



INSTITUTO FEDERAL  
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
Bahia

Campus  
Vitória da Conquista



## **COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - COEEL**

### **PROJETO FINAL DE CURSO - PFC**

Análise das Manutenções Corretivas e Preventivas em  
Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Um Estudo de  
Caso na Microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga,  
Bahia

**RAUNI SIQUEIRA DA SILVA**

Vitória da Conquista-BA  
15 de novembro de 2023

**RAUNI SIQUEIRA DA SILVA**

**Análise das Manutenções Corretivas e Preventivas em  
Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Um Estudo  
de Caso na Microrregião de Vitória da Conquista e  
Itapetinga, Bahia**

Projeto Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *campus* Vitória da Conquista, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Orientador:** Prof. Esp. Pablo Martins de Oliveira

Vitória da Conquista-BA  
15 de novembro de 2023

S618a Siqueira da Silva, Rauni

Análise das Manutenções Corretivas e Preventivas em Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Um Estudo de Caso na Microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga, Bahia / Rauni Siqueira da Silva; orientador Pablo Martins de Oliveira -- Vitória da Conquista : IFBA, 2023.

77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) -- Instituto Federal da Bahia, 2023.

1. Manutenção corretiva. 2. Manutenção preventiva. 3. Poda de árvores. 4. Redes de distribuição. 5. Energia elétrica. I. Martins de Oliveira, Pablo, orient. II. TÍTULO.

# **Análise das Manutenções Corretivas e Preventivas em Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Um Estudo de Caso na Microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga, Bahia**

**RAUNI SIQUEIRA DA SILVA**

O presente PFC, apresentado em sessão realizada em 15 de dezembro de 2023, foi avaliada como adequada para a obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista, julgada **aprovada** em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *campus* Vitória da Conquista.

## **BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Esp. Pablo Martins de Oliveira (Orientador)  
IFBA campus Vitória da Conquista

---

Prof. Esp. Danilo Brito Almeida  
IFBA campus Vitória da Conquista

---

Prof. Esp. Everard Lucas Silva Cardoso  
IFBA campus Vitória da Conquista

Vitória da Conquista-BA  
15 de dezembro de 2023

# AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha amada filha Lavínia, que sempre foi minha maior Fonte de inspiração. Sem ela, nada disso seria possível. Sou grato pela existência dela em minha vida, e por seu amor de filha que me proporciona a força necessária para enfrentar desafios.

Agradeço à minha mãe, Jacione, por ter me dado todo o suporte possível, ao meu pai, Nimário, e às minhas irmãs, Ravenne e Ravanne, pelo apoio e encorajamento nesta jornada acadêmica. Todo esse apoio foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

Gostaria de agradecer à minha querida namorada Luciana pelo amor, amizade e constantes incentivos. Sua companhia contribuiu significativamente para essa conquista. Durante um período, compartilhamos a jornada como colegas, marcando o início da nossa história e dando um significado ainda mais profundo a este caminho.

Expresso minha gratidão aos meus amigos do IFBA. Cada contribuição, desafios superados e momentos de muitas risadas tornaram essa jornada mais leve e memorável. A troca de conhecimentos e as horas de estudo conjunto foram alicerces essenciais para o meu crescimento. Sou grato por ter conquistado amizades incríveis durante essa fase tão importante da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Esp. Pablo Martins, sou grato pela sua orientação, conhecimento partilhado, paciência e dedicação ao me instruir no andamento deste projeto. Sua orientação e suporte foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus líderes, Eng. Eletricista João Pedro e Larissa Novais, assim como aos meus colegas eletricitas. Agradeço a valiosa experiência compartilhada e por depositarem confiança em minha competência para liderar intervenções de manutenção de redes elétricas. A experiência profissional adquirida foi extremamente importante para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os meus familiares, amigos, professores, colegas e funcionários da instituição que contribuíram de alguma forma para minha formação acadêmica. Todo o suporte, orientação e conhecimento adquirido contribuíram significativamente para meu crescimento pessoal e profissional.

# RESUMO

O fornecimento contínuo e confiável de energia elétrica tornou-se um dos principais temas discutidos no contexto das redes de distribuição elétrica. Este trabalho realiza uma análise abrangente das práticas de manutenção corretiva e preventiva na microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga, Bahia. O estudo tem como objetivo aprimorar a gestão da rede de distribuição, implementando medidas preventivas e corretivas eficientes. A metodologia compreende quatro etapas: (a) estratificação dos dados coletados; (b) identificação das principais causas subjacentes; (c) análise dos resultados obtidos e (d) estudo de caso de ocorrências e intervenções de manutenção. Os resultados indicam que a implementação de manutenções preventivas, como poda de árvores, é favorável para a disponibilidade da rede, e demonstram a relevância da gestão aplicada nas intervenções corretivas em eventos de risco com interrupções do fornecimento de energia elétrica. Com isso, conclui-se que a realização de manutenções preventivas, estrategicamente planejadas, é uma ferramenta fundamental da gestão da rede de distribuição, pois, além de prevenir falhas no sistema e danos à componentes estruturais, promove confiabilidade e garante o funcionamento ininterrupto das redes de distribuição de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Rede de distribuição, energia elétrica, manutenção preventiva, manutenção corretiva, poda de árvores.

# ABSTRACT

The continuous and reliable supply of electrical energy has become one of the main topics discussed in the context of electrical distribution networks. This work carries out a comprehensive analysis of corrective and preventive maintenance practices in the micro-region of Vitória da Conquista and Itapetinga, Bahia. The study aims to improve the management of the distribution network, implementing efficient preventive and corrective measures. The methodology comprises four stages: (a) stratification of collected data; (b) identification of the main underlying causes; (c) analysis of the results obtained and (d) case study of occurrences and maintenance interventions. The results indicate that the implementation of preventive maintenance, such as tree pruning, is favorable for network availability, and demonstrate the relevance of management applied in corrective interventions in risk events with interruptions in the electricity supply. With this, it can be concluded that carrying out preventive maintenance, strategically planned, is a fundamental tool for managing the distribution network, as, in addition to preventing system failures and damage to structural components, it promotes reliability and guarantees the uninterrupted functioning of the networks electrical energy distributionorks.

**Keywords:** Distribution network, electrical energy, preventive maintenance, corrective maintenance, tree pruning.

# Lista de Figuras

<b>Figura 2.1.</b> Sistema Elétrico Brasileiro. Fonte: Coletânea Eletrotécnica, (2019). ....	20
<b>Figura 2.2.</b> Rede convencional de distribuição. Fonte: CELESC Distribuição S.A. ...	22
<b>Figura 2.3.</b> Cabos da rede Nua. Fonte: Condu spar (2023). .....	23
<b>Figura 2.4.</b> Rede de distribuição compacta com espaçadores losangulares. Ancora Industrial, (2023). .....	24
<b>Figura 2.5.</b> Estruturas de Final de linha da rede Compacta. Fonte: Vicentinos, (2023). .....	25
<b>Figura 2.6.</b> Rede Subterrânea de um condomínio com cabos isolados; Fonte: Infraroi, (2018). .....	27
<b>Figura 2.7.</b> Ilustração de uma Chave Fusível Polimérica. Fonte: Maurizio, (2023)...	29
<b>Figura 2.8.</b> Tipos de Elos Fusíveis. Fonte: Tecfuse, (2023) .....	30
<b>Figura 2.9.</b> Religador Automático na rede de distribuição. Fonte: Adolphoeletricista, (2023). .....	32
<b>Figura 5.1.</b> Lócus da Pesquisa. Fonte: Google Earth (2023) .....	45
<b>Figura 5.2.</b> Fluxograma da análise de dados. Fonte: Próprio autor (2023). .....	47
<b>Figura 6.1.</b> Localidade da ocorrência registrada em Pedra Ferrada. Fonte: Google Earth.....	55
<b>Figura 6.2.</b> Incêndio causado devido à queda de galhos de uma árvore em uma rede de distribuição Fonte: Próprio autor (2023) .....	56
<b>Figura 6.3.</b> Poste danificado devido ao tensionamento de condutores. Fonte: Próprio autor (2023) .....	57
<b>Figura 6.4.</b> Circuito analisado identificando pontos críticos da rede. Fonte: GSE (2023) .....	58
<b>Figura 6.5.</b> Substituição do poste danificado por uma nova estrutura. Fonte: Próprio autor (2023) .....	59
<b>Figura 6.6.</b> Instalação dos isoladores e cabos para o novo poste. Fonte: Próprio Autor (2023) .....	60
<b>Figura 6.7.</b> Localidade da ocorrência registrada no povoado Pé de Galinha. Fonte: Google Earth.....	61

<b>Figura 6.8.</b> Eucalipto sobre linha de distribuição. Fonte: Próprio autor (2023) .....	62
<b>Figura 6.9</b> Poste danificado. Fonte: Próprio autor (2023) .....	62
<b>Figura 6.10.</b> Poste com curvatura devido a força de tração dos condutores. Fonte: Próprio autor (2023). .....	644
<b>Figura 6.11.</b> Circuito analisado no evento identificando o jumper aberto pela equipe. Fonte: GSE (2023). .....	655
<b>Figura 6.12.</b> Identificação dos pontos de aterramento e postes danificados. Fonte: GSE (2023) .....	66

# Lista de Tabelas

<b>Tabela 5.1.</b> Tipos de Defeitos identificados.....	49
<b>Tabela 5.2.</b> Estratificação dos dados em cada mês analisado.....	50
<b>Tabela 5.3.</b> Quantidade de ordens de serviços de poda por subestação. ....	50
<b>Tabela 5.4.</b> Dados dos Transformadores para o evento estudado de manutenção corretiva.....	521
<b>Tabela 6.1.</b> CHI calculado para o evento.. ....	66
<b>Tabela 6.2.</b> Consumo médio interrompido.. ....	66

# Glossário: Símbolos e Siglas

<b>Notação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Páginas</b>
COEEL	<i>Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do IFBA campus Vitória da conquista</i>	1
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>	15
DEC	<i>Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora</i>	25
FEC	<i>Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora</i>	25
GSE	<i>Gestão do Sistema Elétrico</i>	60
APR	<i>Análise Preliminar de Risco</i>	65
CHI	<i>Cliente Hora Interrompido</i>	18
OS	<i>Ordem de Serviço</i>	49
PG	<i>Ponto Geográfico</i>	58

# Sumário

FOLHA DE ROSTO .....	II
FICHA CATALOGRÁFICA.....	III
FOLHA DE APROVAÇÃO .....	IV
AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XII
GLOSSÁRIO: SÍMBOLOS E SIGLAS .....	XII
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>155</b>
1.1. IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	155
1.2. OBJETIVO GERAL.....	17
1.2.1. <i>Objetivos Específicos</i> .....	17
1.3. JUSTIFICATIVA.....	188
<b>2. REDES DE DISTRIBUIÇÃO .....</b>	<b>199</b>
2.1. SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA.....	199
2.2. REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	20
2.2.1. <i>Rede Aérea Convencional</i> .....	21
2.2.2. <i>Rede Aérea Compacta</i> .....	23
2.2.3. <i>Rede Aérea Isolada</i> .....	26
2.2.4. <i>Rede Subterrânea</i> .....	26
2.3. PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO .....	28
2.3.1. <i>Chave Fusível/Elo fusível</i> .....	28
2.3.2. <i>Religadores de Linha</i> .....	31
<b>3. FALHAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO .....</b>	<b>34</b>
3.1. FALTAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	34
3.1.1. <i>Faltas Transitórias</i> .....	34
3.1.2. <i>Faltas Permanentes</i> .....	35

3.1.3. <i>Curto-Circuito</i> .....	35
3.2. PRINCIPAIS DEFEITOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO .....	36
3.2.1. <i>Descarga Atmosférica</i> .....	36
3.2.2. <i>Vegetação e Eventos Climáticos</i> .....	37
3.2.3. <i>Falhas de Equipamentos</i> .....	38
4. MANUTENÇÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO .....	39
4.1. TIPOS DE MANUTENÇÃO .....	39
4.1.1. <i>Manutenção Corretiva</i> .....	39
4.1.1.1. <i>Estratégias de Implementação</i> .....	41
4.1.1.2. <i>Impactos Econômicos</i> .....	41
4.1.2. <i>Manutenção Preventiva</i> .....	42
4.1.3. <i>Manutenção Preditiva</i> .....	43
4.1.4. <i>Confiabilidade na Manutenção</i> .....	44
5. METODOLOGIA .....	45
5.1. MÉTODO CIENTÍFICOS .....	45
5.2. TIPO DE PESQUISA .....	45
5.3. LÓCUS DA PESQUISA .....	46
5.4. COLETA DE DADOS .....	47
5.5. TRATAMENTO DE DADOS .....	47
5.6. ANÁLISE DE DADOS .....	48
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	53
6.1. ANÁLISE DAS MANUTENÇÕES .....	53
6.2. ESTUDO DE CASO: CONSEQUÊNCIA DA FALTA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE PODA .....	56
6.3. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE DESLIGAMENTOS DEVIDO A MANUTENÇÃO CORRETIVA .....	62
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	70
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	71

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1. Importância do Tema

O Brasil é um dos maiores consumidores de eletricidade do mundo, e o sistema elétrico do país é complexo e extenso. A rede aérea de distribuição elétrica tem sido uma componente chave da infraestrutura de energia do Brasil por mais de um século. Esta possibilitou o fornecimento de energia elétrica a milhões de residências e empresas, contribuindo para a rápida industrialização e desenvolvimento econômico do país.

A história da rede aérea de distribuição de energia elétrica no Brasil remonta ao início do século XX, quando as primeiras usinas hidrelétricas foram construídas para suprir a demanda crescente por energia elétrica nas grandes cidades do país. A rede aérea, que consiste em cabos suspensos em postes de madeira ou concreto, foi a solução encontrada para transportar a energia elétrica gerada nas usinas até os pontos de consumo. (RICCI, [s.d.]).

A expansão da rede aérea de distribuição de energia elétrica foi impulsionada pelo rápido crescimento econômico do Brasil na década de 1930, quando foram criadas as primeiras empresas de eletrificação rural. O Governo Federal, em conjunto com as empresas privadas, investiu na construção de linhas de transmissão e subestações para conectar as usinas hidrelétricas às redes de distribuição, permitindo que a eletricidade chegasse a áreas remotas e rurais. Ao longo das décadas seguintes, a rede aérea de distribuição de energia elétrica se expandiu e se

modernizou com a adoção de novas tecnologias, como a utilização de postes de concreto armado e cabos isolados com materiais mais resistentes e duráveis. O setor elétrico brasileiro também passou por mudanças significativas com a criação da Eletrobras em 1962, que se tornou responsável pela coordenação e planejamento da expansão do sistema elétrico nacional. (ACE, 1987).

