação, manutenção e a etapa final de descontinuação do mesmo. Assim, durante a operação de uma planta complexa, é muito importante utilizar a teoria de confiabilidade para se determinar planos de manutenção adequados, política de sobressalentes que atendam as demandas e a quantificação da confiabilidade para se tomar decisões com base em informações de modelos matemáticos validados e não mais somente em experiência ou palpites.

1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método usado é uma busca de referências bibliográficas do assunto tratado, como revistas, periódicos, artigos técnicos, além de dissertações, teses e trabalhos de conclusão de cursos.

Definido o tema do estudo, a técnica estudada no referencial teórico será aplicada. Apresentando-se detalhadamente as etapas da MCC para análise do plano de manutenção, este processo terá uma sequência lógica, mostrada a seguir.

Tabela 1 - Sequencia lógica para definição do estudo.



Fonte: Autor, 2018

Todos os processos de análise serão realizados em campo ou no setor administrativo da manutenção.

1.7. ESTRUTURA DO TRABALHO

A seguir será demonstrada de forma breve a estrutura do trabalho.

- Capítulo 1 – INTRODUÇÃO: apresenta o tema do trabalho, o problema de pesquisa, as justificativas para elaboração do projeto, a metodologia de pesquisa e o embasamento teórico e apresentação da proposta da pesquisa.
- Capítulo 2 – MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÃO UTILIZANDO CONCEITOS DA MCC: apresenta algumas definições de manutenção, conceitos e evolução da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).
- Capítulo 3 – REFERENCIAL TEÓRICO: apresenta os principais conceitos utilizados no estudo
- Capítulo 4 – UTILIZAÇÃO CONCEITOS DA MCC: desenvolvimento do estudo e realização das etapas da MCC.
- Capítulo 5 - CONCLUSÃO: capítulo final do trabalho, apresentando a conclusão sobre a utilização da MCC com o objetivo de mostrar as dificuldades encontradas ao realizar os planos de manutenção e análise das falhas.

2. MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÕES

Nesse capítulo será apresentada algumas definições de manutenção, conceitos e evolução da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

A manutenção é definida, conforme a ABNT da seguinte forma:

A manutenção é indicada como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. (NBR-5462 (ABNT,1994):

Para Moubray (2000), 'manter' significa continuar em um estado existente, ou seja, a manutenção é o conjunto de técnicas de atuação para que os ativos físicos (equipamentos, sistemas, instalações) cumpram ou preservem sua função ou funções específicas.

A evolução ao longo do tempo apresentado por Mortelari (2011) enfatiza quatro gerações distintas. A primeira geração representou a ênfase no conserto após a falha. A segunda geração, esta associada ao surgimento de maiores exigências com relação à disponibilidade operacional e à vida útil dos equipamentos, a custos menores. Já a terceira geração, que se refere ao tempo atual, diz respeito aos requisitos característicos, como: maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, com ausência de danos ao meio ambiente, pessoas e ainda com ações de manutenção eficazes em função dos custos envolvidos, monitoramento das condições e projetos de equipamentos visando à confiabilidade e a facilidade de manutenção e ferramentas de suporte às decisões (estudos sobre riscos, modos de falha e análise dos efeitos). E por fim a quarta geração trás uma visão holística da manutenção, mostrando que a engenharia da confiabilidade com seus monitoramentos e controles, aliados à inteligência artificial e interação de metodologias de gestão para o aprimoramento das técnicas preditivas, proverão a melhor gestão dos ativos.

Observa-se então, na terceira geração o desenvolvimento da chamada Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), a qual enfatiza, em sua análise e aplicação, as funções dos equipamentos e sistemas, e também realiza uma criteriosa avaliação das consequências das falhas para a segurança, para o meio ambiente e para a produção, visando obter o máximo benefício com redução dos custos operacionais. (NUNES, 2001).

Para realizar manutenções em subestações é imprescindível o conhecimento técnico e indispensável seguir as normas vigentes. Também é necessário documento que descreva o passo a passo de cada tarefa, detalhando, inclusive, os riscos inerentes à sua execução.

Os serviços em instalações elétricas devem ser planejados e realizados em conformidade com procedimentos de trabalho específicos, padronizados, com descrição detalhada de cada tarefa, passo a passo, assinados por profissional Habilitado. (NR 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade, 2004).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), pela Resolução Normativa nº. 414 – Condições Gerais de Fornecimento Energia Elétrica – uma subestação é parte do sistema de potência que compreende os dispositivos de manobra, controle, proteção, transformação e demais equipamentos, condutores e acessórios, abrangendo as obras civis e estruturas de montagem. .

E assim podemos perceber a real importância que a subestação tem em uma indústria ou em um sistema de transmissão, devido a tal importância a manutenção correta, bem elaborada e realizada corretamente é imprescindivelmente necessária.

Sabendo de tal importância do sistema, esse estudo reunirá ferramentas da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) onde auxiliará na elaboração dos planos de manutenção e tomadas de decisões sobre a manutenção dos disjuntores em uma subestação 230kV.

1.

2.

2.1 EVOLUÇÃO DA MCC

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) teve suas origens na década de 50 como resultados de vários estudos de confiabilidade desenvolvidos pela indústria da aviação civil americana. Na década de 60 alguns conceitos da MCC ganharam importância na indústria aérea nos Estados Unidos da América. Em 1967, representantes das linhas aéreas, fabricantes e o governo estadunidense apresentaram o MSG-1 (*Maintenance Steering Group* – Grupo Governamental “de Condução” da Manutenção), cujo objetivo foi estabelecer um procedimento em manutenção para melhorar a segurança de voo, aplicados no Boeing 747. A partir dos documentos MSG-1 e MSG-2, Nowlan e Heap (1978) desenvolveram estudos mais detalhados, encomendados pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, para a determinação de normas e procedimentos de manutenção com base numa ampla análise estatística. Este documento, conhecido como MSG-3, tornou-se um marco para a manutenção da indústria aeronáutica, no qual os autores denominaram a metodologia de manutenção de *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

Os estudos de Nowlan e Heap (1978) proporcionaram a base teórica para o desenvolvimento da MCC. Desses estudos, duas conclusões se destacaram (RIGONI, 2008);

- 1) Revisões programadas baseada no tempo têm pouco efeito na confiabilidade total de um equipamento complexo, a menos que exista um modo de falha dominante;
- 2) Existem muitos equipamentos para os quais não há forma efetiva de manutenção programada.

A MCC é uma concepção de manutenção que combina, basicamente, várias técnicas e ferramentas para a administração da manutenção tais como a análise do modo de falha e efeito (FMEA/FMECA), de forma sistemática, para apoiar efetiva e eficientemente as decisões de manutenção. O melhor desempenho dessa concepção ocorre quando é aplicada desde as primeiras etapas do projeto dos itens,

ou seja, quando o atributo de confiabilidade e manutenibilidade já estão presentes no processo de projeto. No entanto, pode ser usada para avaliar programas de manutenção com a finalidade de introduzir melhoramentos. A MCC tem por princípio preservar a função, identificar os modos de falha que podem afetar a função, priorizar os requisitos da função (por meio dos modos da falha) e selecionar tarefas de manutenção que sejam efetivas. A MCC pode, entre outros fatores, garantir a disponibilidade, confiabilidade e segurança do sistema definidos no projeto (FUENTES, 2006). (DIAS et al. , 2011, p.24,25).

