



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MAIARA ALVES DA SILVA GONÇALVES**

**IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS E EFEITOS EM DISJUNTORES A  
ÓLEO DE ALTA TENSÃO: UMA REVISÃO DA LITERATURA.**

**SUMÉ - PB  
2019**

**MAIARA ALVES DA SILVA GONÇALVES**

**IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS E EFEITOS EM DISJUNTORES A  
ÓLEO DE ALTA TENSÃO: UMA REVISÃO DA LITERATURA.**

**Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Produção.**

**Orientador: Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.**

**SUMÉ - PB  
2019**

G635i    Gonçalves, Maiara Alves da Silva.  
Identificação das falhas e efeitos em disjuntores a óleo de alta  
tensão: uma revisão de literatura. / Maiara Alves da Silva Gonçalves.  
- Sumé - PB: [s.n], 2019.

43 f.

Orientador: Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro  
de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia  
de Produção.

1. Disjuntores de alta tensão a óleo - falhas. 2. Análise de Modo  
de Efeito e Falha (FMEA). 3. Falhas em disjuntores. I. Pereira,  
Daniel Augusto de Moura. II. Título.

CDU: 621.316(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**MAIARA ALVES DA SILVA GONÇALVES**

**IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS E EFEITOS EM DISJUNTORES A  
ÓLEO DE ALTA TENSÃO: UMA REVISÃO DA LITERATURA.**

**Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Produção.**

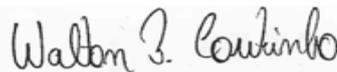
**BANCA EXAMINADORA:**



**Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira**  
Orientador - UAEP/CDSA/UFCG



**Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo**  
Examinadora 01 - UAEP/CDSA/UFCG



**Professor Dr. Walton Pereira Coutinho**  
Examinador 02 - UAEP/CDSA/UFCG

**Trabalho aprovado em: 27 de junho de 2019.**

**SUMÉ - PB**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente quero agradecer a Deus pelo Dom da minha vida, por ter me dado forças e sabedoria para chegar onde cheguei, por não ter me deixado desistir ou fracassar e por sempre me mostrar que existe um amanhã para recomeçar. Obrigada meu querido Deus por sempre estar ao meu lado.

A minha mãe Lúcia de Fatima Alves da Silva Gonçalves que apesar das dificuldades foi uma heroína, meu porto seguro, meu apoio, por tudo que fez e faz por mim sem me deixar desanimar ou cansar, nas horas difíceis esteve ao meu lado, na humildade, na amizade, simplicidade e no amor que tem por mim e pela as minhas irmãs. A meu pai Valdir Batista Gonçalves que já partiu para o Reino de Deus, mas consigo sentir uma forte presença intercedendo por nós. Obrigada por serem meu tudo e por me darem os ensinamentos para ser a pessoa que sou e na construção do meu caráter.

As minhas irmãs Mariana, Maísa, Maíra, Marília e a minha sobrinha Maria Cecília por acreditarem em mim, me incentivando a ir mais longe, pela paciência e confiança.

A meu namorado Francisco de Assis Medeiros Batista Júnior pelo apoio, sempre ao meu lado, por todo o amor, carinho, paciência e companheirismo; não esquecendo dos seus familiares que torcem pelo meu crescimento e concretização dos meus sonhos.

A todos os familiares como tios, primos, avós pela perseverança me mostrando como deve encarar os desafios da vida com fé, persistência e coragem, fazendo-me acreditar que tudo é possível.

Aos meus amigos pela força, colaborando de alguma maneira para concretização deste trabalho; em especial a Emanuel Bruno, Maria Vitoria e Lívia Malta pela as noites acordadas que passamos juntos, estudando e lutando por nossos sonhos.

Quero agradecer também a todos os meus professores, pela convivência durante todo o percurso que passou, pelos ensinamentos, nos guiando a uma qualificação melhor, por toda a dedicação e ética. Em especial ao meu professor e orientador Doutor Daniel Augusto de Moura Pereira, pela disponibilidade do tempo, pela competência e por ter sido um pai, me instruindo na elaboração deste trabalho.

Por tanto agradeço a todos que de uma maneira ou outra fizeram parte da minha caminhada como estudante de Engenharia de Produção e que puderam contribuir para a concretização deste trabalho, registro aqui meus sinceros agradecimentos.

## DEDICATÓRIA

*Em especial a minha mãe e ao meu pai, e a todos que de uma maneira ou outra fizeram parte da minha caminhada e da concretização deste trabalho.*

## RESUMO

Eventualmente nem sempre se está preparado para possíveis riscos ou falhas que venham ocorrer em disjuntores a óleo de alta tensão, embora se busque a identificação, análise e eliminação dessas possíveis causas que possam danificar todo o equipamento. Considerando-se uma carência de estratégia, que, impossibilita com mais eficácia e as causas das falhas. Em consonância com esta situação, o presente trabalho trata-se de uma análise da ferramenta de Análise de Modo de Efeito e Falha (FMEA) para os disjuntores a óleo de alta tensão. O objetivo principal desta análise é fornecer informações sobre os componentes presentes para maior facilidade de compreensão do funcionamento do disjuntor e identificação de falhas e aumento na sua confiabilidade. Para tanto foi realizado os seguintes passos metodológicos como estudos bibliográficos referente ao tema para contextualizar melhor sobre o mesmo. Os resultados encontrados finalmente são fornecidos o seguimento das causas e falhas nos disjuntores, seu acúmulo de possíveis falhas acarreta elevações nos custos, submetendo a perdas muitas vezes, envolvendo danos a pessoas, empresas, e meio ambiente. A partir disto, realizou-se um estudo bibliográfico sendo suas informações coletadas através da literatura vigente sobre o assunto.

**Palavras chaves:** Disjuntores. Análise de Falha. Causas.

## **ABSTRACT**

Possibly not always is prepared for possible risks or failures that may occur in high-voltage oil circuit breakers, although it seeks the identification, analysis and elimination of these possible causes which could damage all the equipment. A lack of strategy, that makes more efficacious and the causes of the failures. In line with this, the present work it is an analysis of the mode analysis tool and Failure Effect (FMEA) for high-voltage oil circuit breakers. The main objective of this review is to provide information on the components for ease of understanding of the functioning of the switch and fault identification and increased your reliability. To this end was held the following methodological steps as bibliographic studies on the theme for better context. The results are finally provided the follow-up of the causes and failures in circuit breakers, your accumulation of possible failure causes elevations in costs, submitting the losses often involving harm to people, businesses, and the environment. From this, a bibliographical study being your information collected through the existing literature on the subject.

**Keywords:** Circuit breakers. Failure analysis. Causes.

## **LISTA DE ABREVEATURA**

**ANEEL** -Agência Nacional de Energia Elétrica

**FMEA**–Análise do Modo de Efeito e Falha

**ESA** – Segurança/ Ambiental Evidente;

**EEO** – Operacional/ Econômico Evidente.

**GVO** - Grande Volume de Óleo

**MME** - Ministério de Minas e Energia

**NASA** - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

**OEO** – Operacional/ Econômico Oculta;

**OSA** – Segurança/ Ambiental Oculta;

**PVO** - Pequeno Volume de Óleo

**NPR** – Número de Prioridade de Risco

## **LISTAS DE FIGURAS**

Figura 1: Etapas das Seções do Trabalho.....	15
Figura 2: Sequência de extinção de um disjuntor PVO .....	17
Figura 3: Disjuntor a grande volume de óleo do tipo TDO .....	17
Figura 4: Lógica de decisão.....	19
Figura 5: Caracterização da Pesquisa.....	23
Figura 6: Esquema resumido da metodologia FMEA.....	26
Figura 7: Fluxograma de Etapas .....	25
Figura 8: Disjuntor a óleo de alta tensão .....	27

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Formulário FMEA para Disjuntores a Óleo de Alta Tensão (GVO) .....	28
Quadro 2: Formulário FMEA para Disjuntores a Óleo de Alta Tensão (PVO) .....	35
Quadro 3: Método de análise do índice de severidade.....	37
Quadro 4: Método de análise do índice de ocorrência.....	38
Quadro 5: Método de análise do índice de detecção.....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivo .....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivo Específico .....	13
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Estrutura do Trabalho de Conclusão de Curso .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Disjuntores a óleo de alta tensão.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Análise do Modo de Falha e Efeito de Falhas – FMEA .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Aplicação da Ferramenta FMEA .....	20
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Caracterização da Pesquisa .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Etapas da Pesquisa .....</b>	<b>24</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Proposta do NPR (Número de Prioridade de Risco).....</b>	<b>37</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Disjuntores são instrumentos mecânicos que tem a capacidade de interromper correntes elétricas desconhecidas e circuitos de alta tensão, são conhecidos como grandes componentes de segurança, que por sua vez conseguem identificar algo estranho na corrente causando o desligamento rápido do sistema (SAMPAIO, 2012).