Atualmente, a rede aérea de distribuição de energia elétrica ainda é a forma mais comum de transporte de eletricidade no Brasil, embora a infraestrutura subterrânea também seja utilizada em áreas urbanas e em projetos específicos. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável pela regulação do setor elétrico e pela concessão de autorizações para a construção e operação de redes de distribuição de energia elétrica em todo o país.

A rede de distribuição elétrica é composta por um conjunto de equipamentos, como postes, transformadores, cabos, religadores, entre outros, que necessitam de manutenção regular para evitar falhas e interrupções no fornecimento de energia elétrica. A manutenção da rede de distribuição elétrica pode ser preventiva ou corretiva. A preventiva é realizada de forma programada, com o objetivo de evitar falhas nos equipamentos e interrupções no fornecimento de energia elétrica. Essa manutenção inclui a realização de inspeções, testes e troca de peças e componentes que apresentam desgaste ou falhas. Já a corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha ou interrupção no fornecimento de energia elétrica, com o objetivo de restabelecer o fornecimento o mais rápido possível.

Neste contexto, a manutenção desempenha um papel crucial na preservação da confiabilidade do sistema elétrico. A manutenção corretiva, realizada após a ocorrência de uma falha, visa restaurar o fornecimento de energia o mais rapidamente possível. Já a manutenção preventiva é realizada de forma programada, com o objetivo de evitar falhas nos equipamentos, danos à componentes e interrupções no fornecimento de energia elétrica.

Compreender as práticas de manutenção em uma região com características geográficas e climáticas variadas como a microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga é fundamental para garantir um fornecimento de energia confiável. A análise

das manutenções realizadas nessa área oferece insights valiosos sobre os desafios e oportunidades de manter uma rede de distribuição eficiente e resiliente.

## 1.2. Objetivo Geral

Investigar o impacto da gestão de manutenção em redes de distribuição de energia elétrica, com ênfase na avaliação das operações de poda de árvore e na análise de casos de interrupções na rede, visando contribuir para o aprimoramento dos procedimentos de manutenção e operação em áreas rurais da microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga, Bahia.

### 1.2.1. Objetivos Específicos

- 1) Identificar os tipos de manutenções preventivas mais comuns em redes de distribuição de energia elétrica;
- 2) Avaliar a frequência de manutenções preventivas em redes de distribuição na microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga, Bahia;
- 3) Analisar o impacto da falta de manutenção preventiva, com foco na operação de poda de árvores, em redes de distribuição;
- 4) Analisar a eficácia das manutenções corretivas em situações de emergência;
- 5) Analisar os registros de falhas e interrupções no fornecimento de energia elétrica calculando a quantidade de energia elétrica que foi interrompida.

## 1.3. Justificativa

O estudo das manutenções preventivas em redes de distribuição de energia elétrica reveste-se de uma importância crítica, dadas as implicações diretas na qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia. A distribuição de energia elétrica é um pilar essencial para o funcionamento da sociedade e o progresso econômico, impactando tanto a vida cotidiana quanto a produção industrial e comercial.

A microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga, situada no estado da Bahia, caracteriza-se por uma geografia diversificada, englobando zonas urbanas, rurais e áreas de difícil acesso. A rede de distribuição de energia elétrica que atende essa microrregião é extensa e complexa, apresentando desafios particulares de manutenção, relacionados às condições geográficas e climáticas diversas.

Nesse contexto, o estudo detalhado das manutenções corretivas e preventivas desempenha um papel fundamental. A manutenção corretiva é essencial para a rápida recuperação do fornecimento após falhas, minimizando o tempo de interrupção e seus impactos nos consumidores. Já a manutenção preventiva, realizada de forma planejada, tem o propósito de evitar falhas, preservando a continuidade do serviço.

Dessa forma, este trabalho se propõe a examinar de maneira detalhada as manutenções em redes de distribuição de energia elétrica, oferecendo uma pesquisa relevante para o setor elétrico, para assegurar um fornecimento de energia elétrica eficaz e de alta qualidade.

# Capítulo 2

## Redes de Distribuição

### 2.1. Sistema Elétrico de Potência

O sistema elétrico de potência é composto por três partes principais: geração, transmissão e distribuição. Existem várias maneiras de produzir energia elétrica, como aproveitar a força dos ventos, das águas e de fontes térmicas de energia. (SIQUEIRA, 2011).

No Brasil, a geração de energia elétrica mais comum é realizada por meio de usinas hidrelétricas, aproveitando a ampla rede hidrográfica disponível no país. Independentemente do método de obtenção de energia elétrica, as etapas de geração, transmissão e distribuição são sempre necessárias para levar a energia aos consumidores. Na fase de geração, são utilizados vários equipamentos, como turbinas de diferentes tamanhos e modelos, reguladores, sistemas auxiliares, tubos de sucção e caixas espirais, para direcionar a água para as turbinas e gerar energia. Além disso, também são utilizados equipamentos hidromecânicos, como comportas, pontes rolantes e pórticos, geradores, barramentos blindados, transformadores de alta potência e equipamentos de comando, controle e proteção. (SIQUEIRA, 2011).

Durante a etapa de transmissão de energia elétrica, são utilizados transformadores elevadores para aumentar a tensão elétrica na linha quando necessário, reduzindo as perdas na transmissão e mantendo uma faixa de tensão adequada nas linhas. Além disso, são utilizados disjuntores, chaves seccionadoras, bancos de capacitores, cabos de transmissão, torres e isoladores. Já na etapa de distribuição de energia elétrica, são utilizados transformadores abaixadores, cabos

condutores de energia e equipamentos de proteção. É fundamental que todas essas fases do processo recebam manutenção adequada para garantir o pleno funcionamento do sistema. (LIMA FILHO, 2015). A Figura 2.1 mostra um esquema ilustrativo de como funciona o sistema elétrico brasileiro.

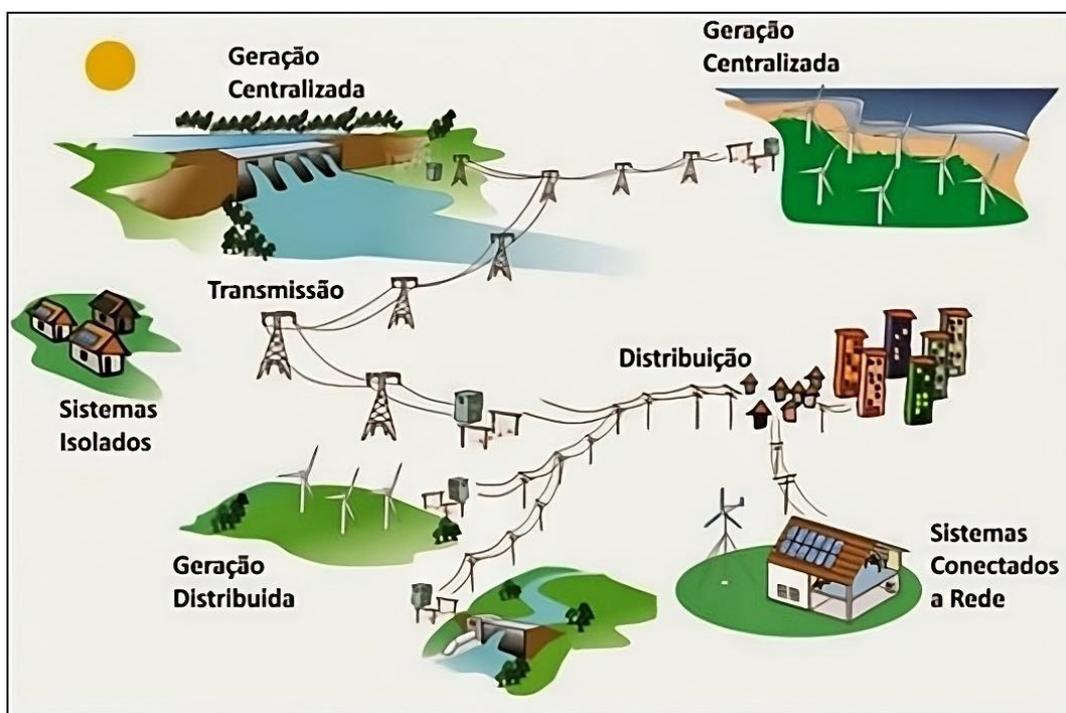


Figura 2.1. Sistema Elétrico Brasileiro. Fonte: Coletânea Eletrotécnica, (2019).

## 2.2. Redes de Distribuição

O sistema responsável por conectar os sistemas de geração e transmissão de energia elétrica aos consumidores finais é conhecido como sistema de distribuição. Ele é responsável por alimentar desde consumidores de grande e médio porte, como indústrias, hospitais, grandes comércios e serviços, até consumidores de pequeno porte, como residências e pequenos estabelecimentos comerciais. Para isso, as redes de distribuição são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão. (CIPOLI, 1993).

### 2.2.1. Rede Aérea Convencional

No Brasil, o tipo mais comum de rede de distribuição aérea é a convencional, que emprega condutores nus de cobre ou alumínio. É importante ressaltar que os condutores de cobre devem ser utilizados apenas em áreas litorâneas. Apesar de sua ampla utilização, essas redes apresentam um baixo fator de blindagem contra descargas atmosféricas e tensões induzidas. Para aumentar a segurança, é recomendado o uso de para-raios ao longo da rede, e em casos mais críticos, a instalação de cabos para-raios. No entanto, a grande desvantagem desse tipo de rede é que os condutores nus estão propensos a desligamentos causados pelo contato com a vegetação, o que compromete a confiabilidade da rede. Existem dois principais tipos de redes convencionais: aquelas em que os isoladores são fixados em cruzetas ou diretamente nos postes. (CELESC, 2012).

A rede elétrica com isoladores fixados em cruzetas é a mais comum. Essas cruzetas podem ser feitas de diversos materiais, como madeira, aço, concreto ou polímeros. A principal vantagem da montagem com cruzetas é que ela ocupa menos espaço verticalmente no poste, porém não é possível montar mais de um circuito no mesmo nível. A manutenção e montagem dos equipamentos é mais fácil em relação à rede convencional tipo pilar, pois a rede é disposta na horizontal, tornando as ligações mais simples e as distâncias entre as fases maiores, o que aumenta a segurança para a operação e manutenção do sistema elétrico.

As redes de distribuição convencionais apresentam o menor grau de segurança, uma vez que não contam com proteção contra contatos acidentais com os condutores, que são todos desprotegidos. No caso de um contato com, por exemplo, uma árvore, a corrente de curto-circuito é elevada e faz com que a proteção atue. Além disso, esse tipo de rede pode ser perigoso, pois em caso de contato haverá uma diferença de potencial de 13,8 kV no caso de fase-fase ou 7,97 kV no caso de curto-circuito monofásico, que é o mais comum. (BRITO, 2007).

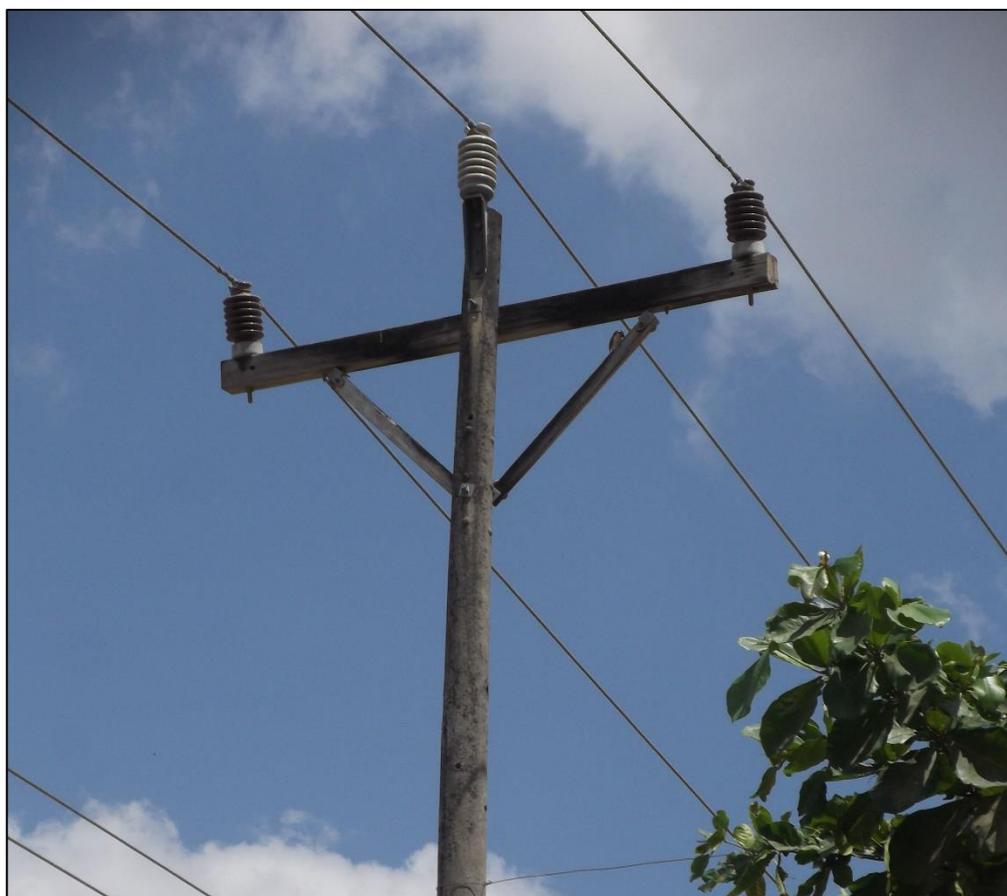
A rede de distribuição primária aérea manteve sua forma convencional desde o início da transmissão de eletricidade, com poucas alterações nos elementos do sistema e nos nomes utilizados. A evolução ocorreu principalmente na troca de postes

## 2.2. REDES DE DISTRIBUIÇÃO

---

de madeira ou ferro por concreto armado e no uso crescente de cruzetas de concreto e isoladores poliméricos. Os cabos ainda são de alumínio nu e a manutenção ainda é realizada com o auxílio de escadas. (PRAZERES, 2008).