2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)

Em contraposição ao planejamento tradicional, o paradigma central da MCC é a “preservação da função do sistema”, sendo que a análise da MCC basicamente fornece respostas às seguintes perguntas:

- Quais são as funções e os níveis normais de eficiência dos equipamentos em seu atual contexto operacional?
 - Qual é o estágio da falha para haver perda da função?
 - Qual é a causa de cada falha funcional?
 - O que acontece quando cada falha ocorre?
 - De que forma cada falha se manifesta?
 - O que fazer para prevenir cada falha?
 - O que fazer se uma tarefa preventiva adequada não pode ser executada?

Grande parte dos esforços na implementação da MCC está concentrada em responder a estas questões, em especial na definição das funções e de seus níveis de referência (FUENTES, 2006).

Cada metodologia de gestão da manutenção possui requisitos e necessidades cuja adequação da empresa/sistema deve ser previamente avaliada para que a sua aplicação resulte nos efeitos desejados. Além disto, ao se adotar uma metodologia de gestão da manutenção, seu ciclo de vida deve ser acompanhado a fim de que os desvios de conduta sejam rapidamente corrigidos. Maximizando seus benefícios.

A MCC possui atributos de uma das melhores práticas do Gerenciamento do Conhecimento (GC), somada á finalidade original de se promover a confiabilidade dos ativos pela manutenção. A prática de MCC constitui uma forma potencial de GC, embora os seus praticantes não percebam esta associação. Na MCC as pessoas são produtoras de conhecimento e ao mesmo tempo consumidoras pela troca de informações entre equipes multidisciplinares. O processo de MCC, desde a aquisição de informações até o estabelecimento das tarefas adequadas de manutenção, esta inteiramente centrada no ser humano assim com a GC (ALKAIM, 2003).

Além dos aspectos gerais relacionados até aqui, há outros inerentes ao contexto atual de gestão dos ativos que, presume-se, colaborar para utilização da MCC como metodologia de gestão da manutenção, dentre os quais citam-se.

- Os equipamentos e sistema estão cada vez mais complexos e com modos de falha ocultos ao operador e/ou mantenedor, o que sugere atividades de manutenção preditivas ou de inspeção funcional (MOUBRAY, 2000), afirma que 40% dos modos de falha dos ativos são ocultos e destes 80% requerem inspeção funcional (BLANCO, 2007), após comparar diversos programas de MCC, conclui que ao final da sua implementação 60% das atividades de manutenção, sugeridas pelo Diagrama de Decisão da MCC, são preditivas ou de inspeção funcional. Insto ratifica a MCC como apta a tratar os modelos de falha inerentes aos ativos em seu contexto operacional atual.

Norma SAE JA 1011 apresenta os critérios mínimos para uma aplicação ser considerada como de MCC compreende basicamente oito etapas associadas ao item físico ou sistema sob manutenção. (SAE International. SAE JA1011,1999)

3.

3.1.

3.2.

3.3.

3.3.1.

- Preparação do Estudo
- Seleção e Determinação do Sistema
- Análise das Funções e Falhas
- Seleção dos Itens Críticos
- Coleta e Análise de Informações
- Análise de Modos e Efeitos de Falhas
- Seleção de Tarefas Preventivas
- Definição das Frequências das Tarefas de Manutenção Preventiva

Segundo a norma ABNT NBR 5462 (1994), confiabilidade é definida como a probabilidade de um ativo desempenhar uma determinada função, de forma adequada, durante um intervalo de tempo, sob condições especificadas.

Segundo o autor Dias (1996). O importante é compreender que em qualquer que seja a definição de confiabilidade, quatro conceitos fundamentais ou categorias estão presentes: probabilidade, comportamento adequado, período de uso e condições de uso.

Detalhando cada uma dessas categorias tem-se:

Probabilidade: descreve a possibilidade de ocorrência de um evento. É recomendável que se tenha um conhecimento prévio do comportamento do item a ser analisado, ou uma estimativa que sirva de referência para se elaborar o cálculo da probabilidade. Não existe uma fórmula única ou uma técnica para estimar a confiabilidade. Mas em qualquer das aplicações à qualidade da análise depende dos dados de entrada. Para produtos novos, a confiabilidade depende basicamente da qualidade do projeto do produto, da experiência da equipe de projeto, da organização do sistema de produção e do controle de qualidade utilizado no processo produtivo. Para produtos em operação a confiabilidade está diretamente relacionada com a especificação de compra para a função que irá cumprir ao longo do ciclo de vida. A confiabilidade, por ser um atributo do produto, é definida no projeto. Em outras palavras, uma vez o produto pronto, está integrada ao mesmo, como se fosse um DNA do produto. Não há como mudar, a menos que se façam alterações no projeto. Assim, a manutenção durante o ciclo de vida útil pode, no máximo, garantir a confiabilidade que foi especificada no projeto. Mesmo assim, é esperado que ao final do ciclo de vida haja a probabilidade crescente de falhas. (DIAS, 1996).

Comportamento adequado: para saber se o item tem ou não comportamento adequado é recomendável que tenha um padrão um referencial já definido anteriormente. Em casos onde esta disponíveis informações estatisticamente consistentes, torna-se mais provável dispor de um padrão. No caso da não existência de dados, simplesmente estabelece-se uma meta a ser alcançada. Em alguns casos há que considerar métodos que possibilitem transformar as informações qualitativas em quantitativas, de forma a criar uma referência que sirva de base em todo o ciclo de vida do produto. Por exemplo, histórico de falhas. Técnicas qualitativas e quantitativas existem para obter as informações necessárias para definir o comportamento adequado de um item. (DIAS, 1996).

Período de uso: é expresso, normalmente, em função do tempo. Depende de informações que represente a expectativa de bom funcionamento do produto em

relação ao ciclo de vida. Essa categoria chama a atenção do analista de confiabilidade para soluções de projeto relacionadas com métodos para evitar, prevenir ou acomodar as falhas. No primeiro caso é requerido produto robusto, com redundância de projeto, uso bem controlado e com gestão de manutenção apropriada, centrada em confiabilidade, ou centrada no risco. Projeto de produtos para prevenir falhas ao longo do período de uso vem com métodos de predição de falhas no item, com recomendação para uso de recursos de manutenção preventiva, preditiva, com prioridade para gestão de manutenção centrada em confiabilidade ou manutenção produtiva total. Métodos para acomodar falhas são os que admitem a ocorrência da falha. Contudo, para garantir a função são adotados em conjunto com sistemas redundantes. Contudo, se a falha afetar a segurança humana ou ambiental deve ser evitado. Em qualquer situação, deve-se admitir que todo produto tem um ciclo de vida de uso definido, e que falhará ao longo do ciclo de vida. Por isso que a confiabilidade, embora seja um atributo definido no projeto, está sempre associada à manutenibilidade e à gestão de manutenção. Algumas medidas são recorrentes no período de uso, por exemplo: taxa de falha, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio até a falha (MTTF), tempo médio até a primeira falha (MTTFF), tempo médio de reparo, tempo médio entre manutenção etc. (DIAS, 1996).

