UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

GUILHERME HENRIQUE TRABUCO

DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFIABILIDADE EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO USANDO ANÁLISE DE TOPOLOGIA E DADOS HISTÓRICOS

Ilha Solteira
2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

GUILHERME HENRIQUE TRABUCO

DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFIABILIDADE EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO USANDO ANÁLISE DE TOPOLOGIA E DADOS HISTÓRICOS

Trabalho de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Prof. Dr. Jonatas Boas Leite
Orientador

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Trabuco, Guilherme Henrique.

T759d Determinação dos índices de confiabilidade em redes de distribuição usando análise de topologia e dados históricos / Guilherme Henrique Trabuco. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023

47 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Jonatas Boas Leite

Inclui bibliografia

1. Distribuição. 2. Análise de faltas . 3. Re-Alimentação. 4. Restauração.

Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos doze dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e três, o discente ***Guilherme Henrique Trabuco,*** matriculado sob o nº 172054974, tendo como banca examinadora o seu orientador, o *Prof. Dr. Jonatas Boas Leite, o Prof. Dr. Renzo Amilcar Vargas Peralta e o Doutorando Lucas do Carmo Yamaguti*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado **"Determinação dos Índices de Confiabilidade em Redes de Distribuição usando Análise de Topologia e Dados Históricos",** obtendo a nota 10,0 (DEZ) e conceito APROVADO.

Prof. Dr. Jonatas Boas Leite
- Orientador-

Guilherme Henrique Trabuco
- Discente -

Prof. Dr. Renzo Amilcar Vargas Peralta
- Membro da Banca -

Doutorando. Lucas do Carmo Yamaguti
- Membro da Banca -

Faculdade de Engenharia – Departamento de Engenharia Elétrica
Avenida Professor José Carlos Rossi, 1370 - CEP 15.385-000, Ilha Solteira - SP - Brasil
Tel (18) 37431150 - Fax (18) 3742-2735 - www.feis.unesp.br

DEDICO

A meus pais, Euclésio José Trabuco
e Maricéia Conceição Carvalho Trabuco.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Euclésio e Maricéia, por fazerem o possível e em muitas vezes o impossível, na busca de me colocar no caminho certo da vida, privando muitas vezes do próprio bem-estar, para me verem chegar onde estou chegando neste momento.

Á minha querida irmã, que em muitas vezes à distância, sempre me apoiou em minhas escolhas, e sempre discorreu de palavras de apoio para que eu não nunca desanimasse.

Aos meus amigos, pelos bons conselhos e a companhia valiosa em diversos momentos durante minha trajetória nesta universidade, com agradecimento especial ao Thiago por cumprir um papel importante de amigo e irmão, desde que deixei minha cidade natal para buscar melhores condições.

Ao meu professor orientador, Jonatas Boas Leite, por todo auxílio e suporte durante meu desenvolvimento neste trabalho de graduação e pela paciência por sempre ser convidado a conversar e alinhar pontos comigo.

Aos meus amigos e colaboradores da Siemens Energy, por compartilharem suas experiências desenvolvidas ao longo de suas carreiras na Engenharia Elétrica e em vida, em especial a Carolina Escarabelin, Tiago Reis, Caroline Rossler e Maria Eduarda, também pelas boas conversas e reflexões.

“A vida é apenas uma roda gigante, aproveite o alto com sabedoria e sofra nas baixas com esperança e força, por que a roda gigante sempre irá girar.”

Autor desconhecido.

RESUMO

Com o avanço das modalidades de geração de energia atualmente, aumentou-se o interesse da sociedade sobre a qualidade da distribuição e gerenciamento da energia elétrica. Ter-se o maior controle das restaurações que uma rede pode sofrer, tendo desastres naturais e expansões de cidades a todo momento, é visto como questão principal pelas industrias brasileiras de energia. A vulnerabilidade é vista como algo arcaico num ambiente que se atualiza e se moderniza todos os dias. Para isso, os estudos e modernizações voltados a eficiência na distribuição de energia aumentaram, com a implementação de novas tecnologias de controle e automação, além do condicionamento e processamento de dados. A arquitetura integrada de sistemas avançados de gerenciamento de distribuição e interrupção fornece reconhecimento situacional às redes de distribuição. O operador do sistema elétrico tem como principal atribuição a preservação das redes elétricas de energia em estado normal de segurança independentemente das variações das condições de operação ao longo do dia. Softwares e aplicativos de análise de segurança são artifícios que ajudam o operador nesta função. Assim que haja um evento de contingência, ou falta, o estado da rede pode mudar para estado de alerta, onde as violações dos limites operacionais podem ser corrigidas sem perdas de carga. À medida que a falta continua, o estado avança para um restaurativo onde nenhum limite de operação é violado, mas há perdas de carga e ações de manutenção corretiva são necessárias para trazer de volta o estado normal. O registro dessas faltas em bancos de dados, armazenando todas as informações, acontece, podendo haver indicadores sobre essas informações. Este trabalho procura demonstrar o cálculo de índices de confiabilidade dos alimentadores de distribuição, e em particular, os índices de continuidade do serviço de fornecimento através de transações em diferentes bancos de dados. Compreender a atividade dos dispositivos de manobra, que vão desde religadores a chaves seccionadoras, é primordial na análise de topologia que alicerça este cálculo.

Palavras-chave: Distribuição, Análise de Faltas, Re-alimentação, Restauração.

ABSTRACT

With the advancement of energy generation methods nowadays, society's interest in the quality of electricity distribution and management has increased. Having greater control over the restoration process that a network may undergo, considering natural disasters and urban expansions occurring constantly, is seen as a primary concern for brazilian energy industries. Its vulnerability is viewed as archaic in an environment that updates and modernizes itself every day. To address this, studies and modernizations focused on efficiency in energy distribution have increased, with the implementation of new control and automation technologies, as well as data conditioning and processing. The integrated architecture of advanced distribution management and interruption systems provides situational awareness of distribution networks. The primary responsibility of the electrical system operator is to preserve the energy networks in a normal state of security regardless of variations in operating conditions throughout the day. Security analysis software and applications are tools that assist the operator in this function. Once a contingency event or failure occurs, the network's state can shift to an alert state, where violations of operational limits cannot be corrected without load losses. As the fault persists, the state progresses to a restorative state where no operating limits are violated, but there are load losses, and corrective maintenance actions are required to restore the normal state. The recording of these faults in databases, storing all the information, takes place, allowing for indicators to be derived from this information. This work seeks to demonstrate the calculation of reliability indices for distribution feeders, specifically the indices related to service continuity through transactions in different databases. Understanding the activity of switching devices, ranging from reclosers to sectionalizers, is crucial in the topology analysis that underpins this calculation.