Este tipo de distribuição é altamente vulnerável a falhas, uma vez que não possui qualquer proteção ou isolamento. Defeitos são geralmente causados por objetos externos, como galhos de árvores, linhas de pipa e outros materiais que entram em contato com os condutores da rede. A fim de prevenir falhas causadas por árvores próximas à rede de distribuição aérea, podas frequentes são realizadas, o que pode prejudicar o meio ambiente. Na Figura 2.2 é possível observar um exemplo dessa rede de distribuição.



**Figura 2.2.** Exemplo de rede convencional de distribuição. Fonte: CELESC Distribuição S.A.

Nesse tipo de rede é comumente utilizado cabos convencionais, que são compostos apenas por um condutor de um fio único ou um encordoamento feito de

fios do mesmo tipo, o que permite uma maior flexibilidade como mostrada na Figura 2.3.



**Figura 2.3.** Cabos da rede Nua. Fonte: Condu spar (2023).

### 2.2.2. Rede Aérea Compacta

Na década de 1990, o Brasil assistiu ao surgimento de redes compactas à medida que as concessionárias de energia buscavam melhorar a qualidade da energia elétrica distribuída. O objetivo era aumentar a confiabilidade do sistema enquanto reduzia os custos. Inicialmente, a rede substituíva apenas condutores nus por condutores revestidos de polietileno. A estrutura da rede aérea manteve-se convencional com mão francesas e isoladores de porcelana tipo pino para sustentação. O objetivo foi testar a eficiência de cabos cobertos em contato com árvores em períodos de chuva e vento.

As redes compactas possuem uma camada protetora de material polimérico revestindo seus condutores. Eles também têm uma geometria única em comparação com as redes aéreas convencionais. Essencialmente, são constituídos por um cabo de aço guia denominado cabo mensageiro, responsável por dar sustentação, e mais três cabos revestidos com material polimérico fixados em espaçadores em forma de losango. Na Figura 2.4 podemos observar uma rede de distribuição compacta com espaçadores losangulares. É importante observar que, embora os cabos sejam cobertos, eles não são isolados eletricamente. (RIBEIRO; 2008).



**Figura 2.4.** Rede de distribuição compacta com espaçadores losangulares. Fonte: Ancora Industrial, (2023).

A rede compacta é um sistema aéreo de distribuição de energia elétrica, composto por uma rede primária composta por três condutores revestidos por uma camada de polietileno reticulado, também conhecido como XLPE. Esses condutores são sustentados por um cabo mensageiro fixo de aço preso aos postes por braços metálicos e espaçadores diamantados poliméricos que são instalados em intervalos de 7 a 10 metros ao longo da trajetória de voo. Os espaçadores diamantados também servem para compactar e separar eletricamente os cabos revestidos que são dispostos em forma triangular. (BURATTI,2005). Na Figura 2.5 temos as estruturas dos postes e dos isoladores que sustentam os cabos compactos.



**Figura 2.5.** Estruturas de Final de linha da rede Compacta. Fonte: Vicentinos, (2023).

Vale a pena salientar que os cabos cobertos não são isolados eletricamente, mas apenas cobertos. Isso ocorre porque seu campo elétrico não é confinado. A rede de distribuição de energia elétrica tradicional é suscetível a condições climáticas como descargas atmosféricas, excesso de umidade e depósitos de salitre em áreas costeiras, que levam a um alto índice de falhas.

Esse alto índice de falhas está se tornando cada vez mais incompatível com as exigências da vida moderna para o uso da eletricidade. Dessa forma, o órgão regulador está acompanhando de perto e cobrando melhoria contínua nos índices de Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) das prestadoras de serviço. Esses índices estão diretamente relacionados às falhas presentes nas linhas de distribuição convencionais. (QUEIROZ, 2003).

### 2.2.3. Rede Aérea Isolada

A rede aérea isolada é projetada para cobrir circuitos de média e baixa tensão. Essa rede específica utiliza três condutores isolados que são torcidos, blindados e reunidos em torno de um cabo mensageiro que serve como suporte neutro. Para limitar o campo elétrico, a rede requer cabos condutores equipados com camadas de semicondutores, chamados de cabos multiplexados.

As redes isoladas podem ser bastante caras, o que as torna mais adequadas para projetos especiais onde são a única solução viável. Por exemplo, indústrias onde redes subterrâneas não são possíveis ou onde redes convencionais ou protegidas apresentam riscos significativos. O cabo mensageiro em redes isoladas atua como um elemento de proteção que fornece suporte elétrico e mecânico, protegendo assim contra a queda de galhos e outros objetos da rede.

Nessas redes, os condutores e acessórios são totalmente isolados e blindados, proporcionando maior segurança contra contato acidental temporário ou permanente com objetos aterrados, árvores e similares. As redes isoladas também eliminam problemas relacionados a descargas atmosféricas, pois a blindagem é aterrada em ambos os lados onde o cabo é transposto. Além disso, a baixa taxa de falhas dessas redes significa que elas podem oferecer custos operacionais reduzidos. Por fim, sua configuração supercompacta permite uma melhor regulação na linha. (QUEIROZ, 2003).

### 2.2.4. Rede Subterrânea

As redes subterrâneas são uma opção ideal para situações de distribuição em regiões com alta densidade populacional, pois além de melhorar a estética, oferecem maior segurança e economia ao longo do tempo. Essas redes são mais eficientes e confiáveis, pois não são suscetíveis a interferências e estão enterradas com segurança no subsolo, protegidas do ambiente externo. Estratégias inteligentes, como

## 2.2. REDES DE DISTRIBUIÇÃO

---

configurar circuitos na forma de um anel, podem aumentar ainda mais a confiabilidade. Tal projeto permite que a rede seja alimentada por dois pontos, com apenas uma parte da rede desconectada em caso de falha do sistema.

Além disso, as redes subterrâneas são muito mais seguras do que as redes aéreas porque utilizam cabos isolados, cobrindo a distribuição de baixa a média tensão. Como resultado, eles estão se tornando cada vez mais populares, pois oferecem benefícios significativos em termos de segurança, confiabilidade e economia para as comunidades onde estão instalados. Ao contabilizar os custos de poda de árvores, interrupções no fornecimento de energia, custos sociais, falta de segurança e não produção, fica evidente que, com o tempo, as redes subterrâneas são vantajosas tanto para quem as instala quanto para quem as utiliza. (VELASCO, 2003). Na Figura 2.6 é possível ver um exemplo de uma rede subterrânea.



**Figura 2.6.** Rede Subterrânea de um condomínio com cabos isolados; Fonte: Infraroi, (2018).

## 2.3. Proteção de Sistemas de Distribuição

Os sistemas de distribuição de energia elétrica consistem em alimentadores que fornecem eletricidade para diferentes áreas, incluindo regiões urbanas e rurais. Os alimentadores que fornecem eletricidade apenas para as cidades são chamados de alimentadores urbanos, enquanto aqueles que atendem áreas rurais são chamados de alimentadores rurais. Esses dois tipos de alimentadores têm vulnerabilidades específicas às quais estão expostos.

Os alimentadores urbanos estão sujeitos a vários tipos de defeitos, como batidas de carros, roubo de cabos (principalmente quando os condutores são de cobre), galhos de árvores que entram em contato com os cabos, queda de árvores, objetos arremessados ou caídos de prédios em construção, pipas, e assim por diante. Por outro lado, os alimentadores rurais estão vulneráveis a diversos tipos de problemas, como queda de galhos de árvores nas linhas de energia, queda de árvores, queda de postes por quebra do estai, entre outros.

### 2.3.1. Chave Fusível/Elo fusível

Chaves fusíveis são amplamente utilizadas na proteção de redes de distribuição em áreas urbanas e rurais. Eles são populares devido ao seu custo razoável e desempenho satisfatório em fornecer o nível de proteção necessário.

Para oferecer proteção, um fusível é instalado dentro do cartucho do fusível. Quando o elo fusível derrete, não indica necessariamente que a corrente elétrica no circuito foi interrompida, principalmente em sistemas de média tensão. O arco elétrico continua a fluir entre os terminais separados do elo do fusível devido ao ambiente fortemente ionizado. Para garantir a interrupção da corrente elétrica, o elo fusível possui um pequeno tubo recobrimo seu elemento ativo que produz uma substância, que ao ser aquecida pelo arco, libera gases deionizantes, aumentando a atividade

extintora do arco. (MAMEDE,2013). Na Figura 2.7 podemos observar uma ilustração de uma chave Fusível Polimérica.



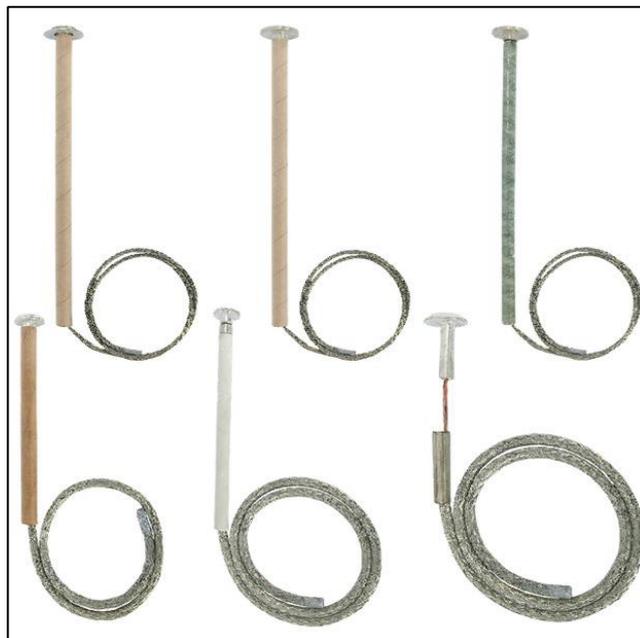
**Figura 2.7.** Ilustração de uma Chave Fusível Polimérica. Fonte: Maurizio, (2023).

Os tipos de fusíveis são categorizados com base em suas características de tempo  $\times$  corrente, o que permite uma codificação fácil. Essas classificações ajudam os fabricantes e usuários a determinar o tipo mais apropriado de fusível a ser usado. São eles:

- a) **Tipo H:** Os fusíveis de alta sobretensão, também conhecidos como fusíveis Tipo H, são usados especificamente para proteger transformadores de distribuição. Esses fusíveis são projetados com um tempo de operação lento para evitar que disparem durante a energização do transformador, que pode ser causada por corrente de surto ou corrente de irrupção. A taxa de velocidade dos fusíveis Tipo H varia de 11,4 para fusíveis de 0,5 A à 36,4 A para fusíveis de 5 A. Os fusíveis tipo H estão disponíveis em várias correntes nominais, como 0,5A, 1A, 2A, 3A e 5A. (MAMEDE, 2013)

- b) **Tipo K:** Fusíveis de ação rápida são comumente usados para proteger alimentadores de distribuição e podem ser instalados em vários pontos ao longo da trajetória do alimentador. Esses fusíveis possuem uma relação de velocidade que varia de 6 a 8,1, dependendo da corrente nominal do elo fusível. Existem dois tipos de fusíveis: preferencial e não preferencial. Esses fusíveis são classificados para indicar quais podem se coordenar entre si. Os fusíveis preferenciais têm correntes nominais de 6, 10, 15, 25, 40, 65, 100, 140 e 200 A, enquanto os fusíveis não preferenciais têm correntes nominais de 8, 12, 20, 30, 50 e 80 A. (MAMEDE, 2013)
- c) **Tipo T:** O tempo de atuação desses fusíveis é relativamente lento. A relação de velocidade varia entre 10 para fusíveis com corrente nominal de 6 A e 13 para fusíveis com corrente nominal de 200 A. É importante observar que os fusíveis K e T têm valores de corrente nominal idênticos. Os elos fusíveis tipo T, por outro lado, são projetados especificamente para proteger a distribuição da Fonte de alimentação e suas extensões correspondentes. (MAMEDE, 2013)

Na Figura 2.8 podemos observar diferentes tipos de elos fusíveis que é utilizado nas redes de distribuição.



**Figura 2.8.** Tipos de Elos Fusíveis. Fonte: Tecfuse, (2023)

## 2.3.2. Religadores de Linha

As concessionárias de distribuição de energia elétrica frequentemente utilizam equipamentos de religação automática para reduzir a duração da interrupção de energia elétrica para os consumidores atendidos. Este método garante que apenas o circuito de falha permaneça desligado, o que melhora a qualidade geral do serviço de fornecimento de energia elétrica. Os religadores estão posicionados em pontos estratégicos dos circuitos de distribuição para minimizar o número de clientes afetados por faltas permanentes e restaurar automaticamente a energia devido a faltas temporárias. Isso é particularmente crucial em áreas rurais onde a frequência de falhas transitórias é maior do que em outras regiões. Ao usar equipamentos de religamento automático, as concessionárias de distribuição de energia elétrica podem efetivamente melhorar a qualidade do serviço, minimizando as interrupções do cliente.

No livro Manual de Equipamentos Elétricos, existe o seguinte conceito sobre religadores de linha:

“Religadores automáticos são equipamentos de interrupção da corrente elétrica dotados de uma determinada capacidade de repetição em operações de abertura e fechamento de um circuito, durante a ocorrência de um defeito (MAMEDE, J; 2013)”.

Um dos principais benefícios desses dispositivos é que eles reduzem significativamente os custos de mão-de-obra associados aos serviços de reparo do sistema. Isso é conseguido evitando o deslocamento das equipes de manutenção até o local da falha e minimizando o tempo de desligamento da rede ou setor do sistema. Ao reduzir a necessidade de intervenção humana durante os reparos do sistema, esses dispositivos oferecem uma solução mais eficiente e econômica para a manutenção do sistema. Na Figura 2.9 temos um exemplo de uma estrutura equipada com um religador automático para uma rede de distribuição.



**Figura 2.9.** Religador Automático instalado na rede de distribuição. Fonte: Adolphoeletricista, (2023).

É importante observar que tais equipamentos não são adequados para instalações industriais ou comerciais. Isso se deve ao fato de que os defeitos encontrados nesses ambientes muitas vezes são de natureza permanente, tornando ineficaz o uso desses equipamentos. Em vez disso, esse equipamento é mais adequado para redes aéreas urbanas e rurais, onde as falhas transitórias são mais comuns. Ao utilizar este equipamento no contexto adequado, pode-se efetivamente melhorar a qualidade do serviço prestado, minimizando também o impacto de falhas temporárias na rede.

Os religadores possuem duas classificações com base no número de fases: monofásico e trifásico. O tipo monofásico é comumente utilizado para proteger redes de distribuição monofásicas. Se for instalado em redes trifásicas que alimentam cargas monofásicas, pode-se utilizar um religador monofásico em cada fase da carga. Se uma das unidades monofásicas funcionar devido a uma falta permanente de fase e à terra, o bloqueio ocorre no final do ciclo de religação, sem afetar os outros clientes que estão ligados às outras duas fases, que não foram afetadas pela falha.