Condição de uso: a condição de uso precisa ser bem definida, dado que o sucesso de um evento pode não se manter se as premissas de uso anteriormente estabelecidas forem modificadas. A condição de operação depende de aspectos técnicos e humanos. Essa está integrada a todo o ciclo de vida, desde a fase inicial ou de juventude, vida de uso e vida de desgaste. Os princípios utilizados na gestão para a produtividade total (TPM) são importantes para a integração entre confiabilidade, operação e manutenção. (DIAS, 1996). (DIAS, CALIL, RIGONI, OGLIARI, SAKURADA e KAGUEIAMA, Metodologia para análise de riscos. Mitigação de perda de SF6 em disjuntor. Ed. 2011).

2.3 UTILIZAÇÃO DAS ETAPAS DO MCC

Como base para este estudo foi utilizado como proposta a sistemática do autor Rigoni (2009) que desenvolveu um conjunto de procedimentos para auxiliar a implantação da MCC. O procedimento de referência segue as etapas mostradas na Figura 2.

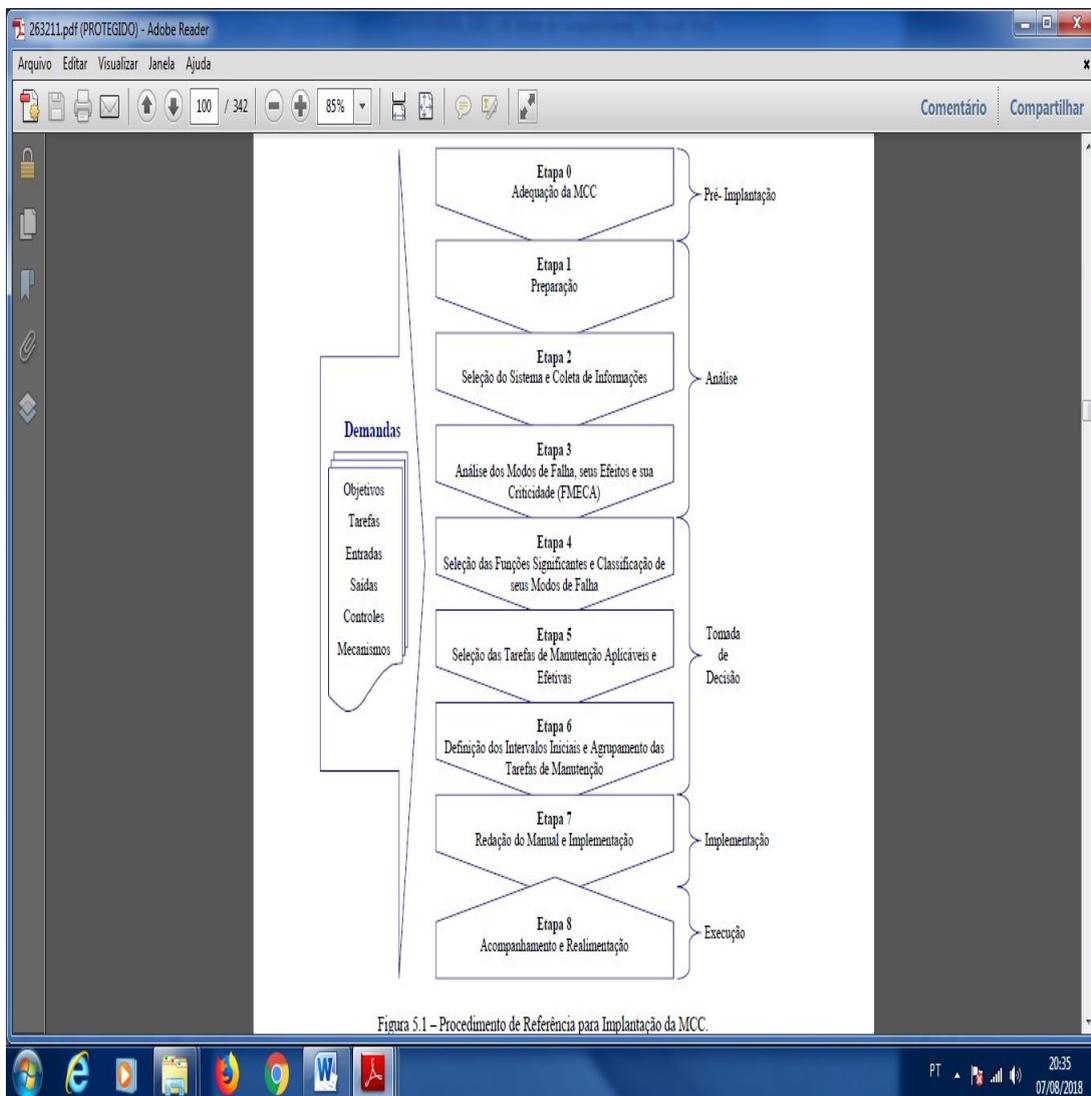


Figura 2- Procedimento de referencia para implantação da MCC

Fonte: RIGONI,2009

A seguir serão apresentadas com maior detalhe as etapas mostradas na figura 2.

1.

2.

2.1.

2.2.

2.3.

2.4. ETAPAS MCC

2.4.1. Etapa 0 – Adequação da MCC

A etapa 0, trata-se basicamente do mapeamento das condições iniciais para verificar se realmente a empresa está preparada para iniciar um trabalho de implantação de MCC. Esta etapa auxilia também na identificação dos pontos a serem melhorados antes da implantação da MCC.

2.4.2. Etapa 1 – Preparação

Na Etapa 1 é definida a equipe de implantação, patrocinador interno, facilitador estratégia, calendário de reuniões e cronograma para as atividades que fazem parte da metodologia MCC.

2.4.3. Etapa 2 – Seleção do sistema e coleta das informações

A etapa 2 tem como objetivo definir o sistema a ser implantado a MCC e também como será realizada a coleta das informações.

Definir e aplicar critérios quantitativos e qualitativos para seleção do sistema ao qual a MCC será aplicada; documentar o sistema selecionado e suas fronteiras. (RIGONI,2009).

2.4.4. Etapa 3 – Análise dos modos de falha, seus efeitos e sua criticidade (FMECA).

Na etapa 3 é realizado o estudo referente aos modos de falhas e seus efeitos referente aos equipamentos em questão. Nesta 3ª etapa será abordada a

metodologia FMEA. Trata-se de uma das ferramentas que compõem a MCC. A FMEA é um método que busca determinar as funções, falhas funcionais, modos de falha e efeitos da falha de um equipamento ou sistema. Existe outra variante, denominada FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*), a qual leva em consideração a criticidade dos modos de falhas através de um valor quantificado. O objetivo do FMECA é priorizar as atividades de manutenção aos itens mais críticos conforme avaliação. (RIGONI,2009).

A falha pode ser definida como “término da capacidade de um item desempenhar a função requerida” (ABNT, 1994,P.3). E pode ser classificada em (SIQUEIRA, 2005, P.12):

- Falha Funcional - Incapacidade de desempenhar a função.
- Falha Potencial – Indica a ocorrência de uma falha funcional. Pode ser identificável através de alguma condição.

Já o Modo de Falha, indica como as falhas funcionais ocorrem de modo a permitir a identificação do mecanismo de falha (SIQUEIRA,2005).

Os efeitos de falhas permitirão definir as consequências das falhas e pode ser entendido através do seguinte conceito: “Efeito – o que acontece quando um modo de falha se apresenta” (SIQUEIRA, 2005, P.93).