Segundo Nobre (1999) estes disjuntores são dispositivos capazes de estabelecer, conduzir e interromper corrente elétrica nas condições normais de circuito e conduzir por um tempo específico e interromper correntes sob condições anormais específicas de circuito, tais como curto-circuito. Sob o mesmo ponto de vista, Colombo (1988) diz que os disjuntores de alta tensão são dispositivos capazes de suportar altas cargas elétricas de um sistema, tendo a eficiência de controlar e proteger os circuitos elétricos de grandes indústrias.

Estes dispositivos de alta tensão passam por ensaios onde serão detectadas falhas as quais serão reparadas por fabricantes antes de irem para o mercado (SAMPAIO, 2012). Sampaio (2012) ainda complementa que os disjuntores quando em operação, as interrupções neles geralmente são decorrentes da falta de manutenção preventiva, implicando em altos custos no sistema elétrico essas interrupções podem ser provocadas pelo excesso de óleo na câmara de extinção, capacidade limitada de tenção, excesso de resíduos de carbono, entre outros fatores que possa vim a interromper a ação do disjuntor.

Por meio das ferramentas para o apoio a manutenção encontra-se a Análise do Modo de Efeito e Falha(FMEA) que visa identificar todos os possíveis modos potenciais de falhas e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do processo (LAFRAIA, 2001; PALADY, 2004),podendo ser também utilizada para aprimorar a manutenção. O FMEA possibilita processos e análise em modos de falhas buscando auxílio na manutenção preventiva e corretiva (HELMAM, ANDREY, 1955).

Considerando o assunto questionado, o presente trabalho indica a necessidade de observar os componentes presentes nos disjuntoresa óleo de alta tensão com finalidade para realizar uma análise dos modos de falhas e seus efeitos ocorridas. Sendo assim, é proposto para este trabalho de conclusão de curso como objetivo a utilização da ferramenta FMEA, pois é uma técnica de confiabilidade capaz de identificar riscos circunstâncias, com finalidade de evitar possíveis falhas que venham ocorrer durante sua utilização.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Realizar uma análise dos modos de falhas e seus efeitos em disjuntores a óleo de alta tensão.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Descrever as partes constituintes de disjuntores a óleo de alta tensão;
- Fazer um levantamento das falhas, modos de falhas e respectivos efeitos e causas em disjuntores a óleo de alta tensão.
- Possibilitar o aumento de confiabilidade do sistema elétrico.
- Propor um índice de prioridade de risco para as falhas de disjuntores a óleo de alta tensão.

## **1.2 Justificativa**

O disjuntor é um dispositivo absolutamente essencial no mundo moderno, e um dos mecanismos de segurança mais importantes nas instalações elétricas (ANEEL, 2009). Ainda de acordo com Aneel (2009) sem os disjuntores, a energia elétrica seria impraticável por causa do potencial de incêndios e outros danos resultantes de problemas de fiação simples e falhas de equipamento.

Existem diversos exemplos de fenômenos transitórios que ocorrem em sistemas de potência, um deles refere-se a abertura de um circuito, cuja ocorrência pode implicar em sobretensões nos equipamentos do sistema. Um caso crítico de seccionamento de um sistema de energia elétrica se dá nas ocorrências de um curto-circuito. Esta operação envolve rapidez, precisão e segurança, sendo realizada através dos disjuntores de alta tensão (NOBRE, 1999).

Segundo Kindermann (1997) alguns problemas que resultam em falhas no sistema elétrico, são de natureza térmica como sobrecorrentes em consequência da sobrecarga no sistema e sobretensão dinâmica no sistema, problemas de manutenção por substituição inadequada de peças e equipamentos, pessoal não treinado e qualificado, peças de reposição não adequadas, falta de controle de qualidade na compra do material e inspeção não adequada da rede, e, finalmente, problemas de outra natureza como os atos de vandalismo, queimadas, inundações, desmoronamentos e acidentes.

Colombo (1986) afirma que as maiores dificuldades enfrentadas por profissionais que atuam na área de sistemas de potência são à necessidade de conhecimento dos princípios de funcionamento e dos problemas pertinentes à aplicação dos disjuntores no sistema elétrico.

Tendo em vista o assunto abordado, esses disjuntores tem função de interromper grandes correntes elétricas causadas no sistema elétrico, e com a ausência de informações de profissionais e métodos eficazes dificulta a avaliação de possíveis falhas que venham ocorrer, contribuindo muitas vezes nos aumentos dos custos e até em sua perda total. Com isso para uma melhor visão de todo o sistema elétrico o presente teve foco na utilização da ferramenta FMEA.

A ferramenta FMEA, contribui principalmente no desempenho da função, sendo possível conhecer todos os componentes e suas possíveis causas de falhas, prevenindo e revertendo a situação, com o objetivo de minimizar os riscos, falhas e impactos causados nas redes elétricas, e possibilitar aos profissionais da área um maior conhecimento dos componentes presentes e aumentando a confiabilidade desses disjuntores. O resultado final do trabalho pode ser usado pelos utilizadores deste ramo, que buscam excelência deste equipamento.

### **1.3 Estrutura do Trabalho de Conclusão de Curso**

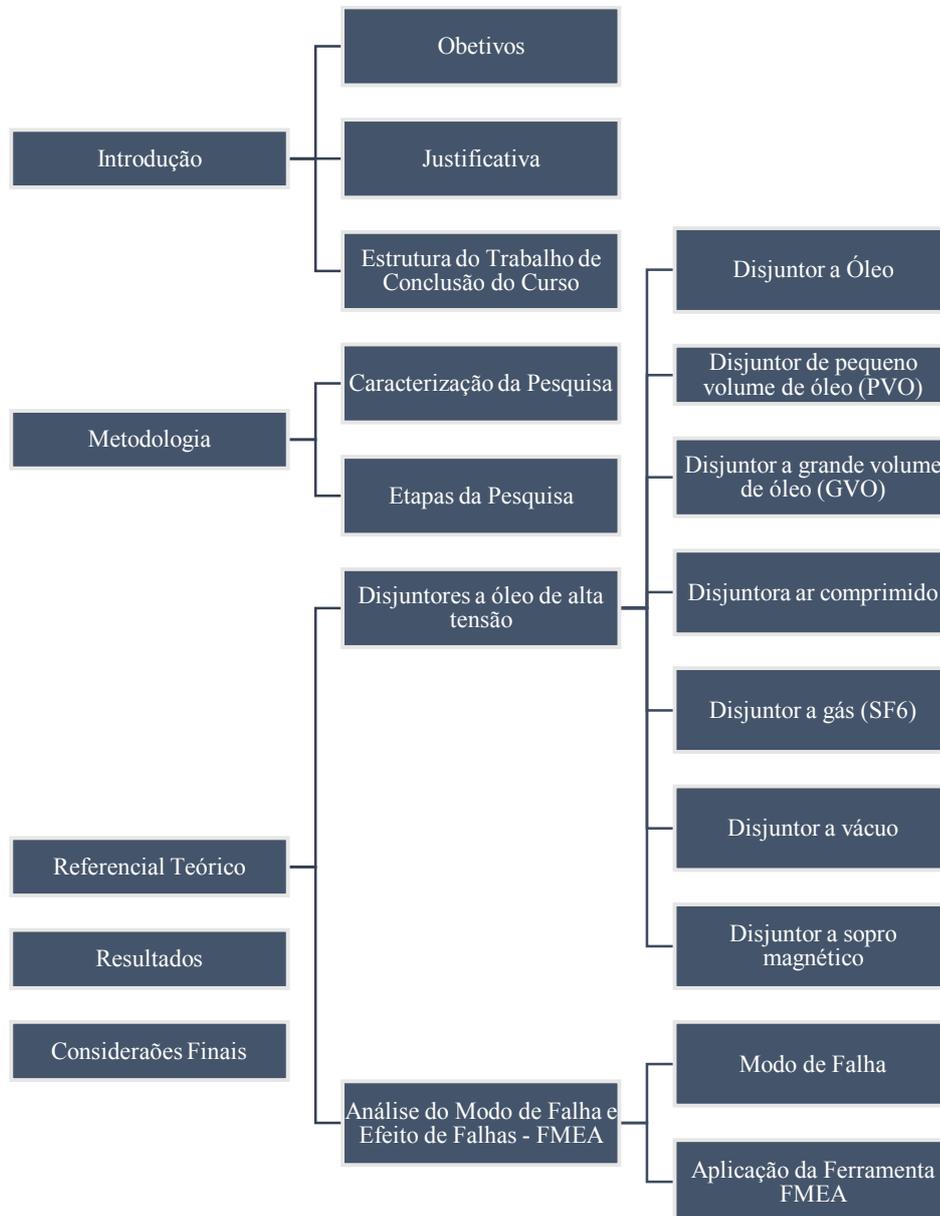
Este trabalho está estruturado em cinco partes. No primeiro capítulo é abordado o tema a ser estudo, isto é, mostrar como a ferramenta FMEA irá auxiliar na redução de possíveis falhas que venham a ocorrer nos disjuntores a óleo de alta tensão, o objetivo geral e os objetivos específicos, assim como as possíveis contribuições da pesquisa para os utilizadores deste ramo.