Por outro lado, os religadores trifásicos são projetados para separar simultaneamente as três fases, evitando que cargas trifásicas funcionem com apenas duas fases. (MAMEDE, J; 2013).

A Normativa DIS-NOR-010, 2021 da Neoenergia informa os critérios a serem adotados ao usar os religares. Entre eles são podemos destacar:

- O religador automático pode ser aplicado em redes de distribuição aéreas trifásicas, localizadas em áreas urbanas e rurais.
- Na instalação do religador em poste com rede secundária, esta deve ser multiplexada e devem ser observadas as distâncias mínimas de segurança entre rede de média tensão e de baixa tensão, estabelecidas na norma de projeto de rede de distribuição aérea.

# Capítulo 3

## Falhas na Rede de Distribuição

### 3.1. Falhas de Energia Elétrica

O termo falhas refere-se a qualquer ocorrência imprevista que impeça o funcionamento de um sistema ou dispositivo elétrico. Existem duas categorias de falhas: falhas transitórias, que são de curta duração e normalmente auto limpáveis, e falhas permanentes, que duram muito tempo e requerem intervenção para serem corrigidas. Falhas transitórias geralmente resultam de interrupções temporárias na rede elétrica, como raios ou mau funcionamento de equipamentos, enquanto falhas permanentes podem ser causadas por problemas mais sérios, como cabos danificados ou componentes defeituosos. Identificar e tratar falhas prontamente é crucial para garantir a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos. (LEME; CUNHA; PITOCCO; RIZZARDI, 2013).

#### 3.1.1. Falhas Transitórias

Falhas temporárias são falhas que afetam o circuito apenas temporariamente. Em outras palavras, uma vez que os dispositivos de proteção operam, o circuito é reconectado e a falha é eliminada. As causas das falhas temporárias podem variar, mas algumas das mais comuns incluem contato momentâneo entre cabos condutores, descargas atmosféricas, início de arco elétrico e isolamento deficiente de materiais. É importante observar que, embora essas falhas sejam temporárias, elas ainda podem

causar danos ao equipamento elétrico e podem até levar a falhas permanentes se não forem verificadas. (GALLI; FRIZZO STEFENON; AMÉRICO, 2017).

### **3.1.2. Falhas Permanentes**

As falhas permanentes são aquelas que não podem ser revertidas sem reparar a rede para restaurar o sistema elétrico. Após a ativação do sistema de proteção, a equipe de manutenção deve se deslocar até o local da falha e eliminá-la antes que o sistema possa ser reconectado. (GALLI; FRIZZO STEFENON; AMÉRICO, 2017)

Em alguns casos, uma falha transitória pode se transformar em uma falha permanente se o equipamento de proteção não for operado adequadamente ou não estiver disponível na rede de distribuição. As falhas permanentes são classificadas e categorizadas com base em seus eventos ou causas desencadeantes, sendo as mais frequentes as não identificadas, onde não se sabe o motivo da queda de energia, seguidas de descargas atmosféricas e incidentes relacionados a animais, como contato com a vegetação. As equipes responsáveis pelo atendimento a essas solicitações fornecem ao Centro de Operação da Distribuição (COD) informações sobre os eventos desencadeadores e o tempo previsto para o restabelecimento da falta de energia. (LEME; CUNHA; PITOCCO; RIZZARDI, 2013).

### **3.1.3. Curto-Circuito**

A compreensão aprofundada sobre o fenômeno do curto-circuito é crucial para a segurança e eficiência dos sistemas elétricos. Conforme destacado por Santos (2009), um curto-circuito pode ser caracterizado como uma conexão, seja intencional ou acidental, geralmente de baixa impedância, entre dois ou mais pontos que, em condições normais, apresentam diferentes potenciais elétricos. Em termos simples, trata-se da súbita redução da impedância equivalente, estabelecendo um atalho no circuito elétrico para a circulação de corrente elétrica entre potenciais distintos.

Os curtos-circuitos representam variações extremas na corrente que percorre o sistema elétrico, sendo potenciais causadores de danos aos componentes por onde transitam, caso não sejam adequadamente limitados em termos de magnitude e duração (MAMEDE, 2009, p. 27).

O estudo desses eventos tem como foco primordial a obtenção de informações sobre as correntes e tensões durante falhas em pontos específicos do sistema elétrico. Os resultados dessas análises desempenham um papel crucial no dimensionamento dos equipamentos de proteção do sistema, visando assegurar não apenas a integridade dos dispositivos, mas também a segurança das pessoas e a realização de análises de sobretensões (KAGAN, 2005, p. 19).

## **3.2. Principais Defeitos na Rede de Distribuição**

### **3.2.1. Descarga Atmosférica**

A interrupção da rede elétrica devido a descargas atmosféricas é um fenômeno comum e impactante que ocorre em sistemas de distribuição de energia. Descargas atmosféricas, popularmente conhecidas como raios, são descargas elétricas de grande magnitude que ocorrem entre a atmosfera e a terra. Essas descargas podem causar danos significativos aos equipamentos elétricos, interrompendo o fornecimento de energia e causando prejuízos econômicos e sociais. (FERREIRA 2011)

A proteção contra descargas atmosféricas e a atuação de equipamentos de proteção são de extrema importância para minimizar os impactos das descargas atmosféricas na rede elétrica. Os equipamentos de proteção, como os para-raios e religadores de linha, desempenham um papel crucial na proteção dos sistemas elétricos contra os efeitos danosos das descargas atmosféricas.

Esses dispositivos são instalados em pontos estratégicos da rede elétrica e possuem capacidade de monitoramento e detecção de falhas. Quando uma falha for

detectada, o religador atua de forma automática para interromper temporariamente o fornecimento de energia e, em seguida, religa a rede após um curto período. Isso permite que falhas transitórias, como aquelas causadas por descargas atmosféricas, sejam eliminadas sem a necessidade de intervenção manual, minimizando o tempo de interrupção do serviço elétrico. (FERREIRA 2011)

#### 3.2.2. Vegetação e Eventos Climáticos

A proximidade de árvores e vegetação em relação às linhas de distribuição representa um risco significativo para a operação do sistema elétrico, podendo levar a interrupções no fornecimento de energia, danos aos equipamentos e até mesmo causar acidentes graves. Durante condições climáticas adversas, como ventos fortes, tempestades e nevascas, galhos ou árvores podem cair sobre as linhas, causando a interrupção do fornecimento de energia. Além disso, o crescimento descontrolado da vegetação pode levar ao contato direto dos galhos com os condutores elétricos, ocasionando curtos-circuitos e falhas no sistema. Tempestades, ventos fortes, chuvas intensas e outros eventos climáticos podem causar danos à infraestrutura elétrica, como a queda de árvores sobre as linhas, rompimento de cabos e danos em postes. Essas condições climáticas são responsáveis por um grande número de ocorrências emergenciais. (BARRETO,2016)

Para mitigar os riscos associados à vegetação e queda de árvores, são empregados equipamentos de proteção específicos. Dentre esses equipamentos, destacam-se os dispositivos de proteção e monitoramento, como os religadores automáticos e os sistemas de detecção de falta de tensão. Além disso, a utilização de sistemas de detecção de falta de tensão é fundamental para identificar a ocorrência de interrupções causadas pela vegetação e queda de árvores. Esses sistemas são compostos por sensores e dispositivos de monitoramento que detectam a ausência de tensão na linha e acionam alarmes para a equipe de manutenção. Essa pronta detecção permite que a equipe de campo possa atuar rapidamente para remover a

vegetação, restabelecer o fornecimento de energia e evitar danos adicionais. (BARRETO,2016).

### **3.2.3. Falhas de Equipamentos**

A ocorrência de falhas em componentes como conexões, cruzetas quebradas, isoladores com vazamento, entre outros, pode levar a interrupções no fornecimento de energia, comprometendo a confiabilidade do sistema elétrico. A falha de equipamentos pode ser causada por diversos fatores, como desgaste, envelhecimento, danos físicos, mau dimensionamento ou instalação inadequada. Esses problemas podem resultar em mau contato, curtos-circuitos, perda de isolamento elétrico e outras falhas que afetam o desempenho e a segurança do sistema.

Os dispositivos de proteção de sobrecorrente são utilizados para proteger a rede elétrica contracorrentes excessivas causadas por falhas de equipamentos. Esses dispositivos são projetados para detectar e limitar correntes anormais, como curtos-circuitos, e interromper o fornecimento de energia para evitar danos adicionais aos equipamentos e minimizar o risco de incêndios elétricos.

# Capítulo 4

## Manutenção na Rede de Distribuição

### 4.1. Tipos de Manutenção

A manutenção desempenha um papel crucial na preservação da funcionalidade, confiabilidade e durabilidade de equipamentos, sistemas e infraestruturas. Ela desempenha um papel vital na garantia de que esses ativos continuem a operar de forma eficiente e segura ao longo do tempo. Existem diversos tipos de manutenção, cada um com sua aplicação específica, que podem ser escolhidos de acordo com as necessidades e características particulares de cada caso.

Nesta seção de embasamento teórico, serão discutidos sucintamente os principais tipos de manutenção amplamente empregados na indústria e em diversos setores. Essa discussão ajudará a compreender as abordagens existentes para a gestão e preservação de ativos em ambientes industriais e empresariais.

#### 4.1.1. Manutenção Corretiva

Conforme estipulado pela norma NBR-5462 (1994), que aborda questões relativas à confiabilidade e capacidade de manutenção, a manutenção corretiva é definida como o processo realizado posteriormente a uma falha, com o intuito de

restabelecer um item à capacidade necessária para executar sua função previamente requerida.

No contexto das redes de distribuição elétrica, as falhas podem resultar em interrupções no fornecimento de energia para consumidores e empresas, tendo potencial impacto negativo tanto na economia quanto na qualidade de vida. Portanto, a manutenção corretiva não é limitada a situações de emergência; ela também é aplicada quando um componente não está funcionando de acordo com as especificações ou quando há a detecção de problemas que podem levar a uma falha iminente.

A manutenção corretiva desempenha um papel crítico na gestão de ativos de uma rede de distribuição elétrica. Embora seja preferível realizar manutenção preventiva para evitar a ocorrência de falhas, a manutenção corretiva ainda é necessária devido a vários motivos. Em alguns casos, equipamentos ou componentes podem quebrar ou falhar inesperadamente, independentemente do quão eficaz seja o programa de manutenção preventiva.

Além disso, a manutenção corretiva pode ser aplicada em situações específicas, por exemplo, quando equipamentos duplicados estão em estoque, tornando a substituição mais viável após uma falha. Também é uma opção em instalações de baixo custo, onde a implementação de programas de manutenção preventiva pode não ser economicamente viável. A manutenção corretiva, no entanto, não é isenta de desafios. Ela pode resultar em custos elevados devido a paralisações não planejadas, perda de produtividade e, em casos extremos, danos irreparáveis a equipamentos. Portanto, a otimização da manutenção corretiva é essencial para minimizar os impactos negativos e garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica. (MITCHELL, 1984).

### 4.1.1.1. Estratégias de Implementação

Para otimizar a manutenção corretiva em redes de distribuição elétrica no Brasil, várias estratégias podem ser consideradas:

- 1) **Monitoramento e Sensoriamento:** A instalação de sensores e sistemas de monitoramento em componentes críticos pode ajudar a detectar problemas antes que se transformem em falhas, permitindo ações corretivas mais eficazes e reduzindo interrupções no fornecimento de energia.
- 2) **Gestão de Ativos:** A implementação de sistemas de gestão de ativos ajuda a priorizar a manutenção corretiva com base na criticidade dos componentes e na disponibilidade de peças de reposição.
- 3) **Treinamento e Capacitação:** Investir na capacitação de equipes de manutenção é fundamental para garantir que as intervenções corretivas sejam executadas de maneira eficaz e segura.

### 4.1.1.2. Impactos Econômicos

Os impactos econômicos da manutenção corretiva em redes de distribuição elétrica no Brasil são significativos. Falhas não programadas podem resultar em:

- 1) **Perda de Produtividade:** Interrupções no fornecimento de energia elétrica podem afetar a produtividade de indústrias, empresas e residências.
- 2) **Custos de Reparo Elevados:** A manutenção corretiva geralmente envolve custos mais elevados do que a manutenção preventiva, devido à necessidade de reparos emergenciais.
- 3) **Impacto na Qualidade de Serviço:** A reputação das concessionárias de energia está diretamente relacionada à qualidade do serviço prestado. Falhas frequentes podem prejudicar essa reputação.
- 4) **Riscos de Segurança:** Falhas em redes de distribuição elétrica podem representar riscos à segurança pública e dos trabalhadores.

## 4.1.2. Manutenção Preventiva

De acordo com as diretrizes estabelecidas na NBR-5462 (1994), a manutenção preventiva pode ser compreendida como "a manutenção realizada em intervalos previamente determinados ou seguindo critérios prescritos, visando reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas ou degradação no desempenho de um item."

O propósito da manutenção preventiva é prevenir potenciais falhas que possam ocorrer de maneira aleatória ou planejada, definindo cronogramas com base nas especificações do fabricante ou em dados históricos. Essa abordagem se destaca como um método eficaz para evitar o surgimento de defeitos ou falhas, monitorando constantemente os equipamentos sempre que possível.

Conforme observado por Gomes e Baroni (1994), a manutenção preventiva surgiu no decorrer do século XX como uma solução para otimizar a produção, impedindo que falhas ocorressem nos momentos em que a máquina estava mais requisitada. Essa abordagem se fundamenta na premissa de que o comportamento dos componentes de uma máquina, enquanto em operação, pode ser compreendido por meio do registro contínuo de ocorrências ao longo do tempo, tanto na própria máquina quanto em máquinas similares. A manutenção preventiva implica a execução de tarefas programadas de acordo com um plano preestabelecido, visando a redução do potencial de falhas que teriam impactos adversos na confiabilidade e segurança das instalações.

### 4.1.3. Manutenção Preditiva

Conforme estipulado na NBR-5462 (1994), a manutenção preditiva pode ser entendida como o tipo de manutenção que visa garantir a qualidade de serviço desejada, adotando uma abordagem sistemática que se baseia em técnicas de medição e análise. Essa abordagem faz uso de métodos de supervisão e amostragem para minimizar a necessidade de manutenção preventiva e reduzir a ocorrência de manutenção corretiva.