2.4.5. Etapa 4 – Seleção das funções significantes e classificação de seus modos de falha

A etapa 4 possui como objetivo classificar a categoria do modo de falha a partir de 3 quesitos. Os modos de falhas podem ser classificados em 4 categorias: ESA (Evidente Segurança Ambiental), EEO (Evidente Econômico Operacional), OSA (Oculto Segurança Ambiental) e OEO (Oculto Econômico Operacional).

2.4.6. Etapa 5 – Seleção das tarefas de manutenção

Na etapa 5 são definidas as tarefas de manutenção aplicáveis a classificação do modos de falha levantados na etapa 4.

As tarefas propostas são determinadas a partir das análises das seguintes tarefas possíveis: Serviço Operacional, Inspeção Preditiva, Restauração Preventiva,

Substituição Preventiva, Inspeção Funcional, Manutenção Combinada, Mudança de Projeto e Reparo Funcional.

2.4.7. Etapa 6 – Definição dos intervalos iniciais e agrupamento das tarefas de manutenção

Na etapa 6 é definida a frequência das tarefas propostas na etapa 5. Os intervalos devem ser definidos de forma a serem os maiores possíveis, mas desde que garantam a efetividade da tarefa proposta. Caso os intervalos das tarefas proposta sejam considerados pequenos, os altos custos necessários para executá-los podem inviabilizar o planejamento de manutenção.

Objetivos: Definir a periodicidade inicial das atividades de manutenção selecionadas na etapa 5 e agrupar estas atividades de forma estratégica para otimizar as ações da equipe de manutenção. (RIGONI, 2009).

Tarefas: Para todas as tarefas de manutenção selecionadas na etapa 5: estabelecer os métodos e critérios para definição das periodicidade ou frequência de execução; fixar a periodicidade ou frequência de execução das atividades; definir os métodos e critérios para agrupamento otimizado das tarefas; agrupar de forma otimizada as tarefas, de acordo com o tamanho da equipe de manutenção e oportunidade de concomitância com outras tarefas. (RIGONI, 2009).

Saídas: Uma lista contendo as atividades de manutenção selecionadas na etapa 5 agrupadas de forma otimizada e com um período e/ou frequência de execução; documentação referente às decisões tomadas nesta etapa. (RIGONI, 2009).

2.4.8. Etapa 7 – Redação do manual da MCC

A etapa 7 redigir o manual de MCC. Trata-se de um manual com todas as informações detalhada das etapas anteriores além dos resultados obtidos. A partir da conclusão deste manual deve-se iniciar a implantação das ações tomadas nas etapas anteriores.

2.4.9. Etapa 8 – Acompanhamento e realimentação

A etapa 8 trata do acompanhamento e realimentação da metodologia aplicada.

Neste estudo a sugestão para acompanhamento da metodologia é utilizar os IDM's (Indicadores de manutenção), pois através destes indicadores é possível verificar o desempenho da metodologia aplicada ao longo do tempo. Os IDM's sugeridos para uma análise real da situação são: OM (Ordens levantados pela manutenção), IR (Ordens de inspeção de rota), IP (Inspeção de rota preditiva), PR (Ordens preventiva), SS (Solicitação de serviço).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

No capítulo a seguir será apresentado algumas descrições dos tipos de subestações e classificações, conceitos básicos do disjuntor de alta com gás SF₆ e ferramenta para auxiliar a MCC, tais como Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA) e Análise dos Modos das Falhas, Efeitos e Criticidade (FMECA).

3.1. SUBESTAÇÃO

Nos dias de hoje é impensável viver sem energia elétrica, uma vez que ela é fonte quase que indispensável para o desenvolvimento tecnológico, populacional e econômico do planeta. A cada dia que passa, a população demanda mais energia, de forma que é necessário que as técnicas de seu uso se desenvolvam juntamente com o aumento da demanda. É por essa razão que as subestações e seu desenvolvimento são tão importantes, por ser o elo que adéqua a tensão de fornecimento à tensão de utilização.

Ao longo da última década têm ocorrido grandes mudanças no setor elétrico mundial, talvez as maiores ocorridas na sua história, já centenária. Dentro deste quadro chama atenção uma mudança de paradigmas envolvendo o conceito de risco. Passa-se de situação de aversão ao risco para uma nova condição de, continuamente, avaliar e assumir riscos. Dentre estes riscos destacam-se dois novos. Em uma ponta o risco de se perder o consumidor insatisfeito (consumidor não mais

cativo), a não venda, e na outra extremidade o não atendimento às expectativas de remuneração do(s) investidor(s) no negócio.

Este novo cenário do setor elétrico mundial está repercutindo de uma forma muito direta na forma de planejar, projetar, operar e manter o sistema elétrico como um todo e as subestações em particular. Nestes termos, é desejado que as subestações estejam continuamente disponíveis. Infelizmente, isso não é fisicamente e economicamente viável, devido ao conjunto de incertezas e aleatoriedades presentes, em geral, fora do controle dos engenheiros responsáveis pela operação destas. (SNPTRR Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica; Grupo de estudo de subestação e equipamentos elétricos - GSE, 2005).

Para que a energia seja gerada na usina e entregue às cidades, nesse percurso ela passa por diversas subestações, que elevam a tensão elétrica para reduzir perdas durante a transmissão, e abaixam a tensão perto das cidades, permitindo assim a distribuição de energia com mais segurança. Durante esse percurso são vários tipos diferentes de subestações que recebem essa energia.

3.2. TIPOS DE SUBESTAÇÃO

Existem maneiras diversas de se classificar uma subestação, sendo algumas classificações de acordo com: nível de tensão, relação entre os níveis de tensão de entrada e saída, função no sistema elétrico, tipo de instalação, tipo construtivo do equipamento e tipo de comando. Classificação quanto ao Nível de Tensão:

Segundo Gebran (2017) em seu livro “Instalações elétricas prediais”, o nível de tensão pode ser classificado em:

- Baixa tensão: até 1kV;
- Média tensão: de 1kV até 66kV,
- Alta tensão: de 66kV até 230kV;
- Extra-alta tensão: de 230kV até 800kV
- Ultra-alta tensão: acima de 800Kv

3.2.1. Classificação quanto á relação entre a tensão de entrada e saída

- Subestação de manobra: tem como finalidade principal modificar a configuração de um sistema elétrico, mediante interligação entre linhas de transmissão.
- Subestação elevadora: tem a função de aumentar a tensão de saída em relação à tensão de entrada a fim de reduzir a corrente e, conseqüentemente, reduzir a seção dos condutores e as perdas de transmissão.
- Subestação abaixadora: ao contrário da elevadora, esta reduz os níveis de tensão para evitar interferências, campos magnéticos intensos e, principalmente, aumentar a segurança da população quanto à parte de distribuição, pois quanto maior a tensão, maior o risco de descarga quando próximo ao solo. Logo a transmissão em tensões mais baixas é mais viável dentro de cidades, não sendo necessários postes tão altos caso a distribuição seja feita via aérea.
- Subestação conversora: desempenha a função de conversão, seja de corrente alternada para corrente contínua ou vice-versa, ou apenas de frequência da corrente alternada.

3.2.2. Classificação quanto ao tipo de instalação:

- Externas: tem seus equipamentos instalados ao ar livre, o que implica no uso de equipamentos próprios para funcionamento em condições atmosféricas adversas.
- Subestação aérea: principal tipo de subestação externa de consumidor são aquelas instaladas em postes.
- Internas: tem seus equipamentos instalados em local abrigado, protegidos das condições adversas do tempo.