No segundo capítulo o presente trabalho ilustrado a partir da apresentação do referencial teórico, no qual contém os principais conceitos sobre Disjuntores a Óleo de Alta Tensão, Análise do Modo de Falha e Efeito de Falhas, Modo de Falha, Aplicação da Ferramenta FMEA. No terceiro capítulo mostra uma revisão metodológica, exibindo a caracterização da pesquisa quanto a sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos, e em seguida, expondo as etapas da pesquisa.

No quarto capítulo serão abordados os resultados da pesquisa estudada, com aplicação do modelo FMEA para os disjuntores a óleo de alta tensão, já no quinto e último capítulo apresentará a conclusão do estudo abordado, mostrando os resultados obtidos associados com relação ao estudo sobre os disjuntores a óleo de alta tensão.

A Figura 1 resume as etapas das seções abordadas no presente trabalho.

**Figura 1 - Etapas das Seções do Trabalho**



Fonte: Autoria Própria (2019)

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção irá expor a pesquisa bibliográfica da literatura para o fundamento teórico do estudo. Será apresentado alguns temas como: disjuntores a óleo de alta tensão. Os modos de falha, análise de modo de falha, efeito e a ferramenta FMEA.

### 2.1 Disjuntores a óleo de alta tensão

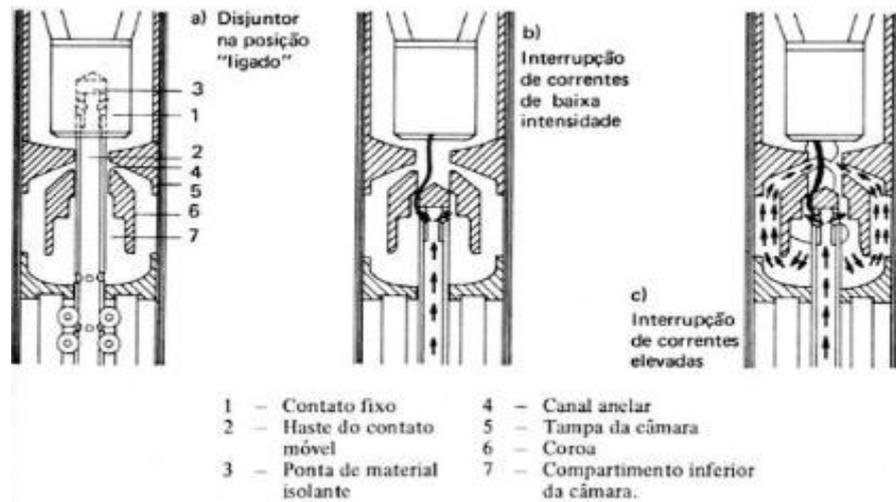
De acordo com Lopes (2014), o disjuntor é considerado como um dispositivo mecânico que consegue interromper correntes elétricas. Isto permite com que as correntes de energia sejam controladas conectando e desconectando correntes com segurança para todos os elementos da rede.

Na posição aberta é preciso observar o isolamento através da distância de interrupção entre as fases e para o solo, na posição fechada precisa-se permitir que a energia flua com perdas mínimas (LOPES, 2014). Colombo (1988) ainda complementa dizendo que é preciso interromper correntes com segurança sem danificar a si mesmo ou os equipamentos.

Os disjuntores de alta tensão são elementos de grande importância para uma rede elétrica, capazes de bloquear uma descarga elétrica que possa ocasionar grandes danos. Existem 7 tipos de disjuntores de alta tensão, são eles:

Disjuntor a óleo: de acordo com Colombo (1988), no disjuntor a óleo encontra-se um arco que apresenta um efeito hidrogênio e um efeito de fluxo líquido, apresenta imerso a óleo isolante o disjuntor a óleo é dividido em dois tipos: disjuntor de pequeno volume de óleo (PVO um disjuntor que tem uma câmara e que se encontra um arco imerso ao óleo com fluxo orientado a pequeno volume de óleo (COLOMBO, 1988), como mostra a Figura 2 o funcionamento do dispositivo de fluxo de óleo.

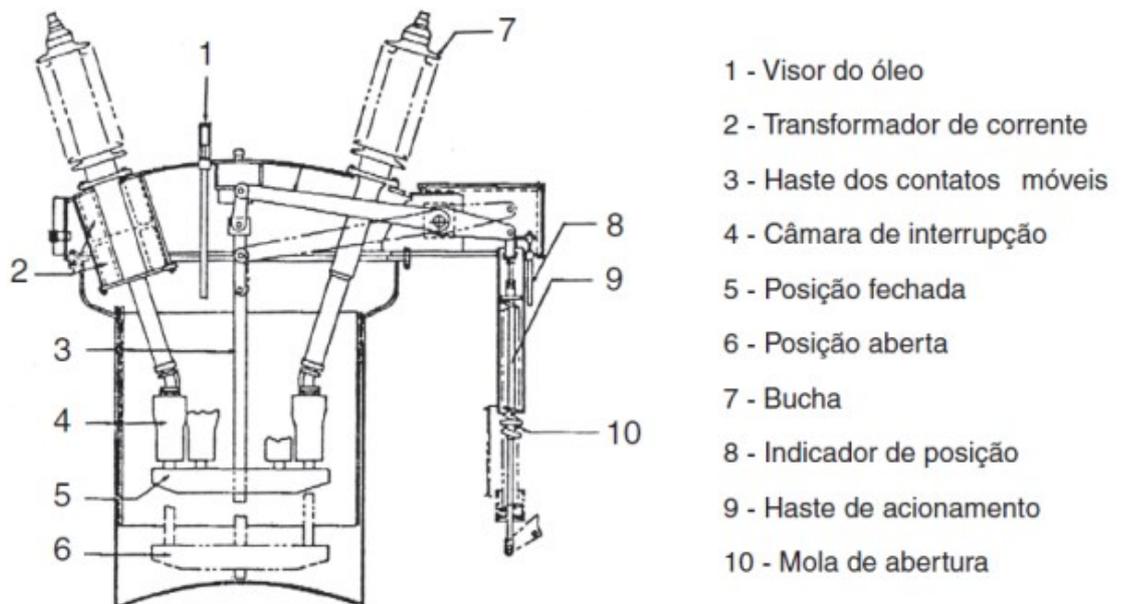
**Figura 2** - Sequência de extinção de um disjuntor PVO



**Fonte:** Colombo (1988)

Disjuntor a grande volume de óleo (GVO): é um disjuntor de 45 a 72,5 KV, o mesmo possui câmaras que se encontram no PVO e que foram adaptadas para o disjuntor de grande volume de óleo, é um disjuntor mais antigo que possui traços de ruptura e adaptações como mostra a Figura 3.