A manutenção preditiva se fundamenta na definição de parâmetros que, quando identificados com antecedência, contribuem para a manutenção de uma qualidade de serviço adequada. A capacidade de prever e identificar problemas antes que se tornem falhas inesperadas é fundamental para satisfazer o sistema e evitar interrupções não planejadas. A seleção dos parâmetros mais apropriados para cada situação deve ser uma consideração cuidadosa por parte da equipe responsável pela avaliação.

De acordo com Nepomuceno (1989), a implementação da manutenção preditiva requer um cuidado extremo, uma vez que exige informações precisas sobre o funcionamento dos equipamentos, as condições ambientais em que os equipamentos operam, o processo de envelhecimento de cada componente e outras informações relevantes. Essa abordagem, portanto, não apenas antecipa problemas, mas também depende de uma análise aprofundada e da obtenção de dados detalhados para atingir seu objetivo de manter a qualidade do serviço e minimizar intervenções de manutenção.

### 4.1.4. Confiabilidade na Manutenção

Segundo Nepomuceno (1989) a confiabilidade pode se entender como:

“ [...] a probabilidade de um produto (peça, equipamento, circuito, máquina, sistema, componente, etc.) fabricado em conformidade com dado projeto operar durante um período especificado de tempo (eventualmente o tempo de vida útil) sem apresentar falhas identificáveis, desde que sujeito a manutenção de conformidade com as instruções do fabricante e que não tenha sofrido tensões superiores àquelas estipuladas por limites indicados pelo fornecedor, não tenha sido exposto a condições ambientais adversas de conformidade com os termos de fornecimento ou aquisição.”

Leão (2009) amplia essa compreensão, destacando que a confiabilidade é a medida da probabilidade de que componentes, partes e sistemas desempenhem suas funções conforme necessário durante um período específico, sem apresentar falhas. A confiabilidade está relacionada ao tempo que um componente, parte ou sistema pode operar sem sofrer uma falha. É importante observar que a confiabilidade não está relacionada ao tempo necessário para que um componente em reparo seja restaurado ao seu pleno funcionamento, mas sim à capacidade contínua de operar sem falhas ao longo do tempo.

# Capítulo 5

## Metodologia

### 5.1. Método Científicos

O método científico compreende uma gama de abordagens e técnicas de pesquisa, a exemplo de análises estatísticas, dados qualitativos e quantitativos, estudo de caso, entre outros. O nível prático da pesquisa é o ponto em que o método científico se torna evidente, ou seja, guia como devem ser feitas, analisadas e interpretadas as observações (VILLARES; NAKANO, 2000).

O tipo de pesquisa exploratório faz descrições exatas da situação e busca descobrir as conexões entre os elementos avaliados. Tal tipo de pesquisa necessita de uma organização bastante flexível para possibilitar a análise dos diferentes aspectos de uma problemática (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007). O trabalho pode ser considerado exploratório, por ter como objetivo a familiarização com um fenômeno pouco explorado.

### 5.2. Tipo de Pesquisa

A pesquisa quantitativa é feita de forma numérica e é comum na estatística ou matemática. O estágio de análise dessa pesquisa é feito por meio iterativo onde as evidências são consideradas. Os resultados obtidos são, em sua maioria, mostrados em gráficos e tabelas de maneira conclusiva, podendo então, ser empregada para investigação (GARCES, 2010).

### 5.3. LÓCUS DA PESQUISA

---

Já a pesquisa qualitativa não é feita de forma numérica, tendo em vista que o pesquisador descreve a situação de forma intuitiva. Sendo assim, os dados qualitativos jamais serão apresentados em forma de gráficos, tendo a pesquisa uma característica exploratória e investigativa (MELLO, 2014).

Este trabalho pode ser considerado misto, visto que tem como objetivo corroborar os resultados quantitativos e qualitativos. Esse tipo de pesquisa, geralmente, é desenvolvido utilizando diferentes habilidades e competências em pesquisa que possam aplicar com coerência e precisão diferentes métodos (JOHNSON; ONWUEGBUZIE; TURNER, 2007).

## 5.3. Lócus da Pesquisa

A rede de distribuição ao redor da microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga será o foco de pesquisa deste trabalho, de acordo com a divisão econômica da Bahia. A Figura 5.1 mostra um mapa das localidades em questão.

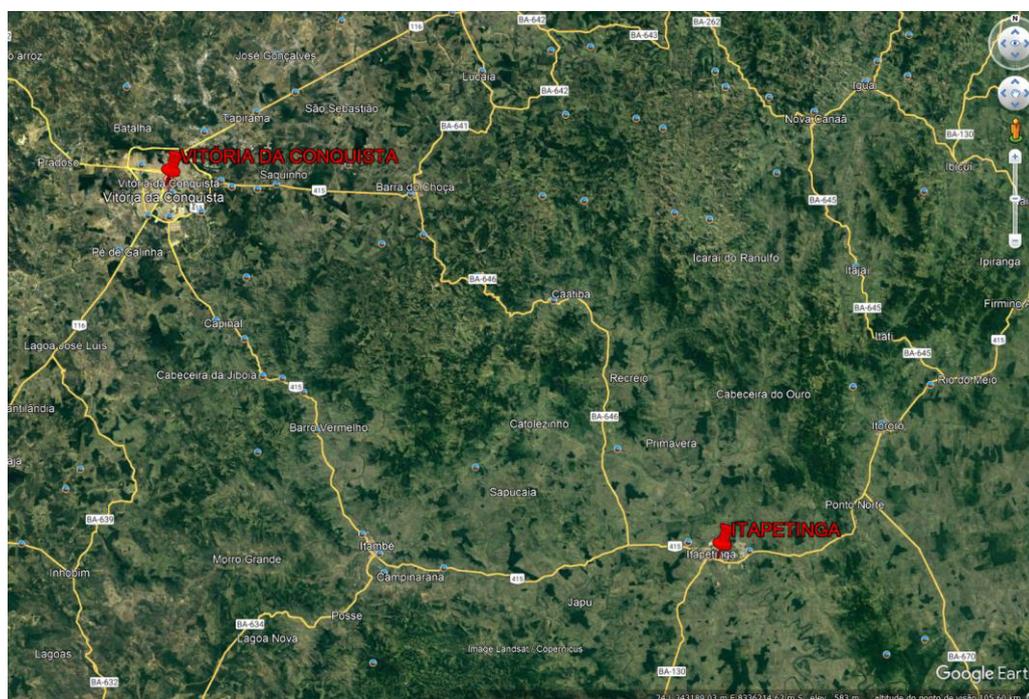


Figura 5.1. Lócus da Pesquisa. Fonte: Google Earth (2023).

## 5.4. Coleta de Dados

Feita a identificação do problema da pesquisa, cabe ao pesquisador realizar a seleção dos dados de amostragem, como esses serão coletados, quais documentos serão tidos como referência, dentre outros parâmetros que o investigador julgar pertinentes. (MERRIAM, 1998)

Estes dados foram originados de uma Fonte cedida por uma empresa que presta serviços à concessionária de energia sediada em Vitória da Conquista. Por motivos de preservação da confidencialidade, não serão detalhados os aspectos específicos dessa Fonte no contexto deste trabalho, assim adotaremos COELBR como nome fictício para a empresa fornecedora dos dados.

Para realizar a comparação dos sistemas propostos, foi necessário um acompanhamento de todos os processos realizados tanto na fase de projeto quanto na fase de execução e monitoramento. Para tal, foi feito o levantamento da quantidade de manutenções preventivas executadas e a quantidade apresentada para cada tipo de demanda entre os dias de 01 de fevereiro até 30 de setembro do ano de 2023. O número de ordens de serviço selecionadas para a amostra será composto por um valor significativo, de forma a garantir a robustez e a validade dos resultados obtidos.

Outros dados fornecidos pela empresa, foram dos transformadores desligados devido a um evento que será analisado no estudo de caso. Com os mesmos, é possível fazer a identificação do impacto de um acidente e a sua relação com a qualidade de energia elétrica.

## 5.5. Tratamento de Dados

A etapa de tratamento dos dados coletados induz o pesquisador a criar algumas teorias, fazendo com que esse confronte com a base teórica levantada e busque explicar o que esse estudo colabora para a pesquisa (TEIXEIRA, 2003).

Após levantamento da quantidade de manutenções, realizar a separação entre os tipos de manutenções preventiva analisando as que apresentam mais recorrência.

A aquisição dos dados ocorreu por meio de uma planilha online, posteriormente convertida para o formato compatível com o Microsoft Excel®. Isso possibilitou a realização de uma etapa crucial: o tratamento dos dados. Nesse processo, serão identificados potenciais inconsistências e erros nos dados, visando a evitar qualquer influência negativa nos resultados.

A representação das fases da pesquisa pode ser observada na Figura 5.2, abrangendo desde a aquisição de dados até a avaliação dos resultados.



**Figura 5.2.** Fluxograma da análise de dados. FONTE: Próprio autor (2023).

## 5.6. Análise de Dados

Com base em Minayo (1994), a etapa de análise dos dados em pesquisa social possui três propósitos: instituir uma percepção dos dados apurados, validar hipóteses da pesquisa, e expandir o conhecimento sobre o tema estudado.

Inicialmente, os dados passarão pelo processo de estratificação, em relação aos tipos de defeito. Tal estratificação possibilita uma análise minuciosa e direcionada para cada classe de serviço, conforme exemplificado na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1.** Tipos de Defeitos identificados.

<b>Tipos de Defeito</b>	<b>Quantidade</b>
Cruzeta/Estrutura	47
Para-raios	38
Limpeza de Faixa	129
Poda	696
Poste	52
Animais/Objetos	35
Isolador MT	189
Espaçador BT	4
Emenda MT	7
Condutor BT	21
Estai	70
Chave fusível	16
Transformador	1
Equipamento	0
Conexão/Passagem MT	25
Faixa de servidão	1
Condutor MT	12
Isolador BT	2
Conexão/Passagem BT	3
Chave	46
<b>Total</b>	<b>1394</b>

FONTE: COELBR.

Na subsequente fase, procede na separação da quantidade de ordens de serviço em cada mês identificado como mostra a Tabela 5.2. No contexto dos resultados será feita uma análise sobre os motivos do maior número de ordens de serviços e quais manutenções poderiam evitar desligamentos, assim como o impacto gerado.

## 5.6. ANÁLISE DE DADOS

**Tabela 5.2.** Estratificação dos dados em cada mês analisado.

TIPO DE DEFEITO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	TOTAL
Cruzeta/Estrutura	14	5	1	3	5	4	2	13	47
Para-raios	2	3	9	7	7	3	3	4	38
Limpeza de Faixa	16	14	17	16	12	12	25	17	129
Poda	86	129	113	126	60	89	44	49	696
Poste	6	2	12	5	3	5	7	12	52
Animais/Objetos	27	0	5	0	0	0	0	3	35
Isolador MT	10	18	16	17	21	21	13	73	189
Espaçador BT	4	0	0	0	0	0	0	0	4
Emenda MT	1	1	1	1	1	1	0	1	7
Condutor BT	1	2	0	1	2	1	1	13	21
Estai	10	15	5	4	13	11	0	12	70
Chave fusível	0	1	3	2	3	1	3	3	16
Transformador	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Equipamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conexão/Passagem MT	0	1	5	4	2	3	7	3	25
Faixa de servidão	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Condutor MT	0	0	2	2	3	2	1	2	12
Isolador BT	0	0	1	0	0	1	0	0	2
Conexão/Passagem BT	0	0	0	0	0	2	0	1	3
Chave	0	0	0	0	0	12	18	16	46
<b>TOTAL</b>	<b>177</b>	<b>192</b>	<b>190</b>	<b>188</b>	<b>132</b>	<b>168</b>	<b>124</b>	<b>223</b>	<b>1394</b>

FONTE: COELBR.

A partir da identificação do tipo de defeito que apresenta maior quantidade de Ordens de Serviço (OS), é possível relacionar tal quantidade com a referente subestação e a microrregião demandada, conforme apresentado na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3.** Quantidade de Ordens de Serviço de Podas por Subestação.

MICRORREGIÃO	SUBESTAÇÃO	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL	
Itapetinga	IGI	13	0	0	8	0	1	0	13	35	461
Itapetinga	MQN	1	1	1	20	12	6	8	15	64	
Itapetinga	BVT	1	102	50	61	20	4	0	2	240	
Itapetinga	IRO	0	0	21	23	2	1	2	9	58	
Itapetinga	ITG	0	4	4	3	10	21	3	8	53	
Itapetinga	IBE	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
Itapetinga	PAS	0	0	0	0	8	0	2	0	10	
Vitória da Conquista	VTC	5	0	0	2	0	0	0	0	7	235
Vitória da Conquista	POC	9	1	2	1	0	45	9	0	67	
Vitória da Conquista	CNS	8	19	3	0	0	2	2	0	34	
Vitória da Conquista	PJQ	48	1	0	0	0	4	0	0	53	
Vitória da Conquista	PTG	1	0	7	8	7	0	0	0	23	
Vitória da Conquista	ADR	0	1	25	0	0	5	18	2	51	

FONTE: COELBR.

Analisa-se os diversos tipos de manutenção em colaboração com a empresa de manutenção vinculada à concessionária e verifica-se, em campo, ocorrências que apresentam situações resultantes da ausência de manutenção preventiva. Isso proporciona exemplos práticos para o estudo de caso.

Na etapa conclusiva, será efetuada uma meticolosa avaliação dos resultados obtidos examinando, tanto os dados quantitativos quanto os qualitativos relacionados a cada categoria de incidente. Durante essa análise, destacaram-se os padrões e tendências predominantes, assim como os pontos críticos que demandam uma atenção mais intensiva no âmbito da manutenção e prevenção de falhas. Essa abordagem metodológica enriquece a compreensão integral dos diversos problemas evidenciados na rede de distribuição de energia elétrica.

Ademais, viabiliza-se a identificação das causas principais correlacionadas a cada tipo de ocorrência, fomentando a formulação de estratégias de manutenção mais eficazes e a adoção de medidas preventivas pertinentes. Os *insights* extraídos da análise dos resultados se traduzirão em informações de grande relevância para o contínuo aprimoramento dos procedimentos de manutenção e operação da rede elétrica.

## 5.6. ANÁLISE DE DADOS

---

Na Tabela 5.4 é possível observar os dados fornecidos pela empresa COELBR, que identificam os clientes interrompidos para evento da manutenção corretiva estudado. Essa tabela mostra além dos códigos de identificação dos transformadores, a quantidade de unidades consumidoras, o consumo médio e a quantificação do tempo em que houve a interrupção de energia elétrica.