3.2.3. Classificação quanto ao tipo construtivo:

- Convencionais: instaladas a céu aberto, têm o ar como meio isolante.
- Cabine metálica: tem uma estrutura fechada e compacta, de forma a conseguir uma grande redução de espaço comparada às convencionais. Contudo necessita de equipamentos especiais para seu manuseio.

3.2.4. Classificação quanto ao tipo de comando:

- Subestação assistida: sua operação necessita de operadores humanos no local para seu funcionamento.
- Subestação não-assistida: não dispõe de pessoal permanente para a sua operação, podendo ser controlada remotamente ou por pessoal locado não permanentemente.

Essas são algumas das principais classificações de subestações, todavia elas ainda podem ter outras divisões de acordo com os equipamentos, arranjos, entrada, barramento, etc. Outras divisões, fora as citadas, não serão tratadas neste trabalho.

3.3. DISJUNTOR DE ALTA-TENSÃO GÁS SF6

Disjuntor de alta-tensão LTB 72,5-245E1, com três mecanismos operacionais tipo BLK 222.

O disjuntor é composto de três pólos separados. Estes consistem em três partes principais. Na parte inferior há um mecanismo operacional em um compartimento de liga metálica, acima há isoladores de poste ociosos através dos quais o isolador operacional passa e na parte superior encontra-se a unidade de interrupção. Cada unidade de interrupção consiste em um isolador de câmara de interrupção (que, juntamente com um flange superior e um flange inferior, compõem o compartimento), caminhos de corrente superior e inferior e um puffer.

O puffer, que é projetado com os contatos de corrente operacionais inferiores integrados, passa por fora do caminho de corrente inferior. Os contatos de corrente operacionais superiores são integrados no caminho de corrente superior. Os pólos são montados em estruturas de colunas galvanizadas separadas. A estrutura consiste em duas metades de chapas dobradas e soldadas, que são interconectadas com peças diagonais aparafusadas (Ver figura 3).

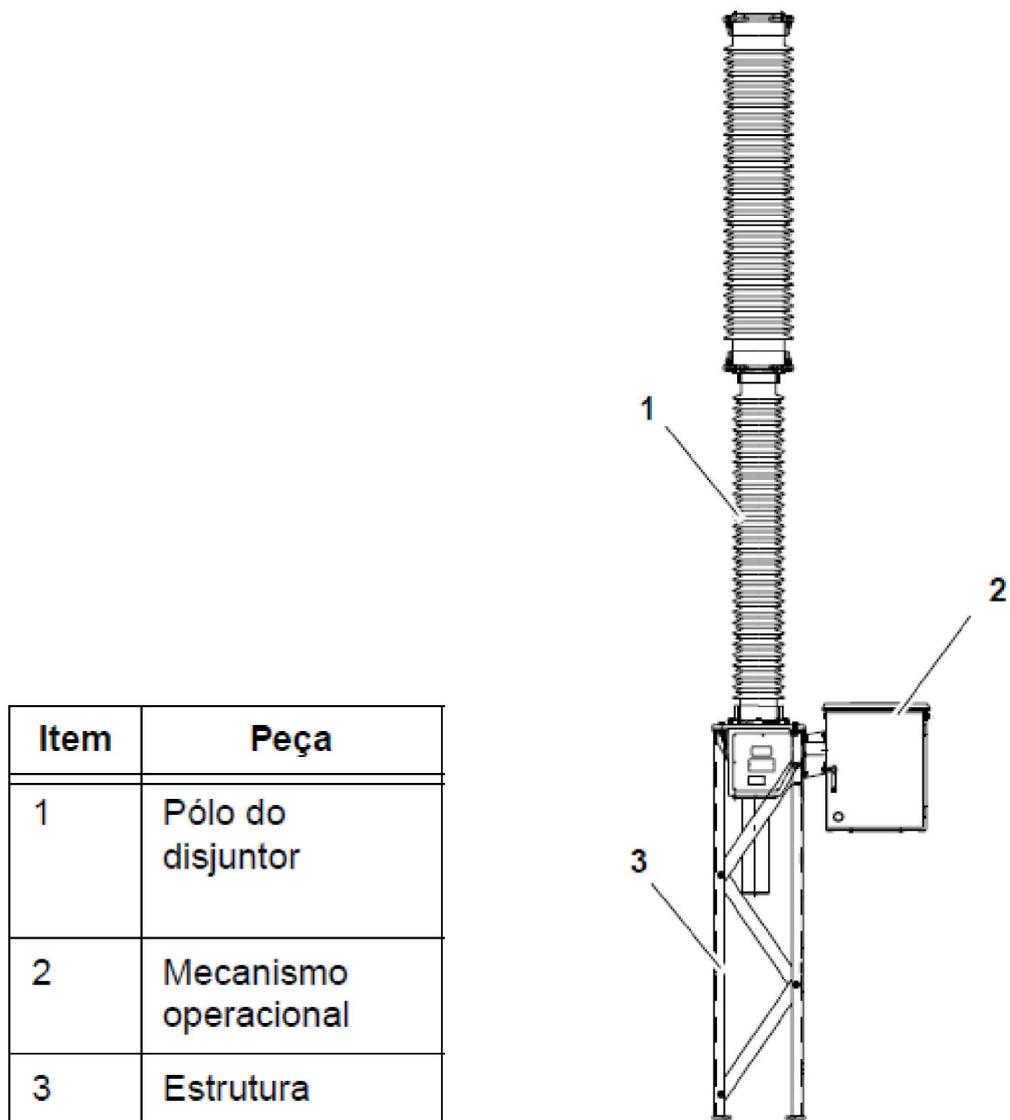


Figura 3: Disjuntor LTB 72,5-245E1

Fonte: Manual do Produto 1HSB435416-1 pt Rev2

3.3.1. O sistema de gás do disjuntor

Os pólos do disjuntor são preenchidos permanentemente com gás SF₆ a uma pressão de 0,7 MPa “abs” a 20°C em disjuntores cujo desempenho é limitado por uma temperatura ambiente mínima de -30°C. Em disjuntores cuja temperatura ambiente seja -40°C, o disjuntor é preenchido com a pressão 0,5 MPa “abs” a 20°C. Em disjuntores cuja temperatura ambiente seja de -55°C, o disjuntor é preenchido com uma mistura de gás SF₆ e N₂ ou CF₄ a uma pressão de 0,7 MPa abs a 20°C. Nos pólos, são encaixados monitores de densidade para monitorar a pressão.

3.3.2. Abertura e fechamento.

Os pólos do disjuntor funcionam de acordo com o princípio do Auto-Puffer™, com o cilindro do puffer (1) dividido em duas câmaras. Uma seção Auto-Puffer™ (2) e uma seção de compressão (3). Quando as correntes operacionais normais são cortadas, o gás SF₆ é comprimido na seção de compressão a uma sobre pressão. Quando os contatos de arco se abrem, o gás na seção de compressão flui para fora e extingue o arco na passagem por zero. Quando as correntes de curto-circuito são cortadas, a pressão de extinção necessária é acumulada na seção Auto-Puffer™ pelo aquecimento do arco. Dessa forma, consegue-se um aumento de pressão com a energia do arco, não sendo necessária qualquer energia extra do mecanismo operacional. No fechamento, o cilindro do puffer desliza para cima, os contatos engatam uns nos outros e o cilindro do puffer é reabastecido com gás (Ver figura 3.1).