**Figura 3** - Disjuntor a grande volume de óleo



**Fonte:** Colombo (1988)

Disjuntor a ar comprimido: de acordo com Filho (2003) o disjuntor a ar comprimido é composto por nitrogênio contido no ar, esse gás tem um jato de alta velocidade. É um

disjuntor que não encontra dificuldade no impacto de elemento, mais que por sua vez possui um elevado custo (FILHO, 2005).

Disjuntor a gás (SF6): segundo Silva (2011) é um tipo de disjuntor muito parecido com o comprimido pois os dois são a gás e possuem um isolante, esse disjuntor apresenta uma câmara selada fixa e que mal precisa de manutenção, pois seu gás de alto domínio.

Disjuntor a vácuo: novamente Silva (2011) comenta que o disjuntor a vácuo possui uma grande taxa de vácuo, isolando o seu interior, são formados por tubos de cilindro, possui uma variação nas taxas de pressão que podem sofrer alterações futuras.

Disjuntor a sopro magnético: filho (2005) aborda que é um disjuntor muito utilizado em indústrias que conseguem suportar tensões de 24 V, são disjuntores de baixa manutenção e que são estendidos para aumentar a resistência do arco, esse arco possui uma alta queda de tensão.

## **2.2 Análise do Modo de Falha e Efeito de Falhas – FMEA**

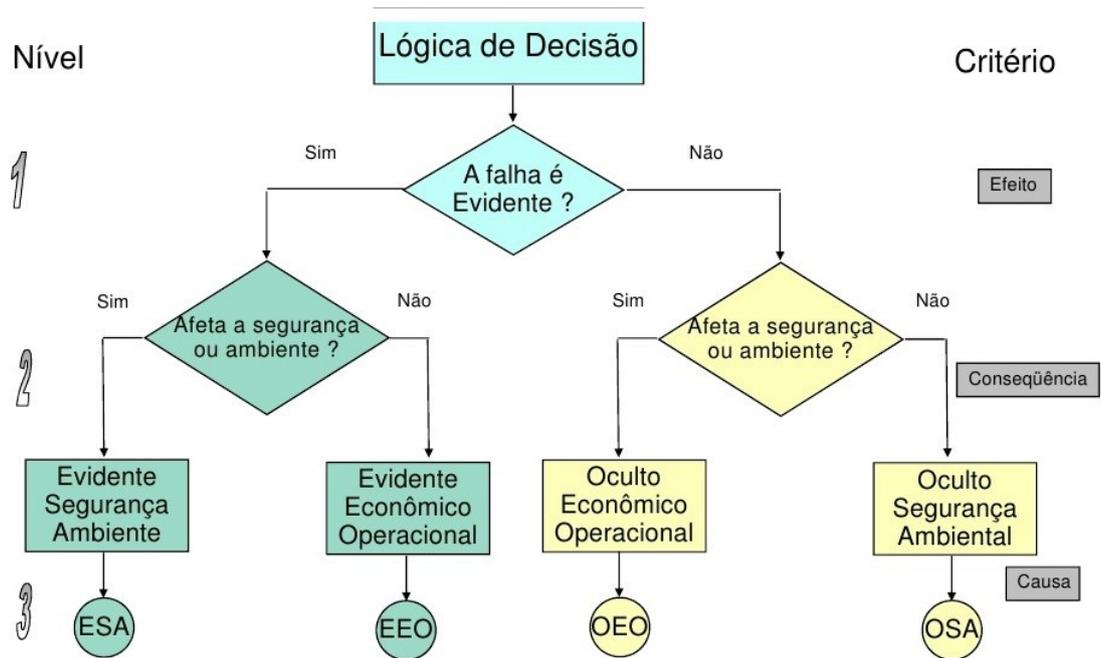
Segundo Lafraia (2011) a análise do modo de falhas e efeitos é uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e/ou antecipar a(s) causas (s) e efeitos de cada modo de falha de um sistema ou produto.

A análise corresponde as correções para retirar ou incluir os meios de falhas e seus componentes, contribui para antecipação das falhas conhecidas ou as que surjam por meio de mudanças em matérias, processos ou projetos. Uma falha pode surgir através de um efeito adverso em um sistema. As consequências de falha, modo de falha, efeitos e FMEA ocorrem na Manutenção Centrada na Confiabilidade conhecida como o processo MCC.

- OEO – Operacional/ Econômico Oculta;
- OSA – Segurança/ Ambiental Oculta;
- ESA – Segurança/ Ambiental Evidente;
- EEO – Operacional/ Econômico Evidente.

Essas classificações são dadas através do processo de decisão do MCC que tem como objetivo reduzir custos de manutenção, evitando ou removendo falhas. Como mostra a Figura 4.

**Figura 4 - Lógica de decisão**



**Fonte:** Lafraia (2011)

O Efeito de falha determina o impacto de um modo de falha, que por sua vez precisa ter informações suficientes para avaliar os impactos causados no processo, todos os efeitos possíveis devem ser registrados, esses registros serão importantes para a avaliar as consequências (SIQUEIRA, 2012). Ainda do mesmo autor, Siqueira (2012) complementa que a classificação dos efeitos de falhas permite ao analista separa-los em classes equivalentes, segundo os níveis de importância.

Os modos de falhas são as falhas, causas e riscos encontradas em um sistema. Cada modo de falha apresenta características, que pode ser apresentada de diversas maneiras. Muitas vezes um sistema não apresenta a falha diretamente, é preciso que se mantenha o controle e as manutenções prevista para o sistema (LAFRAIA, 2001).

De acordo com Siqueira (2012), as falhas acontecem atrás do funcionamento ou evento de um sistema que apresenta vibrações, desgastes, condições físicas entre outros que podem ocasionar a falha no sistema, “evidentemente, cada tecnologia possui mecanismos próprios e particulares de geração de modos de falha.”

### 2.2.1 Aplicação da Ferramenta FMEA

O FMEA surgiu em 1949 e destinava-se às análises de falhas em sistemas e equipamentos da Indústria Militar Americana. O mesmo emergiu nos anos 60 na NASA com a primeira aplicação formal através do Apollo Space Program (SEGISMUNDO e MIGUEL, 2008). Desde então, o método tem sido adotado e padronizado por organizações de classe mundial. Desde 1976, o FMEA vem sendo utilizado no ramo automobilístico e atualmente constitui-se numa ferramenta importante para as empresas desse segmento (BASTOS, 2006).

Para Braglia (2000) cita algumas vantagens do FMEA, como: (i) a visibilidade das informações que constam em um FMEA torna-o facilmente entendido por todos participantes do grupo multidisciplinar de FMEA; (ii) o FMEA, se visto como um procedimento sistemático, gera uma base de dados facilmente gerenciada com auxílio de software e que sustenta a manutenção do histórico do desenvolvimento do produto ou do processo; (iii) o FMEA auxilia na identificação das fraquezas do processo de desenvolvimento de produtos e de processos possibilitando ajustes nos procedimentos; (iv) a atenção e priorização das ações fica claramente estabelecida e focada em poucos componentes ou processos; (v) a partir das informações do FMEA, podem ser estabelecidos procedimentos, controles e registros necessários no desenvolvimento de produtos e no processo produtivo; recomenda-se que estes sejam integrados ao sistema de gestão da qualidade.

A literatura tem trazido exemplos de aplicação do FMEA em diferentes setores. Estes exemplos e recomendações não são consensuais. Neste texto será apresentada uma discussão geral sobre estas aplicações (SAKURADA 2001).

Estão presentes na literatura aplicações em sistema, projeto, processo e serviço. Esta é a classificação de STAMATIS (1995) e o autor entende que:

- FMEA de Projeto – É usado para analisar produtos antes que eles sejam liberados para a manufatura. O FMEA de projeto enfoca os modos potenciais de falha causados pelas deficiências do projeto.
- FMEA de Processo – É usado para analisar os processos de manufatura e montagem. O FMEA de processo enfoca os modos de falhas causados pelas deficiências do processo ou montagem.
- FMEA de Serviço – É usado para analisar serviços antes que eles alcancem o cliente. O FMEA de serviço enfoca os modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados pelas deficiências do sistema ou processo.