**Tabela 5.4.** Dados dos Transformadores para o evento estudado de manutenção corretiva.

<b>Transformador</b>	<b>UC</b>	<b>Consumo médio (kwh/mês)</b>	<b>Tempo Interrompido</b>
A03671	2	4068,5	08h13min
A04102	1	123,5	22h41m
A03670	15	2559,3	08h13min
W41643	1	2040,2	22h41m
A03703	3	1127,0	22h41m
W74229	3	223,7	22h41m
G09205	8	973,0	22h41m
W74230	1	139,7	22h41m
A03702	1	342,2	22h41m
G09204	11	313,8	22h41m
G09203	4	155,7	22h41m
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>		

FONTE: COELBR.

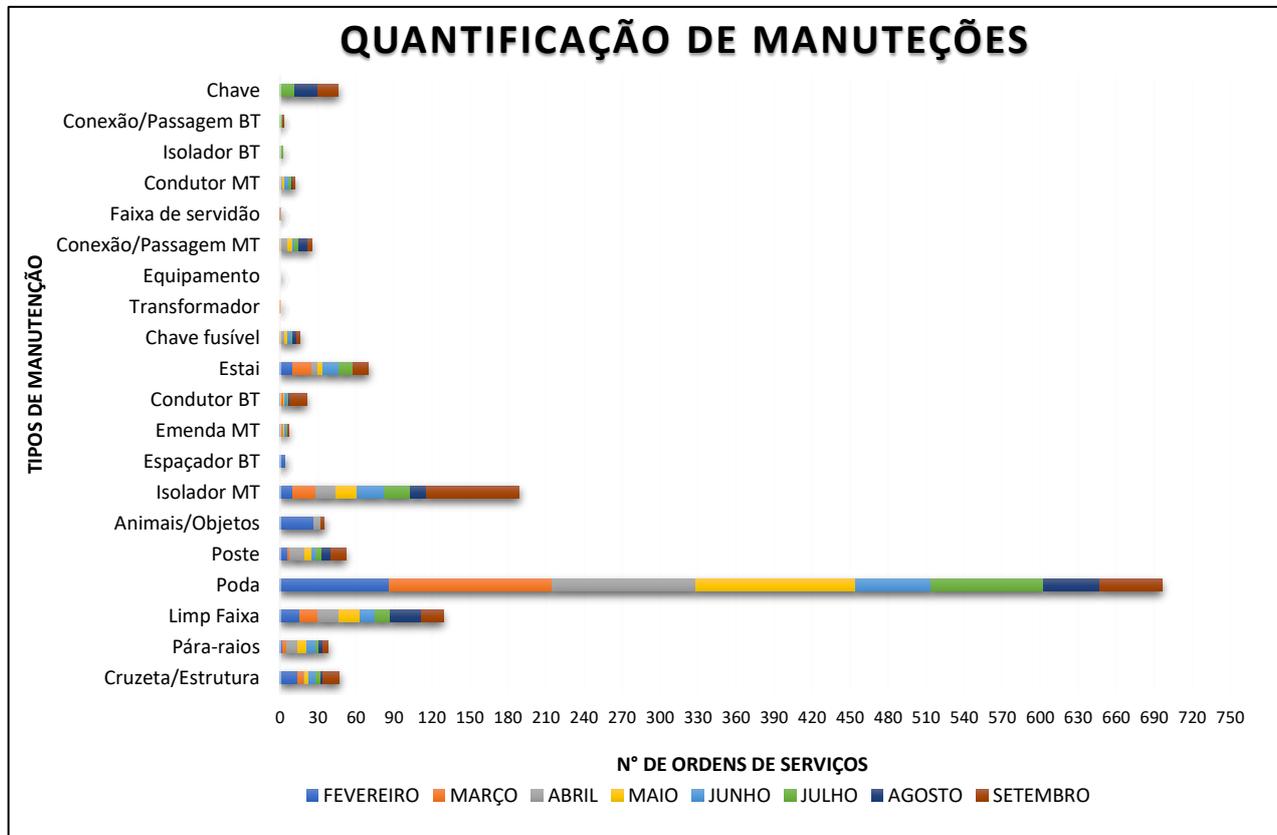
# Capítulo 6

## Resultados e Discussões

### 6.1. Análise das Manutenções

A partir dos dados adquiridos junto à empresa de manutenção contratada, foi possível reconhecer quais são as solicitações mais frequentes para manutenções preventivas. Essa análise quantitativa está representada no Gráfico 6.1.

**Gráfico 6.1.** Quantitativo de manutenções em redes de distribuição.

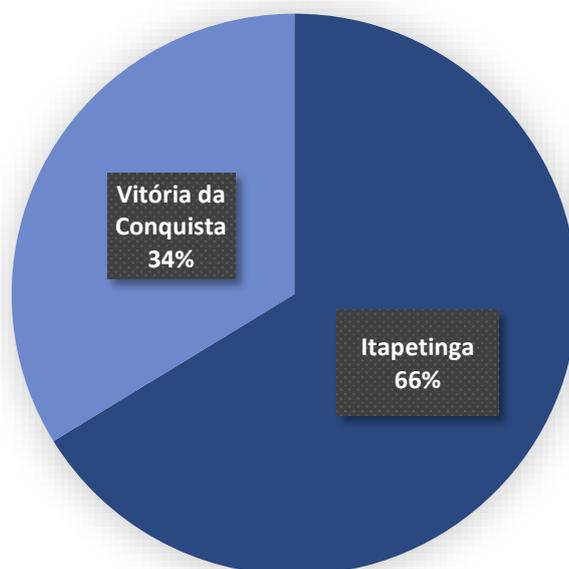


FONTE: COELBR.

Ao analisar o Gráfico 6.1, observa-se que a operação de poda se destaca como o tipo de manutenção de maior demanda. Isso se deve, em grande parte, à extensa zona rural abrangida pela região de estudo e pela necessidade de intervenções de podas serem mais frequentes em comparação as demandas de natureza estrutural. O crescimento de vegetações ao longo da rede estabelece um parâmetro para uma menor periodicidade e, portanto, é evidente que as operações de poda são mais comuns nesse contexto. Além disso, é importante ressaltar que a maioria dos trechos da rede de distribuição nessa área é composta por estruturas aéreas convencionais, o que significa que possuem um nível de confiabilidade relativamente baixo devido à ausência de isolamento dos condutores. Isso torna a convivência da rede com a arborização desafiadora, visto que um simples contato entre um galho e o condutor pode resultar no desligamento da rede ou, em casos mais graves, provocar incêndios.

A partir dos dados dispostos na Tabela 5.3, pode-se verificar que a demanda de manutenção preventiva de poda foi solicitada, em sua maior parte, para as redes alimentadas pelas subestações presentes na microrregião de Itapetinga, sendo 461 Ordens de Serviço, enquanto a microrregião de Vitória da Conquista apresenta uma demanda de 235. Essa diferença pode ser explicada pela necessidade de podas de acordo com os diferentes tipos de bioma das microrregiões estudadas. Sabe-se que a maioria das subestações instituídas para Vitória da Conquista, possuem alimentadores que percorrem uma extensa região de Caatinga, enquanto os alimentadores referentes as subestações da microrregião de Itapetinga estão em quase sua totalidade em regiões de Mata Atlântica. O Gráfico 6.2 ilustra o percentual de demanda para cada microrregião.

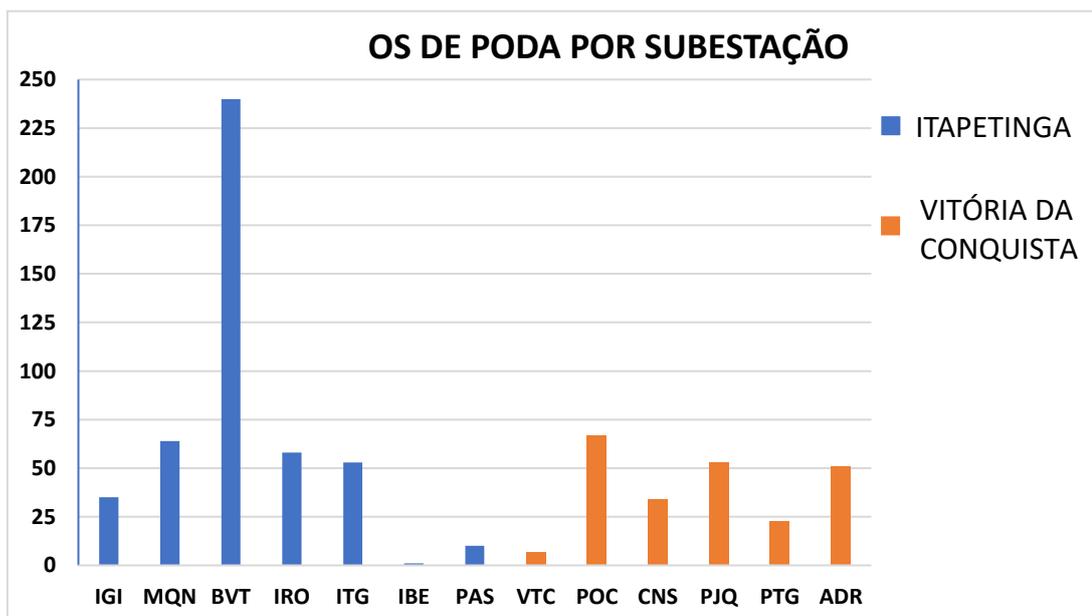
**Gráfico 6.2.** Percentual de Ordem de Serviço de poda por microrregião



FONTE: COELBR.

Explorando ainda os dados da Tabela 5.3, é possível verificar as subestações que alimentam as redes em que foram solicitadas as manutenções de poda e analisar o quantitativo dessas Ordens de Serviço para cada subestação. O Gráfico 6.3 apresenta a quantidade de OS de poda referente à cada subestação.

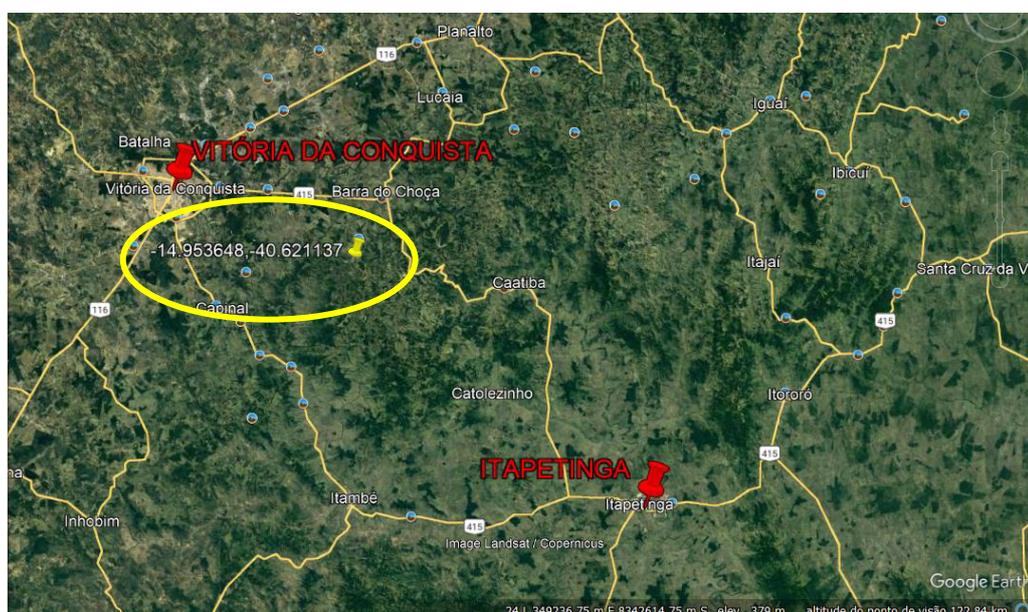
**Gráfico 6.3.** Quantitativo de OS de Poda por Subestação



FONTE: COELBR.

## 6.2. Estudo de caso: Consequência da Falta de Manutenção Preventiva de Poda

No vasto cenário da manutenção corretiva de redes de distribuição dedicada as regiões presentes neste estudo, é possível analisar, em detalhes, o caso registrado por uma ocorrência proveniente de queda de árvores na rede elétrica do dia 24 de agosto de 2023 na localidade de Pedra Ferrada, situada na microrregião de Vitória da Conquista, com as coordenadas geográficas Latitude: -14.953648 e Longitude: -40.621137, conforme indicado na Figura 6.1,



**Figura 6.1.** Localidade da ocorrência registrada em Pedra Ferrada. Fonte: Google Earth.

Conforme evidenciado na Figura 6.2, pode-se verificar uma situação originada pela falta de manutenção preventiva de poda. Essa ocorrência resultou na interrupção do fornecimento de energia elétrica na referida localidade, desencadeando, por conseguinte, um incêndio. Este incidente ocasionou danos irreversíveis as estruturas e condutores.



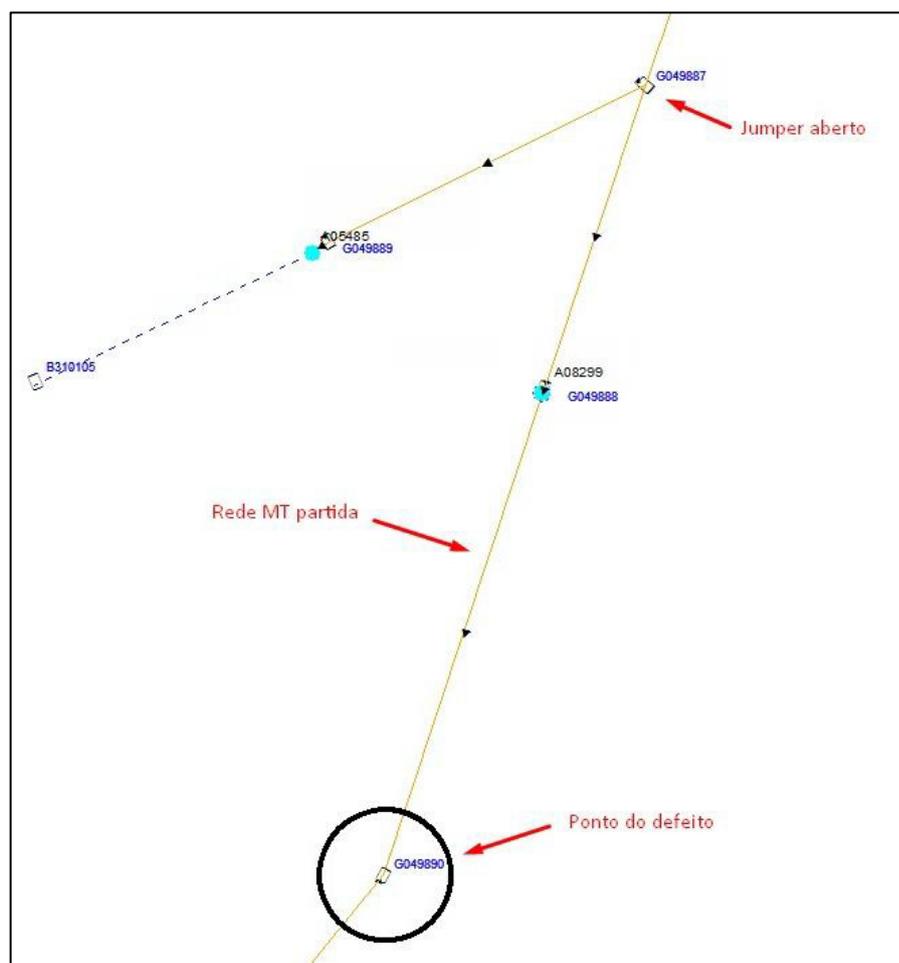
**Figura 6.2.** Incêndio causado devido à queda de galhos de uma árvore em uma rede de distribuição.  
Fonte: Próprio autor (2023).