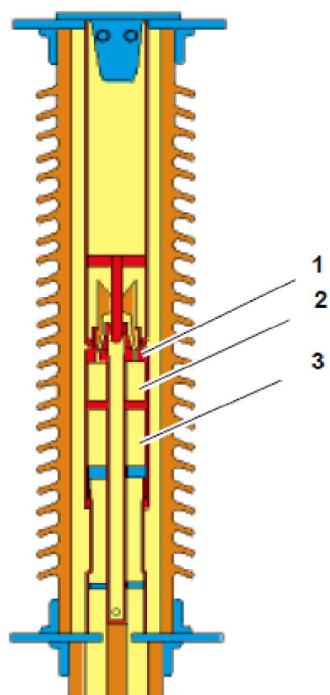


Figura 3.1: Polo do disjuntor na posição fechada
 Fonte: Manual do Produto 1HSB435416-1 pt Rev2

3.3.3. Mecanismo operacional.

O disjuntor LTB é operado por um mecanismo operacional de mola tensionada por motor, tipo BLK 222. O mecanismo operacional é conectado ao mecanismo dos pólos através de um sistema de barra de tração. O disjuntor é fechado pelo mecanismo operacional, que acondiciona as molas de fechamento. No fechamento, as molas de abertura, que são acopladas permanentemente aos mecanismos operacionais dos pólos, são tensionadas.

Item	
1	Unidade de acionamento
2	Mecanismo operacional
3	Painel operacional
4	Mola de fechamento
5	Elemento aquecedor

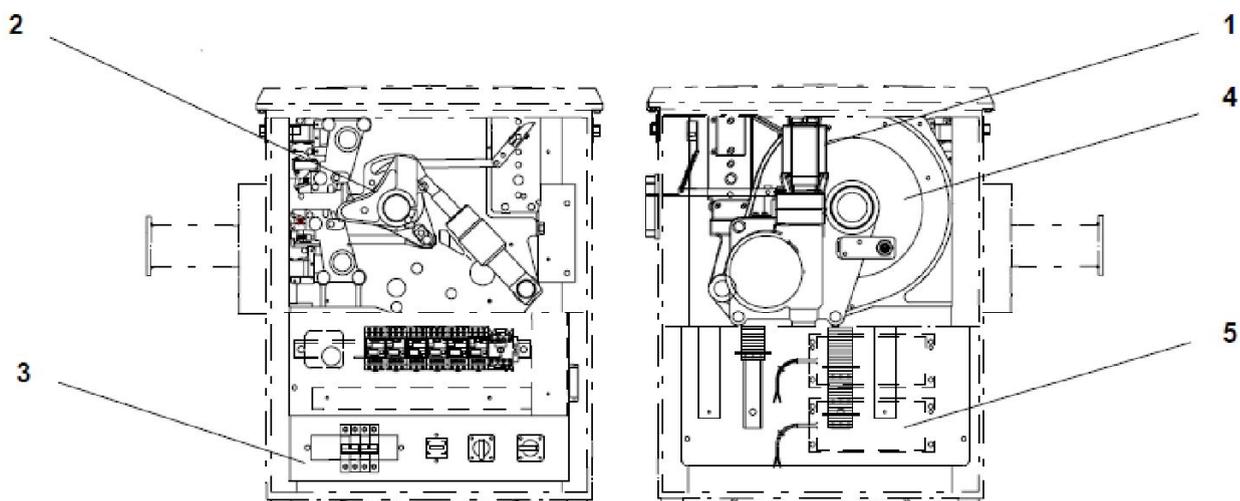


Figura 3.2: - Mecanismo operacional
 Fonte: Manual do Produto 1HSB435416-1 pt Rev2

A trava de desarme do mecanismo operacional (2) mantém o disjuntor na posição fechada. A abertura do disjuntor requer apenas a liberação da trava de desarme (Ver figura 3.2).

3.4. FERRAMENTA DE SUPORTE À MCC

Os tópicos apresentados a seguir incorporam a MCC, e auxiliando na análise de falha.

3.4.1. Modo de falha

Falhas e seus conceitos básicos do termo será levado em consideração a definição contida na norma NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade. Segundo a norma, falha é caracterizada pela incapacidade de um item em desempenhar uma função requerida.

Um “modo de falha” é uma causa de falha ou uma forma possível pela qual um sistema pode falhar.

Quando um sistema tem muitas formas possíveis de falha, tem vários modos de falha ou riscos concorrentes. Quanto mais complexo é um sistema, mais modos de falha existem, por exemplo, um alarme de incêndio doméstico pode falhar por causa de uma bateria descarregada ou inexistente, fiação defeituosa, detector defeituoso ou alarme com defeito. Uma aeronave pode apresentar muitos modos de falha.

Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA) é a metodologia para analisar as causas de falhas e compreender as suas frequências e impactos. Quando você identifica os modos de falha potenciais e seus impactos, é possível programar as ações e planos corretivos apropriados.

3.4.2. Falha funcional

Quando a falha potencial não é visualizada ou entendida, se estenderá de modo até culminar na “falha funcional” da máquina ou equipamento. É quando este item não desempenhará mais as suas funções de origem, inviabilizando a continuidade da produção de modo pleno e satisfatório.

Ou seja, a falha funcional pode ser definida como a incapacidade de um ativo cumprir as atividades operacionais previstas conforme parâmetros de projeto ou dentro de limites aceitáveis após determinado tempo de operação.

3.4.3. FMEA/FMECA

A FMEA é uma técnica de análise que foi desenvolvida para ser aplicada principalmente a componentes, cujo objetivo primordial é detalhar cada um dos componentes de um sistema a fim de levantar todas as maneiras pelas quais o componente possa vir a falhar e avaliar quais os efeitos que estas acarretam sobre os demais componentes e sobre o sistema, apresentada na norma SAE J1739 (2002).

Como o próprio nome da técnica diz, é um método útil para documentar de forma organizada os modos e os efeitos de falhas de componentes, ou seja,

investiga-se o componente a fim de levantar todos os elementos, incluindo as ações inadequadas do ser humano, que possam interromper ou degradar o seu funcionamento ou do sistema ao qual a componente pertença. Apesar de ser uma técnica de análise essencialmente qualitativa, uma extensão da FMEA, a FMECA, pode fornecer também estimativas para as frequências de ocorrência dos modos de falhas, bem como, o grau de severidade dos seus efeitos.

O modelo não provê cálculo da confiabilidade total do sistema, mas pode servir como entrada de outras análises de confiabilidade. Numa FMECA podem ser enfocados tanto os aspectos relacionados com a confiabilidade do sistema como com a segurança da instalação. Assim pode ser avaliada a gravidade dos efeitos das falhas sobre a continuidade operacional do sistema, sobre a segurança dos operadores, da população circunvizinha ou dos demais equipamentos. Entre os objetivos da FMECA estão:

- Identificação dos modos de falha dos componentes de um sistema;
- Avaliação das causas, efeitos e riscos das falhas;
- Aumentar a segurança funcional, operacional e ambiental;
- Aumentar a confiabilidade;
- Melhorar a comunicação interna;
- Como detectar, como corrigir, etc.