Na elaboração do FMEA, cada componente é examinado de forma a identificar seus possíveis modos de falha (MADDOX, 2005). A Military Standard (MIL-STD 1629A) (1980), identifica como sendo um procedimento pelo qual cada modo de falha potencial em um sistema é analisado para determinar os resultados ou efeitos no sistema e para classificar cada modo de falha potencial de acordo com a sua severidade.

Um dos requisitos para a utilização da ferramenta é que se tenha total conhecimento do que é modo de falha e efeitos. Portanto, para iniciar o estudo foi feito o uso do dicionário MICHAELIS (2017), sendo consultado os seguintes termos: MODO, FALHA e EFEITO.

- MODO é a “Forma ou maneira de ser ou manifestar-se uma coisa”;
- FALHA: “Defeito”, “ato ou efeito de falhar”, sendo que FALHAR está descrito como “Não dar o resultado desejado, não ser como se esperava”.
- EFEITO: “Resultado produzido por uma ação ou um agente, denominada causa em relação a esse resultado”.
- CAUSA: “Aquilo que determina a existência de uma coisa”;

Diante destas informações pode-se dizer que a definição do Modo de Falha é a condição diferente do componente estudado que não exerce sua função. E que o efeito de modo de falha se dá por conta dos resultados produzidos quando vêm a correr e isso se dá por consequência do modo de falha. Já as causas do modo de falha são os motivos que levaram o modo de falha a ocorrer, podem estar nos componentes da vizinhança, fatores ambientais, erros humanos, ou no próprio componente (SAKURADA, 2001).

Sakurada (2001) ainda afirma em resumo, que, vale ressaltar, embora as definições sejam simples, nem todas as falhas poderão se ajustar a estas definições, podendo gerar muitas discussões em uma reunião de FMEA. Deve-se ter em mente que, um modo de falha é uma anomalia que ocorre em nível de componente e um efeito ocorre em nível de sistema. Esta anomalia deve ser caracterizada em termos de função ou especificações de projeto, processo ou uso.

### 3 METODOLOGIA

Nesta parte foi apontada as características da pesquisa quanto à sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos técnicos. Posteriormente, foi descrito as etapas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

Elaborou-se um formulário de fundamento: Em seguida no formulário elaborado foi considerando: o Sistema, tipo do componente, identificação das falhas, identificação das causas e origem de cada falha, e por último o NPR de cada falha.

#### 3.1 Caracterização da Pesquisa

O método de pesquisa pode ser caracterizado de acordo com sua abordagem, natureza, objetivo e procedimentos técnicos, segundo ilustrada na Figura 5.

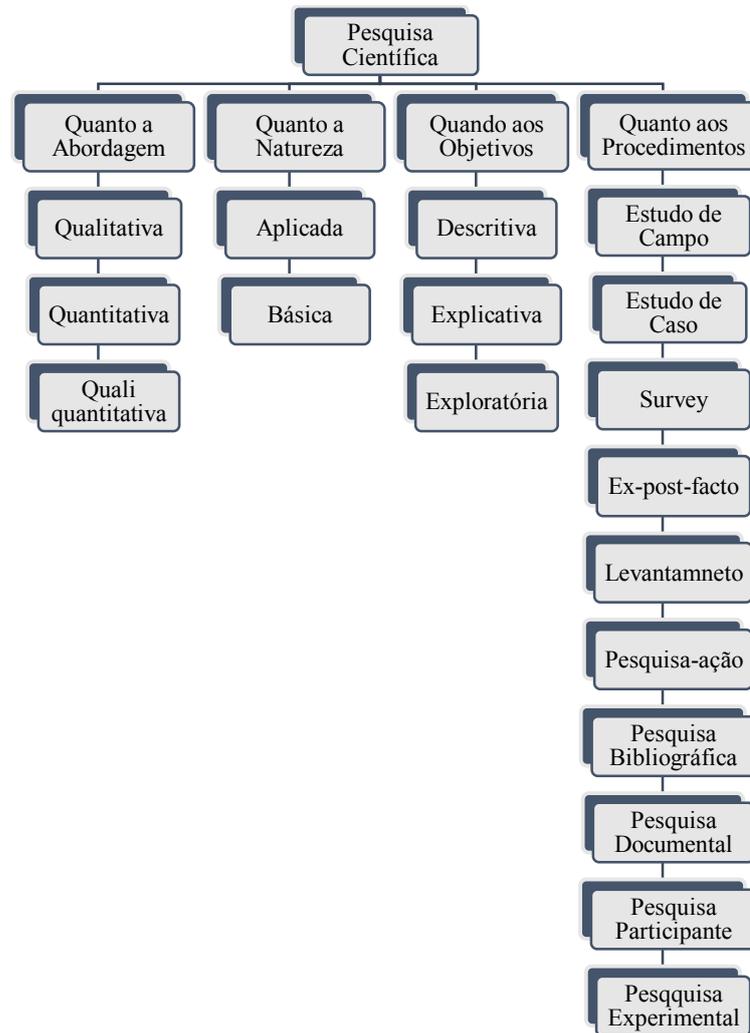
Sobre a sua abordagem, a pesquisa pode ser considerada como qualitativa, quantitativa e quali-quantitativa. Conforme Richardson (1989) o método qualitativo difere, em princípio, do quantitativo, à medida que não emprega um instrumental estatístico como base na análise de um problema, não pretendendo medir ou numerar categorias.

Diehl (2004, p.22), afirma que:

“à pesquisa quantitativa pelo uso da quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento das informações, utilizando-se técnicas estatísticas, objetivando resultados que evitem possíveis distorções de análise e interpretação, possibilitando uma maior margem de segurança”.

Diante isto, a pesquisa considera-se quali-quantitativo, pois se utiliza para encontrar as causas mais graves como forma de embasamento matemático o cálculo do NPR, contribuindo para tomadas de decisão. Dispondo uma preocupação com questões da realidade que não serão quantificadas, com maior concentração na sua clareza e explicação.

A Figura 5 exhibe detalhadamente a caracterização da pesquisa.

**Figura 5 - Caracterização da Pesquisa**

**Fonte:** Autoria própria (2019)

A respeito da natureza, a pesquisa classifica-se como aplicada ou básica. Segundo Gerhardt e Silveira (2009) o método da natureza aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolvendo verdades e interesses locais. Desta maneira, o estudo é de natureza aplicada, pois será feita uma tabela detalha com apoio da ferramenta FMEA, ajudando na identificação das falas potenciais nos disjuntores a óleo de alta tensão.

Em referência aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva, explicativa e exploratória. Diante do estudo abordado podemos está pesquisa tem como natura exploratória, que, de acordo com Gil (2008) a pesquisa exploratória é familiarizar-se com um assunto ainda pouco conhecido, pouco explorado, dependendo da intuição do explorador. Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso. Com isso,

é considerada exploratória, visto que foi realizado a pesquisa bibliográfica a respeito de informações relacionadas aos disjuntores a óleo de alta tensão.

Por último, quanto aos procedimentos técnicos à pesquisa pode ser caracterizada como estudo de campo, survey, ex-post-facto, levantamento, pesquisa-ação, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa participante e pesquisa experimental.

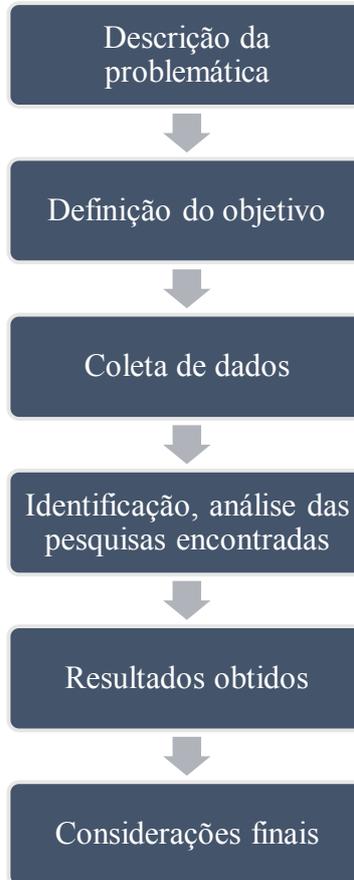
Koche (1997, p. 122) afirma que a pesquisa bibliográfica pode ser realizada com diferentes fins:

para ampliar o grau de conhecimentos em uma determinada área, capacitando o investigador a compreender ou delimitar melhor um problema de pesquisa; para dominar o conhecimento disponível e utilizá-lo como base ou fundamentação na construção de um modelo teórico explicativo de um problema, isto é, como instrumento auxiliar para a construção e fundamentação de hipóteses; para descrever ou sistematizar o estado da arte, daquele momento, pertinente a um determinado tema ou problema.