Como determina o procedimento, após a abertura do chamado, deve-se mobilizar uma equipe de prontidão para efetuar o primeiro combate, no qual, analisa-se o local e elimina os possíveis riscos. Nesse caso, identificou-se que, em virtude da queda de galhos, os condutores exerceram uma tensão nos postes, submetendo-os a uma força substancial para a qual não estavam dimensionados. Como resultado, as estruturas próximas foram danificadas. Na Figura 6.3, é possível identificar o poste danificado.



**Figura 6.3.** Poste danificado devido ao tensionamento de condutores. Fonte: Próprio autor (2023).

Na etapa de identificação dos pontos de defeito, é necessário realizar um levantamento dos componentes e tipos de estruturas que precisam ser substituídos para recompor o circuito. Nessa situação, evidentemente, é solicitada a substituição de condutores nas três fases da rede MT e um poste DT 11/600 com estrutura TE-4. Com auxílio da plataforma de Gestão do Sistema Elétrico (GSE) pode-se identificar os dados da estrutura danificada, assim como a identificação da rede e o ponto de abertura da passagem (*jumper*) para que fosse possível mobilizar os recursos necessários para a manutenção corretiva. Na Figura 6.4, é possível identificar o croqui gerado pelo GSE referente ao trecho desse circuito.



**Figura 6.4.** Circuito analisado identificando pontos críticos da rede. Fonte: GSE (2023).

Conforme mostrado na Figura 6.4, pode-se identificar o ponto geográfico (PG) G049890, associado ao poste danificado, e também o PG G049887, onde foi realizada a abertura do *jumper*. A medida tomada para eliminar o risco resulta na interrupção de dois transformadores, A05485 e A08299. Dessa forma, com o prosseguimento da operação, é acionada uma equipe especializada em manutenção pesada para realizar a substituição do poste como mostra a Figura 6.5, na qual, pode-se observar lado a lado, o poste danificado e o novo que irá substituí-lo.



**Figura 6.5.** Substituição do poste danificado por uma nova estrutura. Fonte: Próprio autor (2023).

Pode-se verificar também na Figura 6.5, que o trecho da rede em que os cabos ainda permanecem ancorados na estrutura danificada, apresenta um vão relativamente longo, isso explica a necessidade de se utilizar a estrutura TE-4. Esse tipo de rede exerce um esforço mecânico maior comparado as redes mais comuns que apresentam vãos menores. Nesse caso, optou-se por acionar mais uma equipe de apoio para realizar a instalação da estrutura nova e substituir os cabos danificados.

## 6.2. ESTUDO DE CASO: CONSEQUÊNCIA DA FALTA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE PODA

Na Figura 6.6 pode-se observar a nova estrutura sendo instalada pela equipe de apoio especializada em trabalhos em altura utilizando cesto aéreo.



**Figura 6.6.** Instalação dos isoladores e cabos para o novo poste. Fonte: Próprio Autor (2023)

O evento analisado poderia ter sido prevenido, uma vez que os galhos da árvore se encontravam além do limite seguro de proximidade da rede. Segundo a Norma NBR 15688 deve-se manter uma distância mínima de 7,5 metros na faixa de servidão para rede primária entre o eixo central da rede e a vegetação lateral. Assim a poda como manutenção preventiva, se preocupa em satisfazer a essa normativa. A ausência de manutenção preventiva ocasionou um incêndio que poderia ter adquirido proporções mais significativas, acarretando potencialmente em eventualidade fatal, além de ocasionar prejuízos materiais.

## 6.3. Estudo de caso: Análise de desligamentos após manutenção corretiva

No município de Vitória da Conquista, nas imediações do povoado Pé de Galinha, registrou-se um evento no qual uma árvore de Eucalipto caiu sobre a rede de distribuição, em decorrência de chuvas intensas com forte ventania, resultando na interrupção do fornecimento de energia elétrica. A localização precisa desse ocorrido pode ser observada na Figura 6.7.



Figura 6.7. Localidade da ocorrência registrada no povoado Pé de Galinha. Fonte: Google Earth.

Na Figura 6.8 é possível visualizar o Eucalipto que tombou sobre a rede trifásica de média tensão, tensionando os condutores e causando danos aos postes adjacentes à rede mencionada.



**Figura 6.8.** Eucalipto sobre linha de distribuição. Fonte: Próprio autor (2023).

Na Figura 6.9 pode-se observar o poste que se partiu ao meio devido a força de tensão exercida nos condutores.



**Figura 6.9.** Poste danificado. Fonte: Próprio autor (2023).

Na Figura 6.10 é possível observar um poste fletido com uma curvatura acentuada na iminência de rompimento também devido ao tensionamento dos cabos da rede.



**Figura 6.10.** Poste fletido devido a força de tração dos condutores. Fonte: Próprio autor (2023).

Para a realização da manutenção corretiva, geralmente uma equipe de manutenção de prontidão deve ser mobilizada para avaliar a magnitude do evento, identificar os pontos defeituosos e, se necessário, solicitar apoio de outro tipo de equipe para realização da manutenção. E só após inicia-se os procedimentos operacionais. Nesse caso, como a chave fusível a montante (W52460) já havia sido desarmada interrompendo 50 unidades consumidoras, a fim de diminuir tal impacto, foi necessário abrir um *jumper* na retaguarda do trecho defeituoso, consistindo em cortar os cabos da passagem do poste anterior que apresenta estrutura de

### 6.3. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE DESLIGAMENTOS APÓS MANUTENÇÃO CORRETIVA

ancoragem. Essa operação possibilita o fechamento da chave e, com isso, diminuir o número de clientes interrompidos de 50, para 33 unidades. Essa ação específica foi identificada no sistema GSE, conforme evidenciado na Figura 6.11.

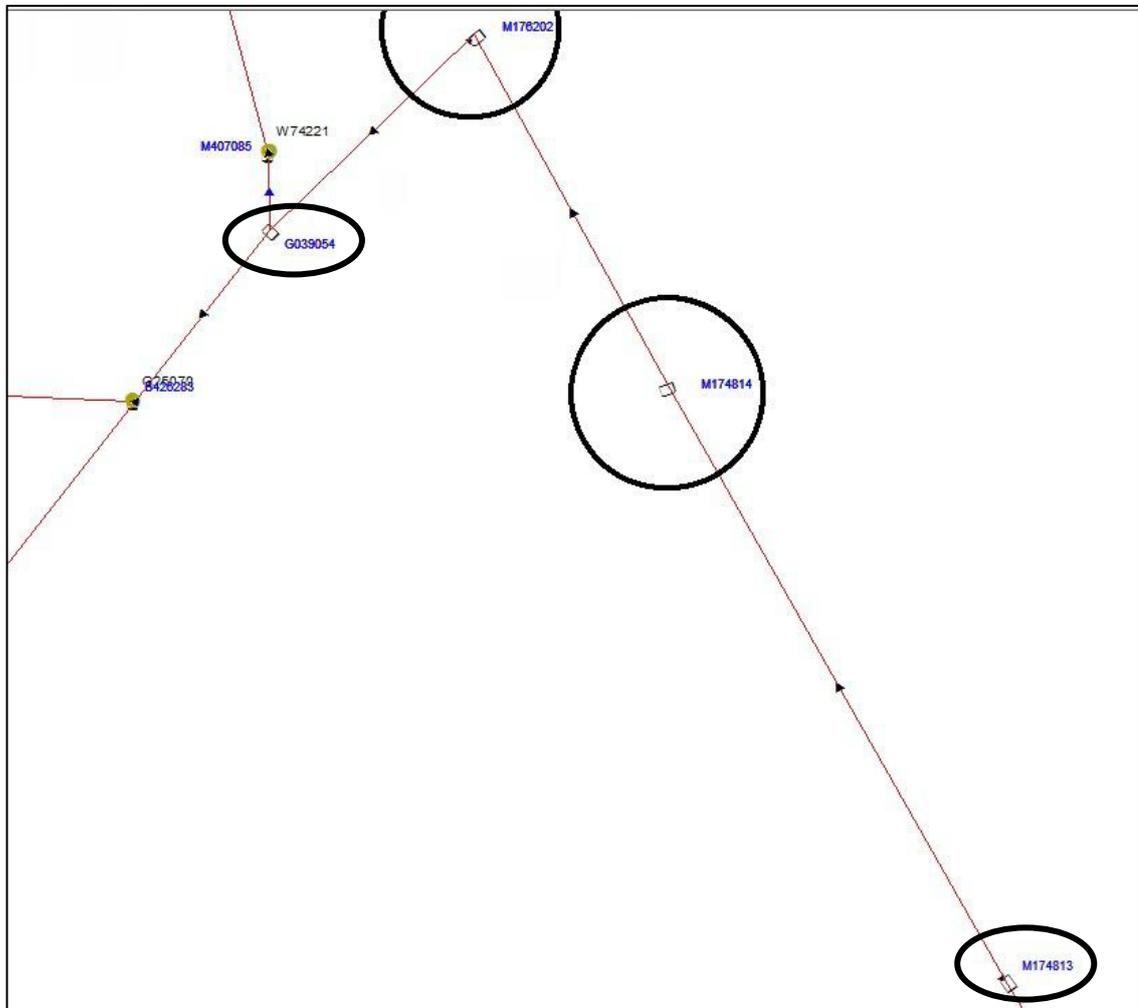


**Figura 6.11.** Circuito analisado no evento identificando o jumper aberto pela equipe. Fonte: GSE (2023).

Constatada a urgência para substituir dois postes, é feito o acionamento de uma equipe especializada em manutenção pesada, relatando a situação e os recursos necessários para a execução do serviço. Nessa situação, conforme os procedimentos de segurança, a equipe de manutenção pesada alocada deve fazer uma análise preliminar de risco (APR) relacionada com o tipo de atividade que será realizada. Nesse contexto, verificou-se que os condutores do jumper aberto não ofereceram segurança para tal intervenção e, dessa forma, é realizada abertura da chave fusível W52460 (voltando a interromper 50 unidades consumidoras) e instalados os pontos de aterramento nos postes G039054 e M174813. Na Figura 6.13 é possível identificar

### 6.3. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE DESLIGAMENTOS APÓS MANUTENÇÃO CORRETIVA

esses pontos de aterramento e os postes danificados que foram substituídos. O poste M176202 é do tipo DT em concreto 12 metros e 600 daN com estrutura N3-3. O poste M174814 é do tipo DT 11 metros e 400 daN com estrutura N1.



**Figura 6.12.** Identificação dos pontos de aterramento e postes danificados. Fonte: GSE (2023)

Ao analisar os dados dispostos na Tabela 5.4, foi possível calcular o CHI (Cliente Hora Interrompido) realizando a multiplicação da quantidade de clientes pelo tempo que ficaram interrompidos. Na Tabela 6.1 temos o valor do CHI calculado. O cálculo foi dividido em 3 partes, visto que inicialmente após o primeiro combate junto a operação da chave, houve dois transformadores (A03671 e A03670) que continuaram operando por algumas horas. Assim foi realizado o somatório de clientes que sofreram interrupção e foi obtido um valor de CHI total de 888,5.

**Tabela 6.1.** CHI calculado para o evento.

<b>Cientes Interrompidos</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>CHI Calculado (Clientes x tempo)</b>
50	3h46min (3,77)	188,5
33	14h28min (14,47)	477,5
50	4h27min (4,45)	222,5
<b>CHI TOTAL</b>		<b>888,5</b>

FONTE: COELBR.

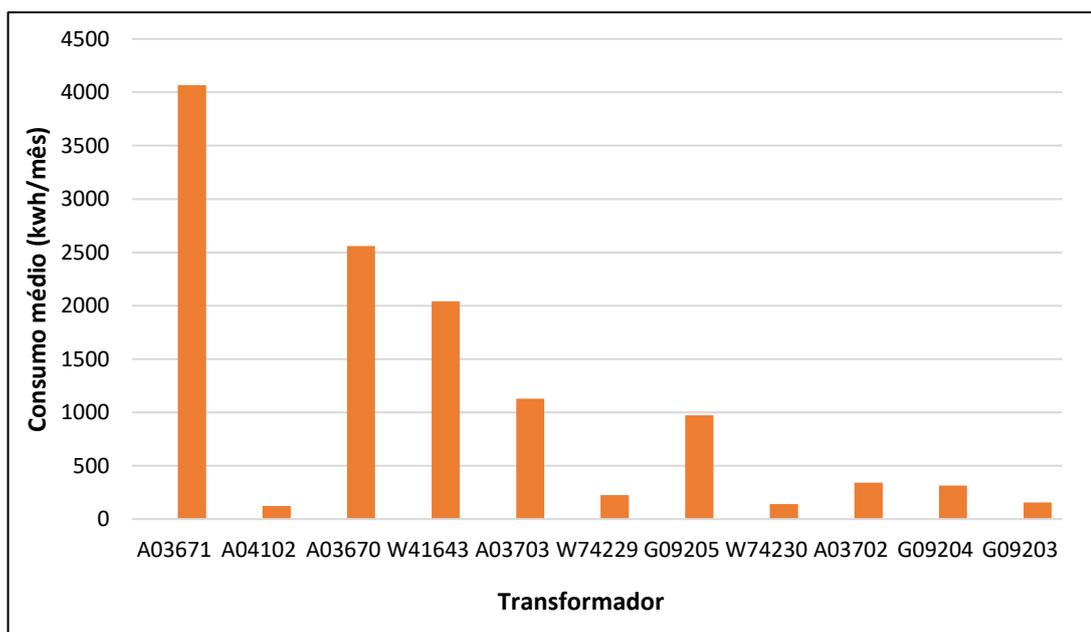
Ainda utilizando os dados da Tabela 5.4, é possível calcular a quantidade média de potência que deixou de ser utilizada pelos consumidores. Considerando o consumo médio mensal, multiplicando pelo tempo desligado e dividindo pelo total de horas em um mês (720 horas), obtemos o valor da quantidade média de energia que não foi fornecida e que pode ser encontrado na Tabela 6.2.