A FMECA pode ser aplicada em vários níveis, ou seja, componentes, equipamentos ou sistemas, dependendo do grau de detalhamento desejado. Esta técnica pode ser usada na fase de projeto de sistemas visando detectar possíveis falhas e melhorar a confiabilidade do sistema, na revisão de segurança do sistema em operação procurando verificar a propagação das falhas sobre os outros componentes do sistema e as implicações para a segurança das instalações, e no contexto de uma análise global de riscos, tanto de sistemas na fase de projeto, como de sistemas em operação ou em fase de ampliação. Para Rigoni (2009) esta metodologia se diferencia da primeira pelo fato de associar a cada modo de falha um índice de criticidade que servirá de orientação na priorização das ações a serem tomadas para prevenção ou mitigação das falhas. O índice de prioridade da FMECA

é conhecido como NPR (Número de Prioridade de Risco) representado pela tabela 3 é obtido pelo produto dos fatores de Gravidade (G), Frequência (F) e Detectabilidade (D):

$$\text{NPR} = \text{Gravidade} \times \text{Frequência} \times \text{Detectabilidade}$$

Tabela 3 - Número de Prioridade de Risco – NPR

Componente do NPR	Classificação	Peso
FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA - F	Impossível	1
	Muito Pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
GRAVIDADE DA FALHA - G	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
DETECTABILIDADE - D	Alta	1
	Moderada	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Muito pequena	7 a 8
	Improvável	9 a 10
ÍNDICE DE RISCO - NPR	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito alto	200 a 1000

Fonte: Adaptado de Kardec e Xavier, 2010

Quanto maior o valor do NPR, maior será a criticidade do modo de falha associado para o processo de manutenção. Os fatores que compõem o NPR resultam de uma classificação comparativa dos modos de falha, levando em consideração os seguintes conceitos de Kardec e Xavier (2010):

- Gravidade – Reflete o grau de severidade dos efeitos da falha. A faixa de valores varia de 1 a 10, onde 10 representa a maior gravidade;

- Frequência – Reflete a probabilidade de ocorrência do modo de falha. A faixa de valores varia de 1 a 10, onde 10 representa a maior probabilidade de ocorrência;

- Detectabilidade – Reflete a dificuldade em se identificar as causas do modo de falha a tempo de prevenir uma falha funcional. A faixa de valores varia de 1 a 10, onde 10 classifica como improvável de se detectar as causas do modo de falha.

4. UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DA MCC

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento do estudo e aplicação das etapas da MCC.

Devido ao foco do estudo ser voltado a utilizar os conceitos da MCC para análise dos planos de manutenção e dificuldades encontradas na execução da manutenção. As etapas utilizadas da MCC serão as etapas 2, 3, 4, 5 e 6.

4.1. ETAPA 2 – SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DAS INFORMAÇÕES

A etapa 2 tem como objetivo definir o sistema a ser implantado a MCC e também como será realizada a coleta das informações.

O sistema onde será realizado análise utilizando os princípios da MCC foi a subestação 230kV localizada nas dependências de uma indústria madeireira, localizada na Região Metropolitana de Curitiba (RMC).

Composto por uma barra principal e uma Barra de transferência (ver figura 4).



Figura 4.1- Subestação 230 kV
Fonte: Autor, 2018

A Figura abaixo ilustra o disjuntor da barra de transferência



Figura 4.2- Disjuntor barra de transferência
Fonte: Autor, 2018

Na figura 4.3 é apresentado o painel de comando do disjuntor 52.92 da barra de transferência, foco do estudo.



Figura 4.3-Painel de comando disjuntor 52.92, barra de transferência.

Fonte: Autor , 2018

Definido o sistema a ser implantado a MCC e também como será realizada a coleta das informações, o estudo segue com a etapa 3 – Análise dos modos de falha, seus efeitos e suas criticidade (FMECA).

4.2. ETAPA 3 – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, SEUS EFEITOS E SUA CRITICIDADE (FMECA).

Na etapa 3 é realizado o estudo referente aos modos de falhas e seus efeitos referente aos equipamentos em questão, nesta 3ª etapa será abordada a metodologia FMECA.

Os conceitos da MCC para o disjuntor LTB 72,5-245E1 com mecanismo operacional BLK 222 fabricante ABB. Disjuntor SF6, operação unipolar.

Tabela 4: Modos de falha, seus efeitos e sua criticidade (FMECA)

FMECA - Microsoft Excel									
E25									
Responsible pela Análise									
JOÃO LUIZ VILIMAVICIUS - TECNICO DE AUTOMAÇÃO									
Equipe									
Sistema									
SUBESTAÇÃO 230KV									
Subsistema Analisado									
DISJUNTOR 52.92 BARRA DE TRASFERÊNCIA									
Id Função	Função	Id Falha Funcional	Falha Funcional	Id Modo de Falha	Modo de Falha	Local	Efeito		
							Sistema	Planta	
1	PROTEÇÃO DO CIRCUITO BARRA DE TRANSFERENCIA	1.1	DISJUNTOR DESARMOU FORA DE OPERAÇÃO	1.1.1	BOBINA DE FECHAMENTO OU ABERTURA QUEIMADA	PAINEL ACOPLADO DISJUNTOR	FORA DE OPERAÇÃO	DESQUARNECIDA DA BARRA DE TRANSFERENCIA SUJEITO A BLACKOUT	
				1.1.2	RELE DE ADIONAMENTO DANIFICADO	PAINEL PRINCIPAL COMANDO DISJUNTORES	FORA DE OPERAÇÃO	DESQUARNECIDA DA BARRA DE TRANSFERENCIA SUJEITO A BLACKOUT	

Fonte: Autor, 2018

4.3. ETAPA 4 – SELEÇÃO DAS FUNÇÕES SIGNIFICANTES E CLASSIFICAÇÃO DE SEUS MODOS DE FALHAS

A etapa 4 possui como objetivo classificar a categoria do modo de falha a partir de 3 quesitos. Os modos de falhas podem ser classificados em 4 categorias: ESA (Evidente Segurança Ambiental), EEO (Evidente Econômico Operacional), OSA (Oculto Segurança Ambiental) e OEO (Oculto Econômico Operacional).

Tabela 4.1: Seleção das funções significantes e classificação de seus modos de falhas.

FMECA - Microsoft Excel

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição

Calibri 11

Quebrar Texto Automaticamente

Fonte Alinhamento Número

Formatação Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Estilo

M12

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Id função	Id Falha Funcional	Id Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente ?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem consequências Econômicas e /ou Operacionais?	Categoria
11		1	1.1	1.1.1	BOBINA DE FECHAMENTO OU ABERTURA QUEIMADA	SIM	NÃO	SIM	EEO
12				1.1.2	RELE DE ACIONAMENTO DANIFICADO	SIM	NÃO	SIM	EEO
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Pronto FMECA MODO FALHA Plan2 Plan3

Fonte: Autor, 2018

4.4. ETAPA 5 – SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Na etapa 5 são definidas as tarefas de manutenção aplicáveis a classificação dos modos de falha levantados na etapa 4.