Desta maneira, afim de efetivar a pesquisa foi utilizado estudos bibliográficos, que colaboraram para maiores informações e conceber possíveis soluções para o trabalho abordado.

### **3.2 Etapas da Pesquisa**

A Figura 6 exibe o fluxograma das etapas executada do método de pesquisa. Neste caso, para a realização do presente estudo, efetuou-se a exploração do conteúdo abordado por meio de pesquisa bibliográficas para fundamento teórico, sendo dividida em duas partes: na primeira parte será apresentado os tipos de disjuntores, características e segurança que cada um proporciona, depois será realizada a aplicação da ferramenta FMEA para os disjuntor a óleo de alta tensão, onde será realizado um levantamento dos modos de falhas, causas o(s) efeito(s) no sistema.

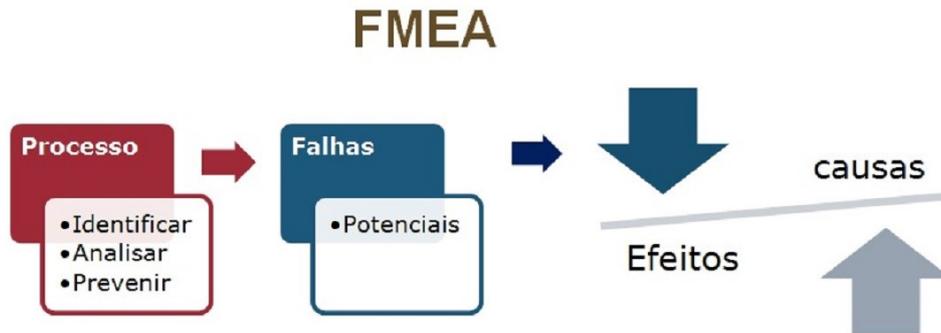
**Figura 6** - Fluxograma de Etapas

**Fonte:** Autoria própria (2019)

À vista disto, como proposta para alcançar informações para a execução do objetivo, realizou-se a coleta dos dados em relação aos componentes compostos nos disjuntores a óleo de alta pressão, de maneira a encontrar referencias relevantes por meio de fontes científicas (livros, teses, dissertações) e em fontes com exibição de ideias (sites, vídeos, entre outros).

A Figura 7 abaixo representa o processo da aplicação da FMEA no disjuntor de alta tensão a óleo:

**Figura 7** - Esquema resumido da metodologia FMEA.



**Fonte:** Boaspraticas (2015)

Posteriormente, aplicou-se a ferramenta FMEA para o reconhecimento das falhas potenciais de cada componente recorrente ao disjuntor a óleo de alta tensão. Com isso, abordou-se os efeitos obtidos com o uso da ferramenta FMEA mostrando as causas mais comuns que precisam de maiores cuidados. Seguindo da última fase do trabalho, as considerações finais, mencionando os comentários analisados alcançados pelo resultado investigado e eficácia do método introduzido.

Portanto, foi estabelecido o objetivo principal do estudo: aplicação da ferramenta FMEA em disjuntores a óleo de alta tensão: uma revisão bibliográfica, como suporte na Análise de Modo de Falha e Efeitos, relativas à detecção de falhas nos disjuntores.

## 4 RESULTADOS

A aplicação da ferramenta FMEA neste trabalho refere-se a uma adaptação realizada pela Dra. Vanessa Batista Schramm para uma análise em disjuntores, onde a ferramenta FMEA foi considerada. O modelo proposto foi formado para obter um conhecimento mais eficaz a respeito de todos os componentes presentes em disjuntores a óleo de alta tensão com intuito de adquirir um maior conhecimento e minimizar riscos circunstanciais que podem vir a ocorrer durante a sua utilização. A Figura 8 abaixo mostra um modelo de disjuntor a óleo de alta tensão

**Figura 8** - Disjuntor a óleo de alta tensão



**Fonte:** Montenero (2016)

Com a análise feita, elaborou-se um formulário contendo as seguintes informações necessárias, como: identificação das falhas e identificação das causas e efeitos de cada falha.

Para o presente estudo atentou-se a seguinte decomposição de partes do disjuntor: sistema, tipo e componente. O sistema é o próprio disjuntor, o tipo é os tipos de disjuntores existentes e os componentes são as partes que compõem todo o sistema do disjuntor.

Por conseguinte, o Quadro 1 e 2a seguir está no formato de formulário FMEA, onde podem ser observados e analisados os resultados obtidos pela aplicação da ferramenta representando todos os seus componentes, onde foi possível localizar 8 tipos de componentes, no qual foram encontrados 20 modos de falhas com 51 causa. As falhas foram identificadas através de pesquisas bibliográficas de diferentes autores com intuito de proporcionar um conhecimento maior. O Quadro 1 indica o formulário FMEA para os disjuntores a óleo de alta tensão.

**Quadro 1 - Formulário FMEA para Disjuntores a Óleo de Alta Tensão (GVO)**

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves</b>					<b>FMEA N°: 1</b>	<b>Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (GVO)</b>	
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Óleo Isolante	Contaminação	1	Forma da Extração do Óleo	1	Contaminação por Umidade na Extração	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Óleo Isolante	Contaminação	1	Forma da Extração do Óleo	2	Misturas de Líquidos Isolantes Contaminados na Extração	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Óleo Isolante	Contaminação	1	Forma da Extração do Óleo	3	Local da Extração Úmido e sem Ventilação	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Óleo Isolante	Contaminação	1	Forma da Extração do Óleo	4	Pessoas Envolvidas sem Aparelhos de EPI Adequado	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Óleo Isolante	Enchimento de Óleo	2	Nível Ultrapassado	5	Vazamento de Óleo	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Óleo Isolante	Enchimento de Óleo	3	Nível não alcançado	6	Pouca Lubrificação	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves da Silva Gonçalves</b>					<b>FMEA N°: 1 Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (GVO)</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Óleo Isolante	Enchimento de Óleo	3	Nível não alcançado	7	Desgaste nas Peças	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Câmara de Extinção	Perda de Confiabilidade	4	Quebra do Componente	8	Mau Contato nas Conexões das Câmeras	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Câmara de Extinção	Perda de Confiabilidade	4	Quebra do Componente	9	Desgaste do Componente	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Câmara de Extinção	Perda de Confiabilidade	4	Quebra do Componente	10	Defeito de Fabricação	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Câmara de Extinção	Perda de Confiabilidade	5	Oxidação do Componente	11	Falha no Monitoramento Externo	Inspeção Termográfica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Câmara de Extinção	Perda de Confiabilidade	6	Troca Inadequada	12	Sobreaquecimento das Conexões	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves da Silva Gonçalves</b>					<b>FMEA N°: 1 Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (GVO)</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Sistema de Acionamento	Desgaste da Mola	7	Tensão na Mola	13	Pressão Exercida nas Molas	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Desgaste da Mola	7	Tensão na Mola	14	Quebra da Mola	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Desgaste da Mola	7	Tensão na Mola	15	Desgaste da Mola	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Desgaste da Mola	8	Ferrugem	16	Falta de Lubrificação	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Desgaste da Mola	8	Ferrugem	17	Manutenção não realizada	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	9	Atuação Indevida da Bomba Hidráulica	18	Alta Pressão	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves da Silva Gonçalves</b>					<b>FMEA N°: 1 Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (GVO)</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	9	Atuação Indevida da Bomba Hidráulica	19	Depressão do Óleo	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	9	Atuação Indevida da Bomba Hidráulica	20	Fluxo Descontínuo do Óleo na Bomba	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	9	Atuação Indevida da Bomba Hidráulica	21	Quebra da Engrenagem	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	10	Pressão no Êmbolo	22	Grande Quantidade de Óleo	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	10	Pressão no Êmbolo	23	Alta Pressão Hidráulica	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	10	Pressão no Êmbolo	24	Pressão Maior Que a Resistência	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves da Silva Gonçalves</b>					<b>FMEA N°: 1 Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (GVO)</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	10	Pressão no Êmbolo	25	Rompimento na Tubulação	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	11	Quebra no Reservatório de Óleo	26	Capacidade Volumétrica não Suficiente	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	11	Quebra no Reservatório de Óleo	27	Desgaste do Reservatório	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	11	Quebra no Reservatório de Óleo	28	Perfurações no Reservatório	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	12	Atuação Indevida da Válvula de Segurança	29	Desgaste da Mola da Válvula	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Hidráulico	12	Atuação Indevida da Válvula de Segurança	30	Entupimento da Válvula	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves da Silva Gonçalves</b>					<b>FMEA N°: 1 Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (GVO)</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Pneumático	13	Cilindro não lubrificado	31	Trava da Comporta	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Pneumático	13	Cilindro não lubrificado	32	Falha de Lubrificação	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Pneumático	13	Cilindro não lubrificado	33	Ciclo sem Sincronia	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Pneumático	13	Cilindro não lubrificado	34	Pressão do Ar não Exercida	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Pneumático	14	Atuação Indevida Válvula	35	Ajuste Inadequado	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Pneumático	14	Atuação Indevida Válvula	36	Conexão Reta não Instalada	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves da Silva Gonçalves</b>					<b>FMEA N°: 1 Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (GVO)</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Sistema de Acionamento	Falha no Acionamento Pneumático	14	Atuação Indevida Válvula	37	Bloqueio da Entrada do Ar no Sistema	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Filtro	Filtragem do Óleo Incorreta	15	Troca do Filtro	38	Contaminação do Óleo	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico
Filtro	Filtragem do Óleo Incorreta	15	Troca do Filtro	39	Carbonização do Óleo	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligante do Sistema Elétrico