Keywords: Distribution, Fault Analysis, Re-energization, Restoration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação por equipamento de uma rede de distribuição 18
Figura 2 - Representação por seções de uma rede de distribuição 18
Figura 3 - Classes, subclasses e herança na linguagem UML 24
Figura 4 - Notação básica para relacionamentos de associação 24
Figura 5 - Exemplo de agregação por associação 25
Figura 6 - Exemplo de agregação por composição 25
Figura 7 - Diagrama de classes do modelo de dados para redes de distribuição 26
Figura 8 - Alimentador prático estudado..... 28
Figura 9 - Distribuição de unidades consumidoras 30
Figura 10 - Variação do DEC anual nos anos analisados 31
Figura 11 - Análise comparativa entre os anos de 2009 e 2015 32
Figura 12 - Comparativo entre o DEC de 2009 e a média dos anos 32
Figura 13 - Comparativo entre o DEC de 2015 e a média dos anos 33
Figura 14 - Variação do FEC nos anos analisados 34
Figura 15 - Comparativo do FEC nos anos de 2009 e 2015 34
Figura 16 - Comparativo do FEC em 2009 e a média dos anos 35
Figura 17 - Comparativo do FEC em 2015 e a média dos anos 35
Figura 18 - Análise da Soma DIC pelos anos em a seção 53 foi destaque 36
Figura 19 - Relação do DIC por unidade consumidora nos anos 37
Figura 20 - Relação Soma DIC por Soma FIC nos anos analisados 38
Figura 21 - Variação do DEC no decorrer dos meses nos anos 38
Figura 22 - Variação do FEC no decorrer dos meses nos anos 39
Figura 23 - Enfase nos meses de Fevereiro, Junho, Julho e Setembro ... 40
Figura 24 - Média do DEC nos meses analisados 40
Figura 25 - Análise dos meses com menor DEC mensal 41
Figura 26 - Análise dos meses com maior DEC mensal 42
Figura 27 - Foco nos meses de Fevereiro, Março, Julho e Setembro 42
Figura 28 - Média do FEC nos meses analisados 42
Figura 29 - Análise dos meses com menor FEC mensal 43
Figura 30 Análise dos meses com maior FEC mensal 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de continuidade individuais 23
Tabela 2 - Quantidade de unidades consumidoras por seção analisadas 30
Tabela 3 - DEC anual, trimestral e mensal, nos anos de 2009 à 2015 31
Tabela 4 - FEC anual, trimestral e mensal, nos anos de 2009 à 2015 33
Tabela 5 - Dados das seções mais afetadas no período analisado 36
Tabela 6 - Valores de DEC mensal no decorrer dos anos 38
Tabela 7 - Valores de FEC mensal no decorrer dos anos 39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANSI	*American National Standards Institute*
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AMMS	*Asset Management System*
BT	Baixa Tensão
DEC	Duração Interrupção Coletiva
DIC	Duração Interrupção Individual
DMS	Distribution Management System
FEC	Frequência Interrupção Coletiva
FIC	Frequência Interrupção Individual
GD	Geração Distribuída
MT	Média Tensão
NUC	Número de Unidades Consumidoras
OMS	*Outage Management System*
SCADA	*Supervisory Control and Data Acquisition*
SEE	Sistema Elétrico de Energia
UML	*Unified Modeling Language*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 Sistema de Gerenciamento de Ativos e Dados de Interrupção 13

1.2 Objetivos 14

1.3 Organização do Trabalho 14

2 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE CONFIABILIADE 16

2.1 Dispositivos de Proteção e Manobra 16

2.2 Seções ou Zonas 17

2.3 Análise de Confiabilidade 18

3 CÁLCULO DOS INIDICADORES DE CONTINUIDADE 21

3.1 Cálculos dos Indicadores de Continuidade do Serviço 21

3.2 Modelo de Dados e Algoritmo de Percurso 23

3.2.1 Modelo de Dados para Redes de Distribuição 23

3.2.2 Busca em Profundidade para Construção das Seções 26

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES 28

4.1 Alimentador de Distribuição 28

4.2 Cálculo dos Indicadores de Continuidade de Serviço 31

5 CONCLUSÃO 44

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações das grandes concessionárias de energia elétrica no momento atual é o controle das interrupções e falhas do sistema de distribuição. Em uma interrupção no serviço de fornecimento de energia, os clientes podem estar sujeitos aos impactos econômicos diretos medidos por meio da perda de rendimento, matéria-prima, horas trabalhadas e valor do estoque (PELEGRINI, et al., 2011). A interrupção de energia também pode causar impactos indiretos que se caracterizam pela perda de lazer, segurança e custo de oportunidade (CYRILLO, et al., 2009).

O bem estar do consumidor já é um assunto muito discutido ultimamente, e com o fornecimento de energia elétrica não é diferente. Ter uma boa imagem diante da comunidade, altamente engajada de hoje em dia, é fundamental para os negócios e para seus valores diante da bolsa de valores, por exemplo. A alta taxa de reclamações diante de subsequentes faltas e interrupções é uma grande oposição ao objetivo das concessionárias distribuidoras de eletricidade. A estimativa dos custos associados à interrupção é uma tarefa difícil que requer dados consideráveis sobre os clientes individuais e sobre o sistema de distribuição. Cerca de 80% das faltas ocorrem na rede de distribuição, onde aproximadamente 75%~90% são de natureza temporária (BAHMANYAR, et al., 2017). Por estes motivos, os religadores desempenham o importante papel de mitigar faltas temporárias no modo de disparo rápido. Se a falta se tornar permanente, o religador muda seu modo de operação, permitindo que os fusíveis mais próximos da falta derretam primeiro, minimizando o impacto no sistema.

As falhas permanentes, embora menos frequentes, têm maior impacto na interrupção do serviço para os clientes, aumentando drasticamente a quantidade de energia não fornecida. Durante faltas permanentes, as chaves automáticas, quando disponíveis na rede de distribuição, podem mudar seu estado pelo operador do sistema e transferir parte das cargas interrompidas, em seções de alimentadores não faltosos, para alimentadores vizinhos. Os métodos tradicionais de isolamento de faltas e restauração do serviço de abastecimento são essenciais para o planejamento de uma rede de distribuição para alcançar bons índices de confiabilidade. Os métodos de isolamento incluem a ação de disjuntores, religadores e fusíveis, enquanto os

métodos de restauração compreendem a operação manual e automática das chaves seccionadoras. Os índices de confiabilidade considerados no planejamento dos alimentadores de distribuição e regulamentados pela agência nacional de energia elétrica (ANEEL) incluem:

- DIC: duração da interrupção individual por unidade consumidora;
- FIC: frequência da interrupção individual por unidade consumidora;
- DEC: índice de duração média de interrupção do sistema;
- FEC: índice de frequência média de interrupção do sistema.

A ANEEL também define as informações que devem ser registradas para cada interrupção do serviço de fornecimento, que é caracterizada por ter uma duração igual ou superior à três minutos (ANEEL, 2022). As concessionárias distribuidoras devem, dessa forma, registrar as informações referentes às interrupções do serviço de fornecimento de eletricidade.

1.1. Sistema de Gerenciamento de Ativos e Dados de Interrupção

O sistema de energia elétrica (SEE) é dividido em gerenciamento elétrico e gerenciamento da informação. Os domínios físicos da cadeia de conversão de energia elétrica e as zonas hierárquicas de gerenciamento do processo de eletricidade são utilizados para auxiliar na integração das funções de supervisão e aquisição de dados (SCADA), gerenciamento da distribuição (DMS) e gerenciamento das faltas (OMS) nas diferentes zonas de processo. O sistema de gestão de ativos e manutenção (AMMS), por sua vez, é responsável por reunir todas as informações necessárias para gerenciar os ativos do sistema durante todo o ciclo de vida, apoiando a equipe de manutenção. Seu monitoramento das condições e o gerenciamento das equipes de campo completam a interação com os componentes de campo. Após a coleta de informações suficientes sobre uma falha ou trabalho de manutenção planejado, o OMS coordena as equipes de campo e comandos remotos para direcioná-las onde são necessárias. Para determinar os índices de confiabilidade, são realizadas transações de bancos de dados de diferentes serviços, como SCADA, DMS e AMMS, a fim de identificar as seções dos alimentadores de distribuição que foram interrompidas durante um evento de falta.