**Tabela 6.2.** Consumo médio interrompido.

<b>Transformador</b>	<b>UC</b>	<b>Consumo médio (kwh/mês)</b>	<b>Tempo Interrompido</b>	<b>Consumo médio interrompido (kwh)</b>
A03671	2	4068,5	08h13min	46,43
A04102	1	123,5	22h41m	3,89
A03670	15	2559,3	08h13min	29,21
W41643	1	2040,2	22h41m	64,28
A03703	3	1127,0	22h41m	35,51
W74229	3	223,7	22h41m	7,05
G09205	8	973,0	22h41m	30,65
W74230	1	139,7	22h41m	4,40
A03702	1	342,2	22h41m	10,78
G09204	11	313,8	22h41m	9,89
G09203	4	155,7	22h41m	4,91
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>12066,6</b>		<b>246,98</b>

FONTE: COELBR.

Os dados dispostos na Tabela 6.2 permitem demonstrar graficamente a média de consumo mensal de cada transformador interrompido, conforme apresentado no Gráfico 6.4.

**Gráfico 6.4.** Consumo médio mensal por transformador.

FONTE: COELBR

É possível perceber, ao analisar o Gráfico 6.4 e a Tabela 6.2, que os transformadores A03671 e A03670 apresentam os maiores valores em quantidade de consumo médio mensal. A soma do consumo médio desses dois transformadores representa 76,1% do total de consumo dos 11 transformadores apresentados, ou seja, 9187,1kwh/mês para um total de 12066,6kwh/mês. Além disso, pode-se verificar ainda na Tabela 6.2 que o tempo de interrupção desses dois transformadores foi de 8 horas e 13 minutos, significativamente menor em comparação aos outros que foram interrompidos por 22 horas e 41 minutos. Tais valores demonstram a importância da implementação de manobras que diminuam o impacto ocasionado por eventos inesperados. Neste cenário específico, embora tenham ocorrido consequências no fornecimento de energia, a abertura da passagem impediu uma perda ainda mais significativa no sistema, evitando uma interrupção que afetaria 76,1% da carga por um período adicional de 14 horas e 28 minutos. Em termos de consumo, essa ação evitou uma perda média de 134,29 kWh durante esse intervalo.

Um ponto a ser considerado é a distância da base para o local da ocorrência e o nível de dificuldade do serviço. Nesse caso específico, a equipe de manutenção deslocou e operou em um tempo consideravelmente rápido dada a proporção do

### 6.3. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE DESLIGAMENTOS APÓS MANUTENÇÃO CORRETIVA

evento, destacando a importância da qualificação e capacidade técnica dos profissionais que atuam no sistema elétrico de potência.

Ao examinar as causas e consequências do evento, verifica-se que uma simples inspeção e operação de poda poderiam evitar situações que oferecem riscos à segurança, danos estruturais, custos elevados de operação, além de impedir a perda do consumo de uma quantidade considerável energia. A ANEEL prevê que os consumidores têm direito ao ressarcimento em casos de interrupção por unidades consumidoras ou pontos de conexão, destacando a importância das manutenções preventivas e corretivas na rede de distribuição para garantir o fornecimento ininterrupto e a qualidade de energia elétrica.

# Capítulo 7

## Considerações Finais

Neste estudo, foi conduzida uma análise abrangente das manutenções corretivas e a importância das manutenções preventivas em redes de distribuição de energia elétrica na microrregião de Vitória da Conquista e Itapetinga, Bahia, em alinhamento com os objetivos delineados. A pesquisa envolveu a estratificação dos dados coletados, identificação das principais causas subjacentes e análise dos resultados obtidos. Os resultados apontam para a importância das manutenções preventivas, especialmente a poda de árvores próximas à rede.

As situações de manutenção corretiva, frequentemente desencadeadas por eventos como quedas de árvores, destacam a necessidade de prontidão e respostas eficazes para garantir a continuidade do fornecimento de energia. Essas descobertas fornecem *insights* valiosos para aprimorar a gestão da rede de distribuição, direcionando a implementação de medidas mais eficientes.

Em consonância com os objetivos delineados no trabalho, destaca-se como cada meta foi atendida nos resultados encontrados, em que se verificou os tipos de manutenções preventivas com maior demanda e analisou-se de maneira minuciosa os dados relacionados, além de identificar no estudo de caso os impactos causados pela falta de manutenção preventiva de poda, com foco nos procedimentos operacionais com interrupções de carga em intervenções corretivas. Tal abordagem proporcionou uma visão holística do estudo e contribuiu significativamente para a compreensão e aprimoramento da gestão de manutenção em redes de distribuição de energia elétrica destacando a importância de ações preventivas para assegurar um fornecimento contínuo e confiável de energia elétrica.

## Capítulo 8

# Sugestões para Trabalhos Futuros

Uma perspectiva valiosa para futuras investigações reside na análise aprofundada do impacto das práticas de manutenção preventiva na redução de interrupções no fornecimento de energia elétrica a longo prazo. Explorar como essas ações podem influenciar a estabilidade e confiabilidade da rede ao longo do tempo proporcionará *insights* fundamentais para aprimorar estratégias de manutenção sustentáveis. Considerando as crescentes preocupações sobre as mudanças climáticas, é necessário realizar pesquisas abrangentes sobre como essas transformações climáticas afetam as redes de distribuição de energia elétrica. Compreender os impactos potenciais dessas mudanças fornecerá uma base crítica para o desenvolvimento de medidas adaptativas e resistentes.

Além disso, uma análise detalhada da eficiência energética das redes de distribuição representa um campo relevante para estudos futuros. Identificar áreas específicas que podem ser otimizadas para melhorar a eficiência operacional e reduzir perdas de energia é crucial para aprimorar a sustentabilidade e a eficácia do sistema elétrico. Dessa forma, a pesquisa sobre a viabilidade e os benefícios do uso de drones para a inspeção de linhas de distribuição apresenta-se como um tópico importante. Investigar como essa tecnologia pode ser implementada de maneira segura e eficiente oferece a oportunidade de modernizar significativamente as práticas de inspeção e manutenção, promovendo a inovação no setor elétrico.

# REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Relatório Anual 2020. Brasília: ANEEL, 2020.

RICCI, F. **Origens e expansão da utilização da energia elétrica no Vale do Paraíba no Estado de São Paulo**. In: simpósio internacional eletrificação e modernização social, [s.d.], [s.l.]. Taubaté: Universidade de Taubaté (UNITAU), [s.d.]. Disponível em: <https://www.ub.edu/geocrit/II Simp-Eletr-SaoPaulo/FabioRicci.pdf> Acesso em: 01 de março de 2023

ASSISTORIA DE COMUNICAÇÃO DA ELETROBRÁS. **O panorama histórico e institucional do setor elétrico**. Fundação Centro de Formação do Servidor Público (FUNCEP), 1987. Revista do Serviço Público, ano 43, v. 114, n. especial, p. 133-135. Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/2806> Acesso em 01 de março de 2023

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). **Manutenção de Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 1ª ed. Brasília: SENAI/DN, 2014. 84 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/445227669/MANUTENCAO-DE-REDES-DE-DISTRIBUICAO-DE-ENERGIA-ELETRICA-SERIE-ELETROELETRONICA>. Acesso em: 02 outubro de 2023.

GOMES, A. C. S.; Abarca, C. D. G.; Faria, E. A. S. T.; Fernandes, H. H. O. **O setor elétrico**. In: SÃO PAULO, E. M.; KALACHE FILHO, J. (Org.). BNDES 50 anos: histórias setoriais. Rio de Janeiro: Dba, 2002. p. [321] -347. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13975/3/BNDES%2050%20anos%20-%20O%20setor%20el%C3%A9trico\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13975/3/BNDES%2050%20anos%20-%20O%20setor%20el%C3%A9trico_P_BD.pdf). Acesso em 02 de março de 2023

Brandi, P. **Energia elétrica no Brasil: breve cronologia do setor elétrico brasileiro**. Memória da Eletricidade, 2022. Disponível em: <https://memoriadaeletricidade.com.br/artigos/119106/energia-eletrica-no-brasil-breve-cronologia-do-setor-eletrico-brasileiro>. Acesso em 02 de março de 2023.

SCALETISKY, Eduardo Carnos. **Dois projetos para o Brasil: 1945-1954**. Porto Alegre, tese de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, 1988.

PROGRAMA DE METAS: **A meta de energia elétrica**. Rio de Janeiro, Conselho do Desenvolvimento da Presidência da República, 1957.

COGE SEF - 13/88. Análise e perspectivas da equalização tarifária. Comitê de gestão empresarial; Setor de energia elétrica; Subcomitê econômico-financeiro. 1998.

MME/ELETROBRÁS. **Plano Decenal de Expansão 2000/2009**. Brasília: MME/ELETROBRÁS, 1999.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Plano decenal de expansão de energia: 2021**. Brasília: MME, 2012. 386 p., il.

SIQUEIRA, Gustavo Silva. **Primarização de Equipe de Manutenção de Linhas de Distribuição de Energia**. 2011. 58 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

LIMA FILHO, Alcides da Silva. **Manutenção em redes de distribuição de energia elétrica**. 2015. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2015.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA – CELESC: Manual de procedimentos- Critérios para utilização de redes de distribuição, 2012.

CIPOLI; J. A. Engenharia de Distribuição. Rio de Janeiro: Quality Mark. 1993.

BRITO, M.L.S.; CASTRO, P.M. Viabilidade Econômica de Redes de Distribuição Protegidas. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, São Paulo, v. 2, n. 1, 2007.

PRAZERES, R. A. Rede de Distribuição de Energia Elétrica e Subestações. Coleção: Curso Técnico em Eletrotécnica, Curitiba: Base Editorial, 2008.

RIBEIRO, A. L. **Benefícios da rede de distribuição aérea compacta 15 kV**. Monografia de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade São Francisco, Itatiba-SP, 2008.

BURATTI, R., P. **Análise dos Indicadores de Continuidade de Fornecimento em um Sistema de Distribuição de Energia Elétrica – Alternativas Para Diminuição dos Índices em um Sistema de Distribuição Real.** Ijuí, 2005.

QUEIROZ, L. G. **Análise Regulatória de Alternativas Para Distribuição de Energia Elétrica na Rede Primária em Áreas Urbanas.** Dissertação de Mestrado do Departamento de Engenharia, UNIFACS. Salvador - BA, 2003.

VELASCO, G. **Arborização Viária X Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Avaliação de Custos, Estudo das Podas e Levantamentos de Problemas Fitotécnicos.** São Paulo - SP, 2003. Dissertação de Mestrado da Escola Superior de Agricultura.

MAMEDE J.; MAMEDE, D. - **Proteção de sistemas elétricos de potência.** Rio de Janeiro: LTC, 2013. ISBN: 978-85-216-2012-9

ELETROBRÁS. Comitê de Distribuição. **Proteção de sistemas aéreos de distribuição/ Centrais Elétricas Brasileiras - Eletrobrás.** Rio de Janeiro, 1982. Coleção Distribuição de energia elétrica; v.2. ISBN 85-7001-090-7

MAMEDE, J. **Manual de Equipamentos Elétricos** (4ª ed.). Rio de Janeiro: GEN Grupo Editorial Nacional.2013

MAIA, M. **Utilização de Relés Digitais para Comutação de Tensão em Subestações.** In: XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica SENDI. Pernambuco, 2008.

IBERDROLA, S.A. **Smart-Grids.**2023.

Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/nossa-atividade/smart-grids>

SOUZA, A. P, HOKAMA, W, SANTOS C.; BANAZI, G.; HAAS, P. **Self-Healing Semi-Centralizado e seus Benefícios para Clientes com Base Instalada,** XI SIMPASE,2015. Campinas – SP.

NEOENERGIA. **Tecnologia Self Healing Beneficia 472 Municípios Nas Áreas De Concessão Da Neoenergia, 2021.**

Disponível em:

<https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/tecnologia-self-healing-beneficia-472-municipios-areas-de-concessao.aspx> Acesso em: 08 de agosto de 2023

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **A Missão, a Visão e os Valores da ANEEL**. Disponível em: < <https://aneel.gov.br/missao-e-visao> >. Acesso em: 10 mar. 2023

VILLARES, R. M.; NAKANO, D. N. **A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa**. [S.l.: s.n.], 2000.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. da. **Metodologia Científica**. 6. ed. [S.l.: s.n.], 2007.

GARCES, S. B. B. **Classificação e Tipos de Pesquisas**. [S.l.: s.n.], 2010.

JOHNSON, R. B.; ONWUEGBUZIE, A. J.; TURNER, L. **Toward a definition of mixed methods research**. *Journal of Mixed Methods Research*, v. 1, n. 2, p. 112–133, 2007.

MERRIAM, S. B. **Qualitative research and case study applications in education**. 2. ed. [S.l.: s.n.], 1998.

TEIXEIRA, E. B. **A análise de dados na pesquisa científica: importância e desafios em estudos organizacionais**. *Desenvolvimento em Questão*, v. 1, n. 2, p. 177–201, 2003

MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 21. ed. [S.l.: s.n.], 1994.

MITCHELL, JOHN S. **Levantamento Eficiente das Condições de Máquinas visando um Desempenho Satisfatório em Produção Ininterrupta**. Apresentado na *84 convention on Advanced Maintenance Technology and Diagnostis Techniques*, *Institution of Diagnostic Engineers*, Londres, setembro 1984.

GOMES, G. F. e BARONI, T. D' AQUINO, **Manutenção Preditiva por Ferrografia**. Revista Mundo Mecânico, fevereiro de 1990(24 – 28).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5462, Confiabilidade. Rio de Janeiro, 1981. Pg. 17.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15688, Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus. Rio de Janeiro, 2012. Pg. 7.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de manutenção preditiva / Lauro Xavier Nepomuceno** – São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

LEÃO, Ruth. **Apostila sobre aspectos da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica** – GTD. UFC – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