ID Função	ID Falha Funcional	ID Modo de Falha	Consequência ESA - Evidente segurança EEO - Evidente Econômico OSA - Oculto Segurança OEO - Oculto Econômico	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	ID Tarefa
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de projeto	Reparo Funcional		
1	1.1	1.1.1	EEO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	INSPEÇÃO ROTA ELÉTRICA E TERMOGRAFIA	1 e 2
		1.1.2	EEO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	INSPEÇÃO ROTA ELÉTRICA E TERMOGRAFIA	1 e 2

Tabela 4.2: Seleção das tarefas de manutenção.
Fonte: Autor, 2018

4.5. ETAPA 6 – DEFINIÇÃO DOS INTERVALOS INICIAIS E AGRUPAMENTO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Na etapa 6 é definida a frequência das tarefas propostas na etapa 5, além das definições dos agrupamentos das tarefas, sendo definido da seguinte forma:

- OP – Check list de operador
- IR – Inspeção de Rota
- PR – Manutenção preventiva
- LU – Lubrificação
- IP – Inspeção Preditiva

Tabela 4.3: Definição dos intervalos iniciais e agrupamento das tarefas de manutenção

Etapa 6 - Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção

Id Função	Id Falha Funcional	Id Modo de Falha	Id Tarefa	Descrição da Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	Agrupamento da Tarefa	Equipe Responsável
1	1.1	1.1.1	1	INSPEÇÃO DE ROTA ELÉTRICA	MENSAL	IR	INSPEÇÃO ELÉTRICA
			2	TERMOCGRAFIA	TRIMESTRAL	IP	INSPEÇÃO PREDITIVO
		1.1.2	1	INSPEÇÃO DE ROTA ELÉTRICA	MENSAL	IR	INSPEÇÃO ELÉTRICA
			2	INSPEÇÃO ELÉTRICA	TRIMESTRAL	IP	INSPEÇÃO PREDITIVO

Fonte: Autor, 2018

4.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

O conceito apresentado de Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC permitiu abordar os elementos principais dessa metodologia.

A metodologia aplicada no estudo de caso de análise da manutenção em disjuntores subestação 230kV utilizando os conceitos da MCC, possibilitou identificar os principais subsistemas, funções, falhas funcionais, componentes, modo de falha e efeitos da falha, possibilitando estabelecer tarefas periódicas de manutenção capazes de evitar que a falha aconteça.

Apesar do processo de análise do plano de manutenção ou de aplicação dos conceitos da MCC para análise da causa raiz ser uma atividade que requer dedicação e foco, mostrou-se muito eficaz, e após desenvolver análise por completa fica evidente onde o foco da manutenção deve ser direcionado, facilitando a atualização dos planos atuais e onde intensificar as preventivas.

5. CONCLUSÕES

O estudo possibilita adquirir conhecimentos dos fundamentos da MCC, características de uma subestação e disjuntor para alta tensão além da ferramenta FMEA/FMECA.

Com o objetivo de mostrar as dificuldades encontradas ao realizar os planos de manutenção e análise das falhas esse estudo propõem uma análise simples de uma situação real e como pode ser realizada a tratativa, e através desse modelo ser ampliado ao sistema como um todo.

Ao se defrontar com o problema, em muitos casos não temos as soluções como um todo, mas como mostrado através da MCC, utilizando a ferramenta FMECA em muitos casos é possível desmembrar o problema até chegar as suas causas raiz e por fim aplicar uma solução seja corretiva, preventiva, preditiva ou em muitos casos como o estudo propõem a análise das intervenções no plano de manutenção.

Por meio do estudo foi possível analisar que o plano atual de manutenção não contempla alguns pontos de manutenção preditiva, exemplo citado no estudo, termográfica, com aplicação do estudo utilizando caso real, foi possível analisar e

propor atualização do plano atual de manutenção, contemplando a extensão das análises termográficas já realizadas na fábrica para a área da subestação com foco nos painéis dos acionamentos dos disjuntores de alta tensão modelo LTB 72,5-245E1 ABB.

Com as informações levantadas para a realização do estudo foi possível observar que o plano atual de manutenção, não realiza a estratégia de manutenção utilizando uma classificação de criticidade dos equipamentos através do “Modo de falha” do equipamento, aonde de maneira correta, a metodologia MCC poderia ser empregada.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

1
2
3
4
5
6

- Ampliar o conceito da MCC a toda subestação.
- Utilizar conceitos da MCC para atualização do plano de manutenção
- Utilizar Etapas da MCC para auxiliar na criação de novos planos de manutenção.
- Utilizar Etapas da MCC para análise da causa raiz.

REFERÊNCIA

AZEVEDO, Celso de, Livro, Se as máquinas falassem. São Paulo, SP: Saraiva Ed. 2007.

ACIRES DIAS, LUÍS FERNANDO PERES CALIL, EMERSON RIGONI, ANDRÉ OGLIARI, EDUARDO YUJI SAKURADA E HEITOR AZUMA KAGUEIAMA, Livro, Metodologia para análise de riscos. Mitigação de perda de SF6 em disjuntor. Ed. 2011

ABNT NBR 5462: Confiabilidade e Matenabilidade – terminologia. Rio de Janeiro, 1994.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica – Plano Mínimo de Manutenção.

Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/022/documento/anexo_-_plano_minimo_de_manutencao.pdf>.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica – Resolução Normativa nº 414.

Disponível em

<<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>>.

BLANCO, Santiago Sotuyo. Los 10 Mandamientos del RCM: Claves para el Éxito de um Proyecto de Implementación RCM. 22º Congresso Brasileiro de Manutenção, ABRAMAN, 2007.

DIAS, A. Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Tese de doutorado. 1996.

FUENTES, F. F. S.. Metodologia para inovação da gestão da manutenção industrial. Tese de Doutorado. PPEM, Universidade Federal de Santa Catarina. 2006.

GEBRAN, Amaury Pessoa – Instalações elétricas prediais. Porto Alegre: Bookman, 2017.

Júlio NASCIF, Luiz Carlos DORIGO, Livro, Manutenção Orientada para resultados. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark Ed. 2013

KARDEC, Allan; XAVIER, Júlio de Aquino Nascif. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 2010.

MOUBRAY, John. Manutenção Centrada em Confiabilidade, 2ed. Lutterworth, Inglaterra: Aladon Ltd, 2000.

Muzy, Gustavo Luiz Castro de Oliveira – Subestações Elétricas. Rio de Janeiro: UFRJ, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

Manual do produto 1HSB435416-1 pt Rev2- ABB

MORTELARI, Denis; SIQUEIRA; Kleber; PIZZATI, Nei. O RCM na Quarta Geração da Manutenção de Ativos. RG Editores, 1ª Edição, 2011.

NUNES, Enon Laércio, Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise da Implantação em uma Sistemática de Manutenção Preventiva Consolidada. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2001.

NOWLAN, F.S., HEAP, H. F., Reliability Centered Maintenance, National Technical Information Service, USA, Report N° AD/A066-579, 1978.

RIGONI, Emerson Metodologia para Implantação da manutenção centrada na confiabilidade: uma abordagem fundamental em Sistemas Baseados em

Conhecimento e Lógica Fuzzy, Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia, Florianópolis, 2009.

SIQUEIRA, Iony Patriota de.; Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação, 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SAE International. SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Warrendale, USA, SAE Publication, 1999.

SAE International. SAE JA1012: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. Warrendale, USA, SAE Publication, 2002.

SAE International. SAE J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA). Warrendale, USA, SAE Publication, 2002.

SNPTRR Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica; Grupo de estudo de subestação e equipamentos elétricos - GSE, 2005.