As relações entre os bancos de dados são estabelecidas seguindo os procedimentos de registro definidos pela ANEEL, que exigem a disponibilização de informações como a identificação da interrupção, data e horário do início e término, pontos de conexão envolvidos e fato gerador da interrupção.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como proposito o cálculo dos índices de confiabilidade do fornecimento de energia elétrica em redes de distribuição que são o DIC, FIC, DEC e FEC. Com a compreensão do funcionamento dos dispositivos de manobra na ocorrência de uma falta, além dos com o objetivo de isolamento da falta e restauração do serviço de fornecimento utilizando a transferência de cargas em sincronismo com alimentadores vizinhos, é calculado estes índices. Tendo os bancos de dados compostos por informações detalhadas sobre as faltas e interrupções, o levantamento dos índices se torna possível, e é muito importante para análises e tomadas de decisão das grandes fornecedoras de eletricidade. Estas informações devem ser mantidas durante dez anos.

Para atingir esse objetivo principal é necessário superar alguns objetivos mais específicos, tais como:

- Compreender as bases de dados com as informações dos equipamentos que constituem as redes de distribuição e dos históricos dos eventos de interrupção;
- Definir uma estrutura de dados para processamento das informações provenientes das bases de dados;
- Relacionar as formulações matemáticas de cálculo dos índices de confiabilidade com a estrutura da dados desenvolvida.

1.3 Organização do Trabalho

Neste primeiro capítulo é realizada uma contextualização introdutória do tema desenvolvido neste trabalho de graduação com a especificação dos objetivos global e específicos. O restante do conteúdo desenvolvido neste trabalho de graduação é apresentado nos capítulos subsequentes.

No capítulo 2 são apresentados conceitos importantes da literatura especializada que auxiliam no entendimento mais profundo do tema deste trabalho e das técnicas desenvolvidas para solucionar o problema estudado.

No capítulo 3 é, inicialmente, realizada uma descrição da forma de calcular os índices de confiabilidade para as concessionárias de distribuição como estabelecido pela ANEEL. Subsequentemente, apresenta-se a estrutura de dados para uma rede de distribuição genérica considerando seus principais componentes.

Nos dois últimos capítulos, 4 e 5, é dado ênfase, primeiramente, nos resultados do caso de estudo, em que foram aplicados os métodos desenvolvidos para calcular determinar os valores de DIC, FIC, DEC e FEC em um alimentador de distribuição, e, depois, são feitas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

2 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE CONFIABILIADE

2.1 Dispositivos de Proteção e Manobra

Os equipamentos do SDEE podem ser classificados como: manobra, proteção, correção e transformação dependendo das funções que desenvolvem nas redes. Os equipamentos de manobra são as chaves seccionadoras (óleo e facas) que permitem a transferência de cargas e a restauração rápida do serviço através da abertura e fechamento de circuitos. Equipamentos de proteção resguardam os sistemas de distribuição de sobrecorrentes e sobrevoltagens. Os dispositivos de proteção de sobrecorrente do sistema de distribuição de média tensão incluem disjuntores, religadores automáticos, corta-circuitos ou chaves-fusíveis e seccionalizadores automáticos (LEÓN, 2019). Esses elementos são descritos a seguir:

- Disjuntor: utilizado para energizar e interromper circuitos. Em condições de faltas, o disjuntor é comandado por relés de sobrecorrentes para abrir o circuito;
- Religador automático: é o dispositivo interruptor automático que abre e fecha seus contatos em um número predefinido de vezes em condições de sobrecorrentes, para eliminar falhas transitórias ou isolar falhas permanentes;
- Chave fusível: é o dispositivo constituído de um porta-fusível e demais partes destinadas a receber um elo fusível. No caso de uma condição de sobrecarga ou curto-circuito o elo fusível é aquecido e rompido pela passagem de sobrecorrente através dele, interrompendo o circuito;
- Seccionalizador automático: dispositivo projetado para interromper automaticamente o circuito que ele protege. Ele não interrompe correntes de falha, motivo pelo qual abre seus contatos quando o circuito é desenergizado por um equipamento de retaguarda, normalmente um religador.

Os fusíveis são os equipamentos mais básicos de proteção nas redes de distribuição. Quando uma falta ocorre a jusante de um fusível, a alta corrente de curto-circuito flui pelo circuito, aquecendo o elo fusível e fazendo com que ele derreta,

desenergizando as cargas a jusante (MENESES; MANTOVANI, 2013). Embora sejam úteis durante faltas permanentes devido ao seu baixo custo de aquisição, os fusíveis podem derreter desnecessariamente durante interrupções temporárias, desenergizando os clientes a jusante. Por isso, os religadores têm um papel importante nas redes de distribuição por meio do esquema fuse-save.

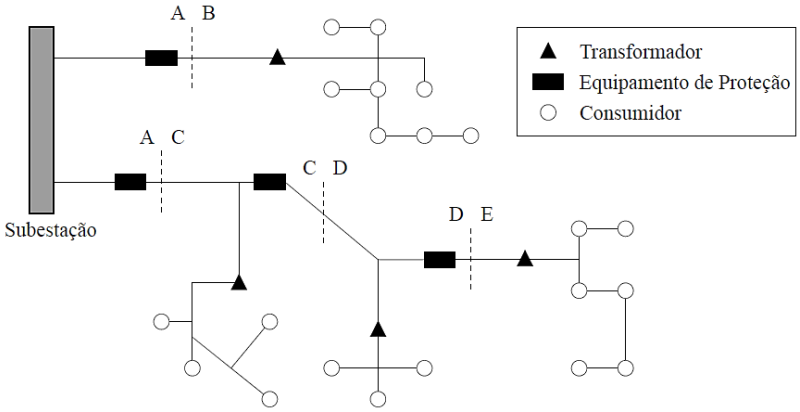
O esquema de queima de fusível derrete o fusível antes do disparo dos religadores, o que pode aumentar o DEC. Este esquema é usado em regiões com altas correntes de curto-circuito onde a coordenação não pode ser realizada. O religador é um dispositivo de chaveamento automático que possui relés de sobrecorrente instantâneos e temporários (ANSI 50/51) e um relé de religamento (ANSI 79). O religador abre o circuito para reduzir a propagação da falta, e o circuito permanece aberto até que a equipe de manutenção corretiva remova o problema. Durante faltas temporárias, a zona de proteção do religador é expandida sobrepondo a zona de proteção dos fusíveis a jusante (PEREIRA, et al., 2018). Esse esquema protege o fusível de derretimento durante faltas temporárias.

2.2 Seções ou Zonas

Em um alimentador de distribuição o conjunto de trechos e equipamentos que estão entre chaves de manobra ou proteção adjacentes é definido como uma seção ou zona (JEN-HAO TENG; CHAN-NAN LU, 2002). As fronteiras ou limites dessas zonas são os dispositivos de proteção e manobra (ou chaves) que devem isolar setores do alimentador de forma automática ou manual durante uma falha. Devido à topologia radial das redes de distribuição, se qualquer equipamento de uma seção falhar, o dispositivo de proteção de retaguarda é ativado provocando a perda do fornecimento de eletricidade em toda a parte da rede que está a jusante do dispositivo de proteção. Assim, a parte da rede mais próxima das subestações é mais importante que aquela mais distante, pois suas falhas provocam uma interrupção que afeta uma maior quantidade de consumidores. A carga equivalente de cada seção é obtida pela somatória das cargas individuais dentro da zona (LEÒN, 2019).

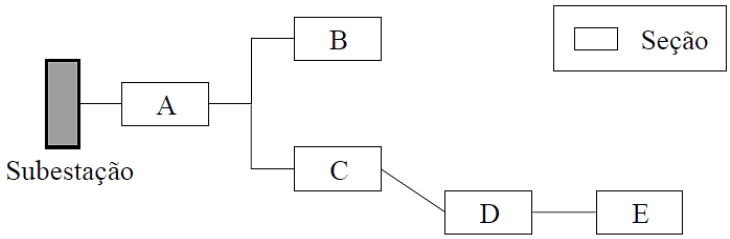
Na Figura 1 é apresentada a topologia de um sistema de distribuição com dois alimentadores e quatro equipamentos de proteção. A rede está dividida nas seções A, B, C, D e E, delimitadas pelas linhas pontilhadas. Na Figura 2 mostra-se a mesma rede dívida em seções.