**Fonte:** Autoria Própria (2019)

Quadro 2 - Formulário FMEA para Disjuntores a Óleo de Alta Tensão (PVO)

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves</b>					<b>FMEA N°: 1 Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (PVO)</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Coluna de Suporte	Desgaste de Polos	16	Colunas Isolantes Inadequadas	40	Erro de Fabricação	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Coluna de Suporte	Desgaste de Polos	16	Colunas Isolantes Inadequadas	41	Degradação do Material Isolante	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Coluna de Suporte	Desgaste de Polos	17	Atuação Indevida na Parte Ativa da Interrupção	42	Desarmamento da Parte Ativa	Desarmar	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Coluna de Suporte	Desgaste de Polos	17	Atuação Indevida na Parte Ativa da Interrupção	43	Pancada na Parte Ativa	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Coluna de Suporte	Desgaste de Polos	17	Atuação Indevida na Parte Ativa da Interrupção	44	Bloqueio na Bomba	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Coluna de Suporte	Desgaste de Polos	18	Falha na Câmara de Interrupção	45	Trava na Operação de Abertura e Fechamento da Linha	Extração do Óleo para Ensaio de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico

<b>Análise do Modo e Efeito de Falha FMEA do Produto – DISJUNTOR</b>							
<b>Projeto/ Processo: Projeto Organizado por: Maiara Alves</b>					<b>FMEA N°: 1 Sistema: Disjuntor a Óleo de Alta Tensão Tipo: Disjuntor (PVO)</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>ID</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>EFEITO</b>
Coluna de Suporte	Desgaste de Polos	18	Falha na Câmara de Interrupção	46	Falta de Manutenção	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Mecanismo de Operação	Falha no Mecanismo de Operação	19	Desligamento da Parte Ativa	47	Curto-circuito no Sistema	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Mecanismo de Operação	Falha no Mecanismo de Operação	19	Desligamento da Parte Ativa	48	Desgaste no Mecanismo	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Mecanismo de Operação	Falha no Mecanismo de Operação	19	Desligamento da Parte Ativa	49	Desativa o Acionamento da Parte Interna e Externa do Mecanismo	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Chassi	Falha na Numeração do Chassi	20	Módulo não vinculado	50	Numeração Diferente do Mecanismo	Ligação Mecânica Entre Polos	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico
Chassi	Falha na Numeração do Chassi	20	Módulo não vinculado	51	Atuação Indevida do Módulo	Extração do Óleo para Ensaios de Umidade e de Rigidez Dielétrica	Desarmar o Disjuntor Desligamento do Sistema Elétrico

Fonte: Autoria Própria (2019)

#### 4.1 Proposta do NPR (Número de Prioridade de Risco)

Com o intuito de proporcionar uma garantia a mais nos disjuntores a óleo de alta tensão e diante das informações expostas, pode-se utilizar como forma de acréscimo na ferramenta FMEA três fatores que irão auxiliar e contribuir na prioridade de possíveis falhas nos disjuntores a óleo de alta tensão para a tomada de decisão de ações de eliminação ou minimização das falhas, e eles são determinados pelo produto dos índices: ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D). Como mostra a Equação (1).

$$\text{NPR} = \text{Ocorrência} \times \text{Severidade} \times \text{Detecção} \quad (1)$$

Onde, de acordo com Pedrosa (2014) estes fatores podem ser definidos como:

- A severidade traduz-se no impacto negativo provocado pelo efeito do modo de falha. No estudo da FMEA utiliza-se, para medir esta característica, um índice (S) que pode variar entre “1” e “10”, como mostra a Quadro3abaixo.

Quadro 3 - Método de análise do índice de severidade

<b>Efeito</b>	<b>Critério (Severidade do Efeito)</b>	<b>Índice de Severidade</b>
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio	9
Muito alto	Produto/Item inoperável, com perda das funções primárias.	8
Alto	Produto/Item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito	7
Moderado	Produto/Item operável, mas com nível de conforto/ conveniência baixo. Cliente sente desconforto	6
Baixo	Produto/Item operável, mas com nível de conforto/ conveniência e desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Itens: Forma e acabamento não conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Itens: Forma e acabamento não conformes. Defeito notado por alguns clientes.	3
Muito menor	Itens: Forma e acabamento não conformes. Defeito notado por clientes acurados	2
Nenhum	Sem efeito	1

**Fonte:** Adaptado de Moura (2000)

- A ocorrência consiste na probabilidade de uma causa potencial específica vir a ocorrer. Esta probabilidade pode ser estimada numa escala de “1” a “10”, mas tem um significado mais importante que apenas um valor. Para se reduzir efetivamente o índice de ocorrência é necessário eliminar ou controlar um mecanismo de falha através de uma alteração no projeto/processo. É importante referir que o índice de ocorrência está relacionado com a probabilidade de ocorrência e não com a ocorrência em si, como mostra a Quadro4 abaixo.

**Quadro 4 - Método de análise do índice de ocorrência**

<b>Efeito</b>	<b>Taxas de falha possíveis (número de horas)</b>	<b>Índice (O)</b>
Muito alta: A falha é quase inevitável	$\geq 1$ em 2	10
	$\geq 1$ em 3	9
Alta: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas frequentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas ocasionais, mas não em maiores proporções	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2000	4
Baixa: Associada a processos similares que apresentaram poucas falhas	1 em 15000	3
Muito baixa: Associada a processos quase idênticos que apresentaram apenas falhas isoladas	1 em 150000	2
Improvável: Falha é improvável. Processos quase idênticos nunca apresentaram falhas	$\leq 1$ em 1500000	1

**Fonte:** Adaptado de Moura (2000)

- O índice de detecção (D) consiste na avaliação da eficácia dos controlos definidos, em identificar causas (controlos do tipo 2) e modos de falhas (controlos do tipo 3), antes de se dar início à produção do respectivo componente. A escala deste índice (que pode variar de “1” a “10”) exhibe uma ordem de grandeza inversa às da Severidade e Ocorrência, uma vez que é atribuído a pontuação mais baixa ao maior nível de detecção, como mostra a Quadro abaixo.