Figura 1 – Representação por equipamento de uma rede de distribuição



Fonte: Reis (2007).

Figura 2 – Representação por seções de uma rede de distribuição



Fonte: Reis (2007).

Como mostrado na Figura 2, as seções são delimitadas pela localização dos dispositivos de proteção e manobra, pois esses equipamentos determinam o impacto de qualquer interrupção. Portanto, a determinação das zonas é fundamental na análise da confiabilidade do sistema de distribuição.

2.3 Análise de Confiabilidade

A capacidade da rede de distribuição de fornecer energia ininterrupta a seus clientes em um nível predeterminado de qualidade e segurança é definida como confiabilidade, que está associada a capacidade de um sistema de realizar um fornecimento adequado de energia elétrica enquanto satisfaz os requisitos de custo da forma mais econômica possível com um nível razoável de continuidade e qualidade.

Existem várias razões para fazer a análise de confiabilidade:

- Caracterizar as medições de confiabilidade para um único cliente ou para todo o sistema de forma satisfatória;
- Caracterizar a confiabilidade usando índices de confiabilidade;
- Determinar o custo de confiabilidade ou desempenho sujeito a um orçamento base;
- Determinar o valor da confiabilidade e seu impacto no custo em relação as melhorias no sistema.

A predição de mudanças na confiabilidade pode resultar em mudanças no projeto, operação e manutenção de um sistema de distribuição. A análise de confiabilidade pode auxiliar na identificação de pontos fracos no projeto, operação ou manutenção; identificação das causas dominantes de falta de confiabilidade; ou verificação de melhorias importantes, como poda de árvores ou substituição de isoladores quebrados e aterramentos ausentes. Essencialmente, os índices de confiabilidade são obtidos para comprir os requisitos de relatórios regulatórios, como os da ANEEL.

Na maioria dos casos, as análises de confiabilidade são baseadas em interrupções forçadas, que podem ser temporárias ou transitórias, dependendo da duração da interrupção e das providências que devem ser tomadas para eliminá-la. Alguns eventos de falta são aleatórios e, portanto, a análise de confiabilidade também pode ser baseada na probabilidade de eventos conhecidos e desconhecidos.

As concessionárias geralmente mantêm registros de várias interrupções que ocorreram no sistema. As avaliações computacionais de confiabilidade envolvem o uso de tais informações de interrupção para determinar os índices de confiabilidade que podem ser usados para avaliar o desempenho do sistema no passado. Essas avaliações também são comumente usadas para avaliar a confiabilidade do sistema anualmente para a ANEEL.

Os índices de confiabilidade são calculados pelo *software* do sistema de gerenciamento de interrupções (OMS). Esses sistemas normalmente registram interrupções em termos de localização, data/hora, componentes com falha, frequência de ocorrência, número de clientes afetados, carga interrompida, tempo para restaurar o serviço, tempo para reparar ou substituir componentes com falha, causa de

interrupções ou anomalias, entre outros. Os índices de confiabilidade são calculados com base em eventos históricos classificados nas seguintes categorias de interrupção:

- Manutenção: interrupções causadas por vegetação, animais ou erro humano; tais interrupções indicam a necessidade de ações corretivas ou melhorias de manutenção no sistema;
- Falha de componente: interrupções afetadas pela confiabilidade de componentes individuais, como fusíveis, religadores automáticos, interruptores, contatores, transformadores, etc. A falha pode ser classificada com base nos componentes que falham e causam uma interrupção;
- Clima: interrupções causadas pelas condições climáticas predominantes no sistema. O uso de um índice de confiabilidade pode ajudar a minimizar os danos ao sistema;
- Duração da interrupção: os índices de confiabilidade baseados na duração da interrupção são úteis para determinar o impacto na confiabilidade da melhoria com componentes de manobra, instalando religadores, chaves automatizadas ou mudanças na reconfiguração ou restauração da rede que pode melhorar a confiabilidade do sistema a um custo ideal;
- Localização da interrupção: índices de confiabilidade baseados em áreas de serviço regionais e distritos (por exemplo, áreas urbanas e rurais) são usados para determinar onde melhorias futuras devem ser aplicadas.

3 CÁLCULO DOS INIDICADORES DE CONTINUIDADE

Inicialmente apresentam-se os procedimentos estabelecidos pela ANEEL no cálculo dos índices de continuidade: DIC, FIC, DEC e FEC. Os indicadores de continuidade são objeto de estudo deste trabalho, pois levantam exatamente os pontos que devem ser analisados usando o banco de dados em consulta. O conceito de ações dos principais dispositivos de manobra para isolar uma seção com incidência de falta e para restaurar as cargas interrompidas para as seções laterais também é levado em conta. Essa abordagem busca aproximar-se da forma em que uma concessionária distribuidora de energia elétrica faz a gestão das atividades de manutenção e o seu registro de interrupções, dentro da coleta de informações.

3.1 Cálculos dos Indicadores de Continuidade do Serviço

Como comentado anteriormente, é pelo controle das interrupções e da apuração dos indicadores de continuidade de serviço, que os participantes da distribuição de energia elétrica, como as distribuidoras, os consumidores, as centrais geradoras e a ANEEL, avaliam a qualidade do serviço prestado e seus desempenhos dentro do sistema elétrico. Eles se baseiam, basicamente, na duração e na frequência das interrupções, em tem uma rotina mensalmente apurada. Dois indicadores de continuidade individuais definidos em (ANEEL, 2022) são:

i. Duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, DIC:

$$DIC = \sum_{i=1}^{N} t(i) \qquad (01)$$

Com *i* sendo o índice de interrupções da unidade consumidora ou por ponto de conexão no período de apuração, variando de 1 a *n*;
N o número de interrupções da unidade consumidora ou por ponto de conexão considerado, no período de apuração;
t(i) o tempo de duração da i-ésima interrupção da unidade consumidora considerada ou do ponto de conexão, no período de apuração.

ii. Frequencia de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, FIC:

$$FIC = n \tag{02}$$

Com esses indicadores, se torna possível calcular o DEC e o FEC, que nada mais são que os indicadores coletivos. Eles devem ser apurados para cada conjunto de unidades consumidoras. Eles são definidos em (ANEEL, 2022):

iii. Duração Equivalente de Interrupção por unidade consumidora, DEC:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} DIC(i)}{NUC} \tag{03}$$

Sendo NUC o número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em baixa (BT) ou média tensão (MT);

iv. Frequencia equivalente de interrupção por unidade consumidora, FEC:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} FIC(i)}{NUC} \tag{04}$$

Constam também limites índices de continuidades individuais para as unidades consumidoras e centrais geradoras. Na tabela 01 constam estes limites para unidade consumidora ou central geradora situada em área urbana com tensão contratada menor que 2,3 kV. Os limites dos indicadores DIC são vinculados ao limite anual do indicador DEC, enquanto os limites do indicador FIC são vinculados ao limite anual do indicador FEC.

Via de regra, assim que apresentado violação do limite de continuidade individual dos indicares DIC e FIC, deve haver compensação ao consumidor ou central geradora e a efetuação de crédito na fatura apresentada em até 2 meses após o período de apuração.

Tabela 1 – Limites de continuidade individuais

Faixa de Variação dos Limites Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC e FEC)	DIC Mensal (horas)	FIC Mensal (interrupções)
≥ 5	4	3
$> 5\ e\ \leq 10$	7	4
$> 10\ e\ \leq 15$	10	5
$> 15\ e\ \leq 20$	12	6
$> 20\ e\ \leq 25$	14	7
$> 25\ e\ \leq 40$	15	7
$> 40\ e\ \leq 50$	18	8
> 50	21	9

Fonte: ANEEL (2022)

3.2 Modelo de Dados e Algoritmo de Percurso

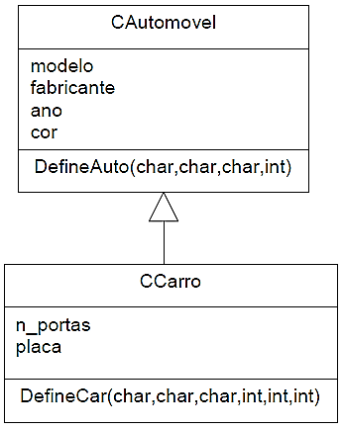
No estudo do comportamento de grandezas e medições no contexto da engenharia elétrica, é necessário definir um modelo de dados que possa ser utilizado para viabilizar o processamento dessas grandezas em linguagens de programação presentes nos sistemas de computação modernos. Isso facilita as operações matemáticas e estatísticas com grandes volumes de dados coletados, bem como o uso de algoritmos que permitem a recursividade.

3.2.1 Modelo de Dados para Redes de Distribuição

Desenvolvida com o conceito de herança, a linguagem de modelagem unificada (UML) possibilita que uma subclasse herde as mesmas características de sua classe pai e, adicionalmente, tenha suas próprias características exclusivas, conforme exemplificado na Figura 3.

É possível obsevar que a classe principal é “*CAutomóvel*” e possui características como “*modelo*”, “*fabricante*”, “*ano*” e ”*cor*” sendo sua subclasse “*CCarro*” dotado destas mesmas características e também de suas próprias características, sendo “*n_Portas*” e “*placa*”, respectivamente. No nível abaixo, é possível perceber ainda que uma subclasse pode não possuir nenhuma característica própria mas obrigatoriamente herdará características de outras classes.

Figura 3 – Classes, subclasses e herança na linguagem UML



Fonte: McMORRAN, (2007).

Além da herança, a linguagem UML possui outros tipos de relações, sendo Agregação e Composição as mais relevantes no contexto deste trabalho:

- Associação: Uma característica marcante da associação é a multiplicidade, como exemplificado na relação entre CinterfSecretaria e CAluno, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Notação básica para relacionamentos de associação

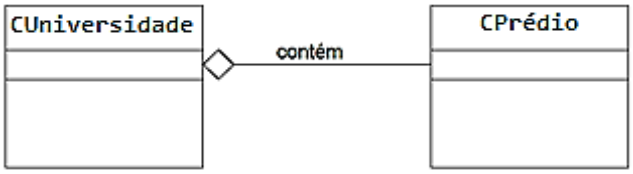
Fonte: adaptado de McMorram, (2007).

- Agregação: Nessa relação, as classes envolvidas não são completamente dependentes uma da outra. Por exemplo, um edifício pode fazer parte de zero ou mais universidades, e uma universidade pode conter zero ou mais edifícios. Isso indica que uma entidade pode existir sem a presença da outra (ver Figura 5);

- Composição: Essa relação representa uma dependência total entre as classes. Por exemplo, um quarto ou uma sala precisa pertencer exclusivamente a uma construção, pois não é possível que dois prédios diferentes tenham o mesmo quarto. Por outro lado, um prédio ou uma

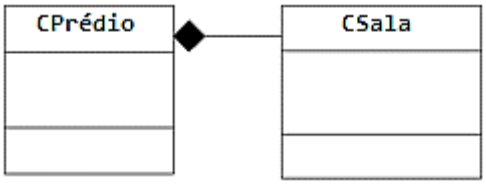
construção pode ter um ou mais quartos. Essa relação é mais forte e indica uma dependência mais estreita entre as classes (ver Figura 6).

Figura 5 – Exemplo de agregação por associação



Fonte: adaptado de McMorran, (2007).

Figura 6 – Exemplo de agregação por composição

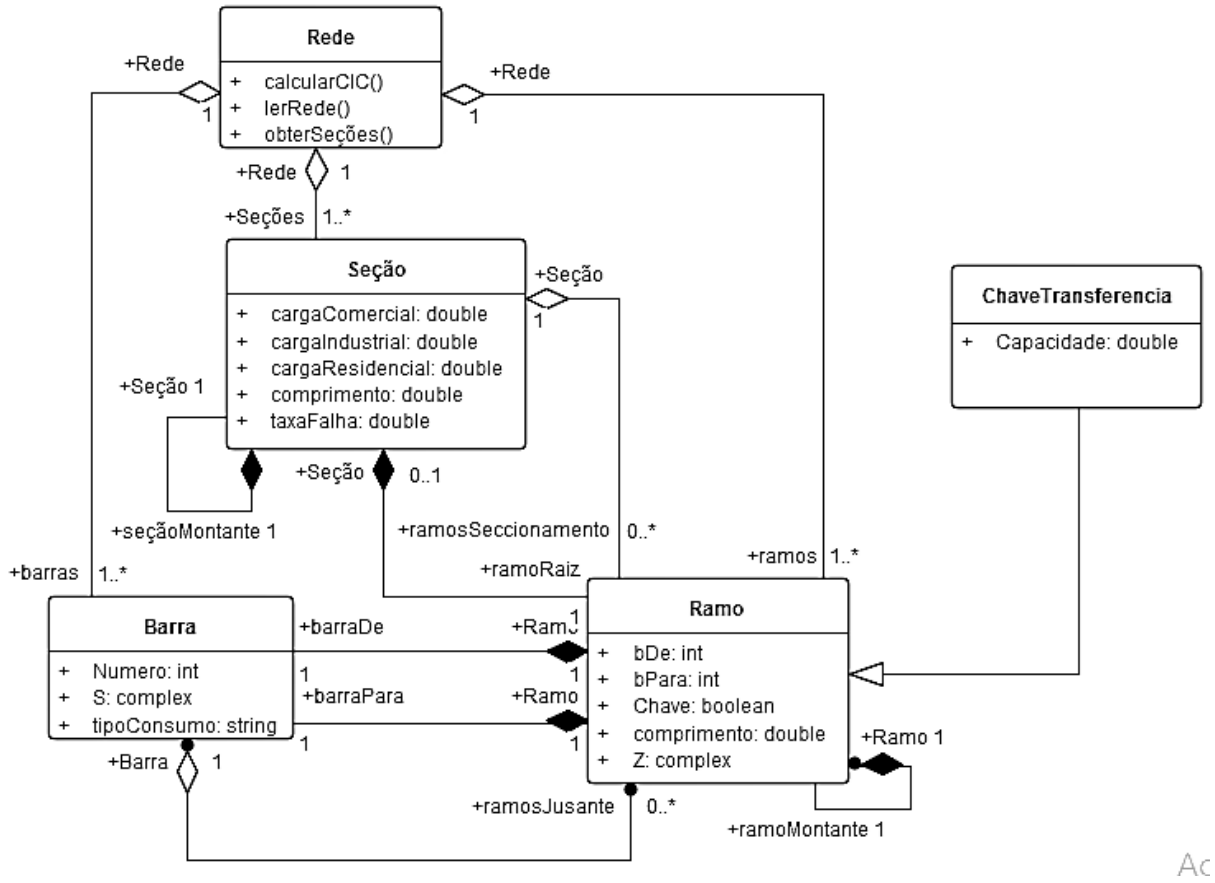


Fonte: adaptado de McMorran, (2007).