**Quadro 5** - Método de análise do índice de detecção

<b>Detecção</b>	<b>Critério (Probabilidade de Detecção pelo Controle de Projeto/Processo)</b>	<b>Índice de Detecção</b>
Quase impossível	Não é conhecido controle disponível para detectar o modo de falha	10
Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	8
Muita baixa	Probabilidade muito baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderada alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha	4
Alta	Probabilidade alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha	3
Muito Alta	Probabilidade muito alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controle atual quase certamente irá detectar o modo de falha. A confiança nos controles de detecção é conhecida em processos similares	1

**Fonte:** Adaptado de Moura (2000)

Em vista do que foi abordado, é interessante obter ajuda de um profissional da área para um melhor estudo em relação aos índices para cada um dos componentes dos disjuntores fornecidos anteriormente e, quando forem apontados pelo NPR, deverão ser recomendadas atividades corretivas para os itens mais minuciosos e com altos indicadores de NPR. Contudo, contribuirá na redução dos índices de detecção, severidade e/ou de ocorrência.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho utilizou a ferramenta FMEA com a finalidade de realizar um gerenciamento de falhas em disjuntores a óleo de alta tensão além de proporcionar um maior entendimento acerca do assunto. A ferramenta FMEA proporciona aos disjuntores a óleo de alta tensão uma forma de organização e catalogar informações decorrentes as falhas, um melhor conhecimento dos problemas, reunir ações de melhoria, minimizar custo por meio da prevenção das 51 falhas. Estas indicações são de grande relevância, proporcionando uma visão maior de todo o equipamento.

Em conformidade com os resultados encontrados pelo FMEA, é capaz de certificar-se que a aplicação da ferramenta nos disjuntores é de grande importância, pois através dela foi capaz de identificar vários modos de falhas, efeitos, que são ocasionados diretamente na credibilidade do equipamento, prevenindo assim que possa ocasionar a perda total. A realização da proposta de utilização do NPR é necessária no que diz respeito a priorizar falhas com maiores índices de NPR, este valor irá definir a prioridade das falhas e ajudará na classificação das deficiências do sistema que podem ocorrer durante a sua funcionalidade.

Em vista disso, a aplicação da ferramenta FMEA proporciona nos disjuntores a óleo de alta tensão uma visão pertinente e viável, além de auxiliar em melhorias a focar e priorizar para a redução ou eliminação das falhas e em medidas de correção, se for o caso, e da consequente eliminação das falhas dos processos.

### **5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros**

Diante os resultados adquiridos com a pesquisa e os conhecimentos dados a respeito do tema, considera-se que há uma grande série de possibilidades de futuras pesquisas dar-se a mais neste assunto.

Não foi identificado nenhuma publicação que retratasse um passo a passo mais essencial que, na prática, expusesse a fundo os componentes presentes nos disjuntores a óleo de alta tensão. Importante também seria o estudo mais a fundo dos disjuntores em campo, envolvendo empresas e subestações, a partir do plano de proposto ou semelhante.

Tal estudo teria uma relevante prevenção de falhas nos disjuntores. É importante mencionar que as medidas para sua prevenção estão vigorosamente ligadas a minimizar os altos custos com o equipamento e reduzir perdas na eficiência em longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- Abraman. Dispositivos de Manobra: **disjuntores**. Service, 2006. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/32/32.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2019.
- ANEEL. Sistema Acoplado a Analisador de Gás Permite Avaliação Remota de Disjuntores. P&D, Revista de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, 2009. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3474/1/CT\\_CEEEST\\_XXVII\\_2014\\_12.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3474/1/CT_CEEEST_XXVII_2014_12.pdf)>. Acesso em 12 de junho de 2019.
- BASTOS, A. FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) como ferramenta de prevenção da qualidade em produtos e processos – uma avaliação da aplicação em um processo produtivo de usinagem de engrenagem. XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza, 2006.
- BRAGLIA, M. MAFMA: multi-attribute failure mode analysis. International Journal of Quality & Reliability Management; v. 17, n. 9, p. 1017 – 1033, 2000.
- COLOMBO, Roberto. **Disjuntores de alta tensão**. [S. l.]: Nobel: Siemens SA, 1988.
- COLOMBO, Roberto. **Disjuntores de alta tensão**. São Paulo: Nobel: Siemens S.A., 1986.
- DIEHL, Astor Antonio. Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- Ebrahimipour, V.; Rezaie, K.; Shokravi, S. (2010), An Ontology Approach to Support FMEA Studies. Expert Systems with Applications. Vol. 37, n. 1, pp. 671-677.
- FILHO, João Mamede. **Manual de equipamentos elétricos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2005.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- HELMAM, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de Falhas**: aplicação dos métodos de FMEA e FTA. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. 156 p. 1995.

KINDERMANN, Geraldo. **Curto- Circuito**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997. Disponível em:

<[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/330/1/CT\\_COELE\\_2011\\_2\\_07.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/330/1/CT_COELE_2011_2_07.pdf)>.

Acesso em 01 de junho de 2019.

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica**: Teoria da ciência e iniciação à pesquisa. 20. ed. atualizada. Petrópolis, RJ: Vozes, 1997.

Jayzynism. Depositphotos. Disponível em:< <https://br.depositphotos.com/85751248/stock-photo-electric-post-power-plant-transformer.html>>. Acesso em: 20 de junho de 2019.

LAFRAIA, J. R. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2001.

LAFRAIA, João Ricardo. Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2011.

LOPES, Mónica Vanessa Fernandes. **Desenvolvimento de um modelo para determinação do índice de saúde e respetiva probabilidade de falha para disjuntores AT e MT – Estágio na EDP Distribuição**. 2014. Tese (Mestre em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia) - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014.

MADDOX, M.E. Error apparent. **Industrial engineer**, v.37, n.5, p. 40-44, 2005.

MICHAELIS. Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Editora Melhoramentos, 2017. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 01 de junho de 2019.

MIGUEL, P. A. C.; Segismundo, A. “O papel do FMEA no processo de tomada de decisão em desenvolvimento de novos produtos: estudo em uma empresa automotiva”. **Produto & Produção**, v. 9, n. 2. 2008.

MONTENEGRO, Renan. Disjuntores a Óleo. 2016. Disponível em: < <https://universoeletrico.wordpress.com/2016/08/13/disjuntores-a-oleo/>>. Acesso em> 14 de junho de 2019.

Moura, C. (2000). Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA) Manual de Referência SAE J-1739. ASQC. Disponível em:

<<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4151/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>  
Acesso em: 10 de junho de 2019.

NOBRE, Diana Moreno. **Estudo da Adeuabilidade de Disj Disjuntores de Classe 15 kV às Solicitações de TRT**. 1999. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999. Disponível em: <file:///C:/Users/Maria%20Vit%C3%B3ria/Downloads/arquivototal%20(1).pdf > Acesso em: 15 de maio de 2019.

PALADY, Paul. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAM, 2004.

RAMOS, E. F. “A gestão de Riscos usando FMEA”. **Revista Mundo PM**, n.10, 2006.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1989.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise do Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Florianópolis: Eng. Mecânica/UFSC, (Dissertação de mestrado), 2001.

SAMPAIO, André Lawson Pedral. **Consolidação de material didático para a disciplina de equipamentos elétricos – disjuntores**. 2012. 134 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Eletricista) - Departamento de Engenharia Elétrica, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2012.

SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P. Failure mode and effects analysis (FMEA) in the context of risk management in new product development. *International Journal of Quality & Reliability Management*; v. 25, n. 9, p. 899 – 912, 2008.

SILVA, Mateus Gonçalves. **Disjuntores de alta tensão**, Belo Horizonte, 2011.71-74. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/329950092\\_DISJUNTORES\\_DE\\_ALTA\\_TENSAO](https://www.researchgate.net/publication/329950092_DISJUNTORES_DE_ALTA_TENSAO)>

>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção Centrada na confiabilidade: manual de implementação** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution.**  
**Wisconsin:** ASQ Quality Press, 1995. 494p.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA. From theory to execution.**  
**2. ed.** Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press. 2003.