Com as definições da UML e dados disponíveis de um alimentador de distribuição tem-se uma estruturação de dados realizada de forma semelhante às normas IEC 61970 e IEC 61968. No modelo de dados, verifica-se a existência de três classes básicas “*Rede*”, “*Barra*” e “*Ramo*”. Adicionalmente, existem as relações de Agregação e Composição entre essas classes. Uma rede de distribuição está agredada a um número finito de barras e ramos, ao passo que um ramo é composto por uma barra de origem “*barraDe*” e outra de destino “*barraPara*”. Consequentemente, uma barra é composta por nenhum ou um número finito de ramos à jusante “*ramosJusante*”.

Na análise de confialibilidade para calcular os valores dos indicadores de continuiadade de serviços são adicionadas mais duas clases, “*Seção*” e “*Chavetransferência*” no modelo de dados. A rede contém uma ou mais seções que possui ramos com chaves em suas fronteiras, ou seja possui os atributos um ramoRaiz e nenhum ou muitos ramosSeccionamento. A segunda classe adicionada é do tipo ramo herdando todos os seus atributos com um atributo adicional que representa a capacidade de transferência para o alimentador lateral. O diagrama de dados proposto é apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Diagrama de classes do modelo de dados para redes de distribuição.



Fonte: Próprio autor

3.2.2 Busca em Profundidade para Construção das Seções

Uma rede de distribuição pode ser matematicamente representado por um grafo seja no nível dos equipamentos elétricos ou no nível das seções. O algoritmo de busca em profundidade é um método bastante eficiente para percorrer grafos. No algoritmo de busca em profundidade, existe a seguinte lógica, cada vértice *v* é visitado e, em seguida, cada vértice não visitado adjacente ao vértice *v* é visitado. Caso algum vértice *v* não tenha vértices adjacentes a ele ou todos os vértices adjacentes tenham sido visitados, retorna-se ao predecessor de *v*.

A busca é concluída se esse processo de visita e retrocesso levar ao primeiro vértice onde a travessia, ou busca começou. Caso ainda haja alguns vértices não visitados no grafo, a busca continua reiniciando para um dos vértices não visitados.

Adicionalmente, mas embora não seja necessário para o resultado adequado deste método, o algoritmo atribui um número único a cada vértice visitado de forma que os vértices sejam renumerados. Isso é útil para aplicações posteriores do algoritmo.

Algoritmo 1 – Pseudocódigo do método de busca em profundidade.

```
1- BEP(v)
2-  num(v) = i+1;
3-  para todos vértices u adjacentes à v
4-   se num(u) é igual a 0
5-    Adicionar a aresta (uv) em arestas
6-    BEP(u)
7-   fim se
8-  fim para
9- fim BEP()
```

```
10- BuscaEmProfundidade(v)
11- para todos vértices v
12-  num(v) = 0
13- fim para
14- arestas = vazio
15- i = 1
16- enquanto exitir v tal que num(v) é 0
17-  BEP(v)
18- fim enquanto
19- fim BuscaEmProfundidade()
```

Fonte: adaptado de DROZDEK (2012)

Este algoritmo garante a geração de uma árvore que inclui ou se estende por todos os vértices do grafo original. A árvore que atende a essa condição é chamada de árvore geradora. Uma árvore gerada é verificada pelo fato de que o algoritmo não inclui na árvore resultante nenhuma aresta que conduza do vértice atualmente analisado a um vértice já analisado.

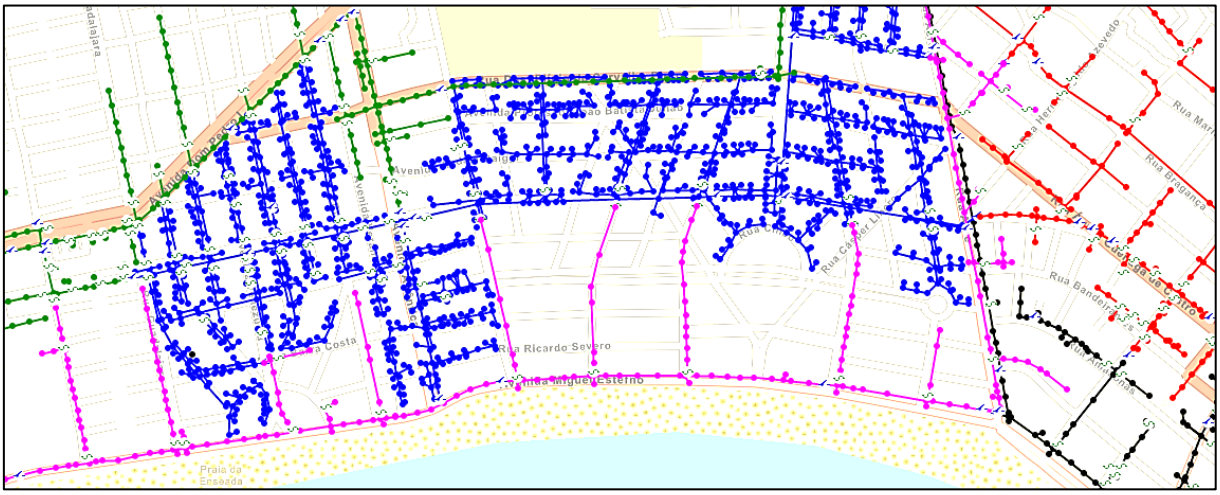
Na leitura dos dados são construídos os objetos para rede, barras e ramos juntamente com suas relações. Aplicando o algoritmo de busca em profundidade nesta rede no nível dos equipamentos elétricos é possível construir as seções dos alimentadores encontrando os ramo raiz e de seccionamento das seções, ambos compostos por dispositivos de manobra como religadores e chaves de secionamentos. Portanto, conhecido o ramo em falta é possível definir a seção em falta e todas a seções com fornecimento interrompido devido ao evento de falta. Isso possibilita o cáculos dos indicadores de continuidade.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Alimentador de Distribuição

Para que fossem realizados os cálculos dos indicadores de continuidade de serviço com estabelecido pela ANEEL, adotou-se como caso de estudo o alimentador real com sua topologia representada na Figura 8. A imagem é de um alimentador de distribuição real presente na área de concessão de uma empresa distribuidora de eletricidade no Brasil. Este alimentador, destacado na cor azul, opera em 13,8kV, trifásico, possui possibilidade de reconfiguração com outros 7 alimentadores vizinhos, alguns deles destacados na Figura 8 com as cores verde, magenta, preto e vermelho. Este circuito de alimentação tem sido usado por pesquisadores do Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica na UNESP – Ilha Solteira, Brasil, para conduzir estudos e análises de técnicas e algoritmos relacionados aos problemas envolvendo sistemas de distribuição, como confiabilidade de fornecimento, distribuição ótima de dispositivos de proteção e controle e detecção de faltas.

Figura 8 – Alimentador prático estudado



Fonte: Próprio autor

Além do diagrama da posicionamento geográfico do alimentador, há a necessidade de uma descrição quantitativa para melhar caracterizar o alimentador. Na Tabela 1 são apresentadas algumas informações do alimentor.

Tabela 1 – Dados descritivos sobre o sistema.

Dados descritivos	
Ramos	1805
Barras	1806
Seções	58
n° de unidades consumidoras	24098

Fonte: Próprio Autor

O que já se pode notar, é que tem-se um SEE muito vasta, com grande número de consumidores, com uma média de 415 e mediana de 241,5 unidades consumidoras por seção. Tem-se também uma grande quantidade de ramos e barras, o que demonstra que a análise via programação em software torna possível algumas análises, que com sua ausência, teriam uma gigantesca dificuldade.

Ainda sobre as unidades consumidoras por seção, levantou-se na Tabela 2, a descrição de todas as seções e suas unidades consumidoras, que também auxilia nas análises a posteriori.

É possível observar que há muitas seções com valor nulo de unidades consumidoras, o que mostra em realidade que estamos trabalhando muito próximo sobre um estudo real de caso, devido as redes das cidades reais conterem, em sua maioria, casos onde há expansões e fins de linha, que constem com nenhum consumidor também. Em contra partida a isso, tem-se que sinalizar a seção com maior quantidade de unidades consumidoras sendo a seção 12, com 2328 unidades consumidoras.

É importante para a concessionária, levantar essas informações, pois sabendo as seções com mais clientes instalados, pode-se ter mais atenção e cuidado a estes pontos da rede, a fim de não impactar uma parcela tão significativa da cidade. Para ficar palpável a interpretação, apenas a seção 12 já é equivalente a mais de 10% de toda a rede analisada. Podemos analisar a distribuição do total de unidades consumidoras nas seções abordadas mais visivelmente no Figura 9

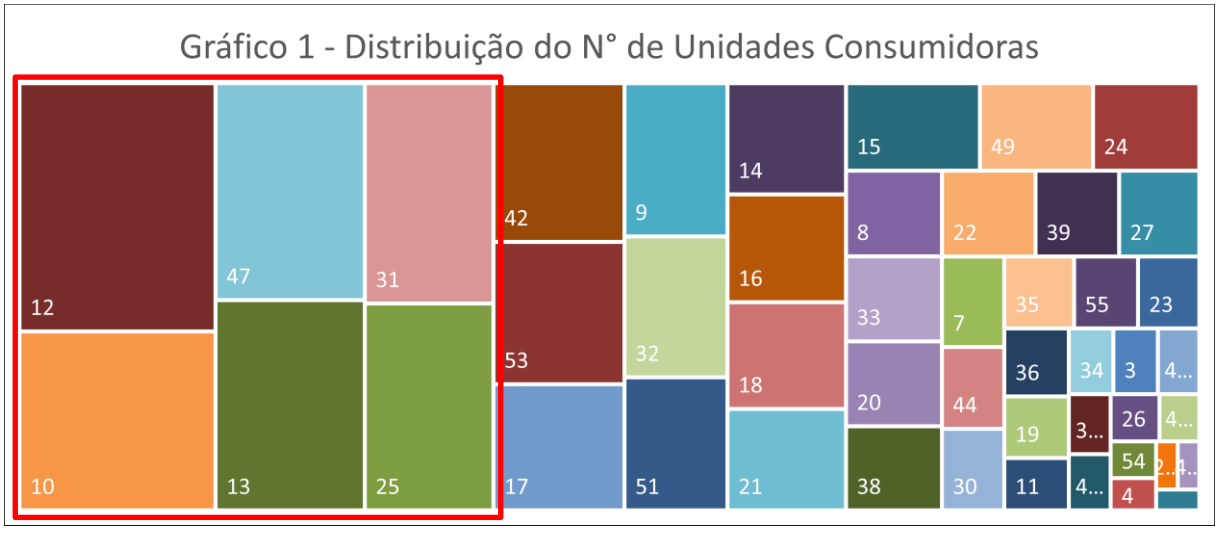
Com este gráfico, pode-se observar mais facilmente que praticamente 40% de todo o número de possíveis clientes na rede em análise, estão nas seções a esquerda do gráfico: a seção 12, 10, 47, 13, 31 e 25.

Tabela 2 –Quantidade de unidades consumidoras por seção analisadas.

Quantidade de Unidades Consumidoras (Nuc) x Seção					
Seção ID	**N° de Unidades Consumidoras**	**Seção ID**	**N° de Unidades Consumidoras**	**Seção ID**	**N° de Unidades Consumidoras**
0	21	20	390	40	11
1	0	21	574	41	112
2	0	22	384	42	994
3	140	23	211	43	131
4	70	24	445	44	244
5	0	25	1273	45	90
6	0	26	110	46	50
7	270	27	330	47	1547
8	394	28	0	48	11
9	755	29	50	49	472
10	1678	30	243	50	0
11	161	31	1356	51	655
12	2328	32	695	52	0
13	1499	33	390	53	891
14	630	34	140	54	80
15	560	35	240	55	220
16	610	36	210	56	0
17	790	37	120	57	0
18	604	38	386		
19	190	39	343		

Fonte: Próprio Autor

Fgura 9 – Distribuição de unidades consumidoras



Fonte: Próprio autor.

4.2 Cálculo dos Indicadores de Continuidade de Serviço

Com base nos dados do alimentador, são calculados e analisando os índices de confiabilidade, DIC, FIC, DEC e FEC para os anos de 2009 à 2015. As informações sobre o DEC e FEC são a base para as analises e comparações necessárias, na intenção de alcançarmos as conclusões esperadas deste trabalho. Para isso, os primeiros dados coletados foram as taxas estatísticas do DEC anual, trimestral e mensal no período de estudo. Na Tabela 3, é possível observar os valores calculados.

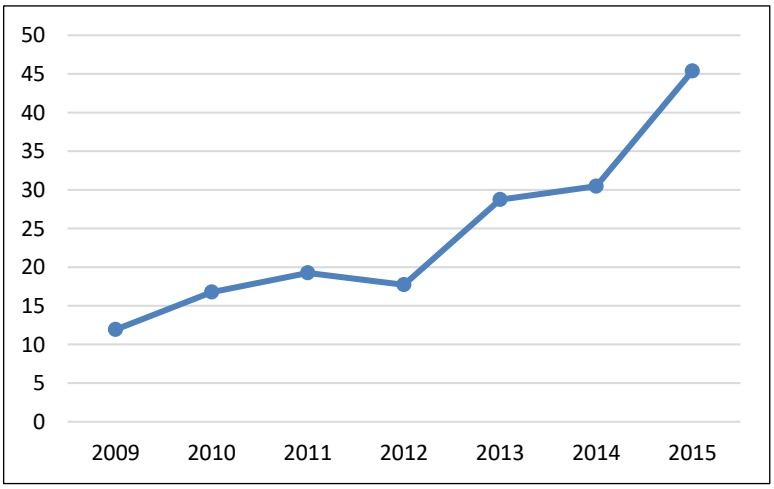
Tabela 3 – DEC anual, trimestral e mensal, nos anos de 2009 à 2015.

	Anual	Trimestral	Mensal
2009	11,9186	3,9532	2,7237
2010	16,7684	5,8983	3,2207
2011	19,253	7,2192	5,3163
2012	17,722	6,9539	3,8704
2013	28,7346	13,4476	5,4931
2014	30,461	9,3293	3,7011
2015	45,3745	18,9719	11,9329

Fonte: Próprio autor

Essa mesma variação do DEC anual é apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Variação do DEC anual nos anos analisados

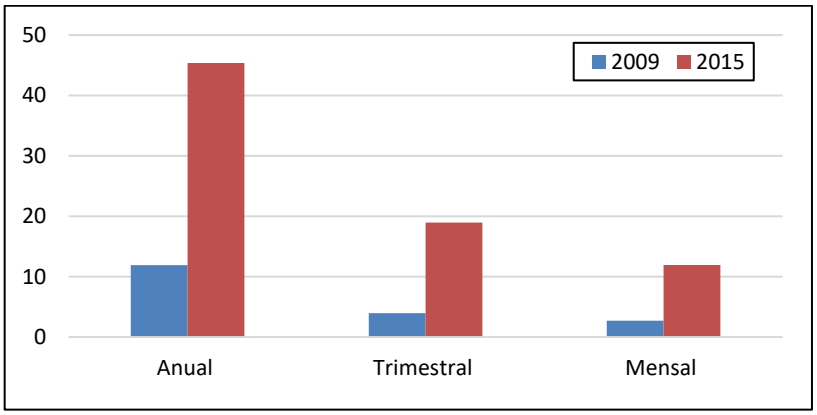


Fonte: Próprio autor.

Pode-se observar que a tendencia foi de crescimento dentro dos anos analisados, e entrando com mais detalhe neles, pode-se fazer uma análise mais

específica entre o ano com maior índice e menor índice. Na Figura 11, pode se observar a comparação entre esses anos para valores anual, trimestral e mensal.

Figura 11 – Análise comparativa entre os anos de 2009 e 2015.

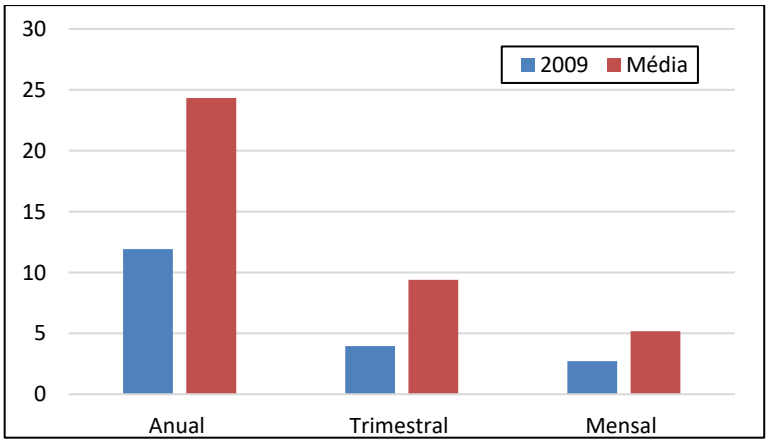


Fonte: Próprio autor.

Pode-se observar que a comparação demonstra uma diferença de quase três vezes maior no ano de 2015 em relação a 2009, comprovando a ocorrência de que tivemos mais situações que acarretaram faltas de fornecimentoo, no decorrer dos anos, o que já apontava na Figura 10.

Fazendo uma comparação com a média dos anos analisados, também é possível ver a divergência desses anos para todo o resto. Esses dados podem ser observados na Figura 12, que compara primeiramente o DEC do ano de 2009 com a média dos anos analisados.

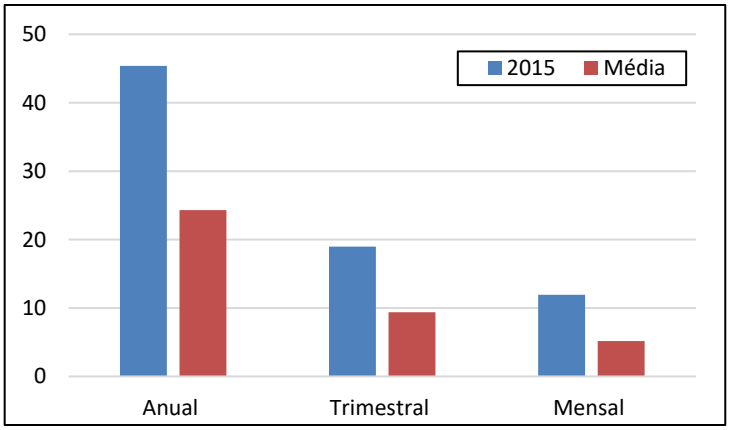
Figura 12 – Comparativo entre o DEC de 2009 e a média dos anos analisados.



Fonte: Próprio autor.

Com a visualização do comparativo entre 2015 com a média dos anos analisados, fica mais clara a desproporção desses anos que estão sendo analisando pontualmente. Esses dados estão visíveis na Figura 13.

Figura 13 – Comparativo entre o DEC de 2015 e a média dos anos analisados.



Fonte: Próprio autor.

Nas Figuras 12 e 13, as diferenças observadas com a média dos anos analisados mostram que em 2009 a média foi de praticamente metade enquanto, em 2015, a média mostra praticamente o dobro. Uma relação de espelho mostra que 2009 e 2015 foram anos de vale e pico, respectivamente, na análise realizada.

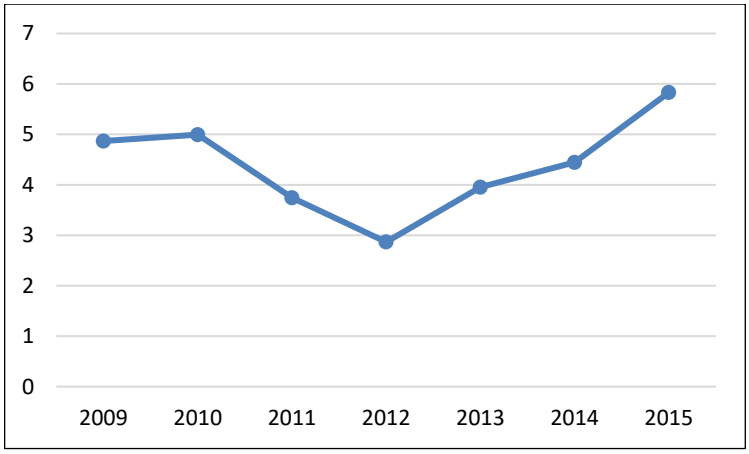
Na sequencia tem-se as mesmas análises para os valores calculados de FEC dos anos analisados. Esses valores estão apresentados na Tabela 4 e a variação na Figura 14.

Tabela 4 – FEC anual, trimestral e mensal, nos anos de 2009 à 2015.

	Anual	Trimestral	Mensal
2009	4,8675	1,6013	1,1263
2010	4,9933	1,7423	0,961
2011	3,7435	1,438	1,0719
2012	2,8672	1,1209	0,6389
2013	3,9536	1,809	0,7511
2014	4,4445	1,3376	0,5446
2015	5,8289	2,5997	1,7349

Fonte: Próprio autor.

Figura 14 – Variação do FEC nos anos analisados

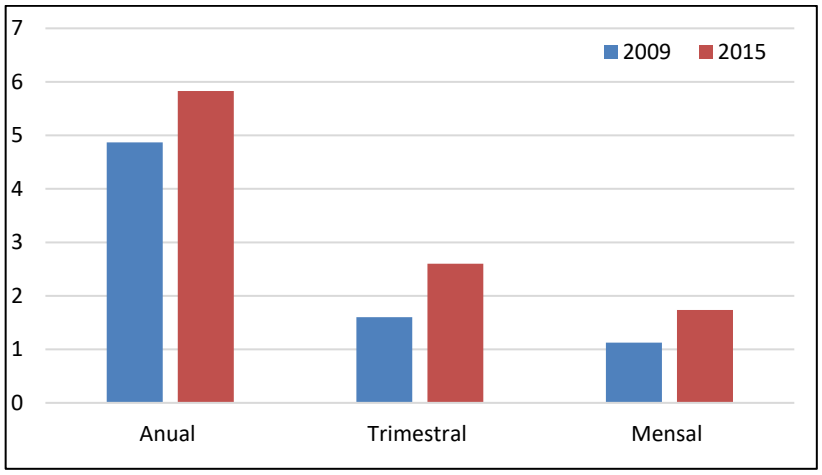


Fonte: Próprio autor.

É possível notar que a tendencia dos índices de FEC no decorrer dos anos é também de crescimento, o que reflete a tendencia já vista nos dados de DEC anteriormente.

Realizando as análises comparativos entre os anos de 2009 e 2015, os valores são apresentados na Figura 15.

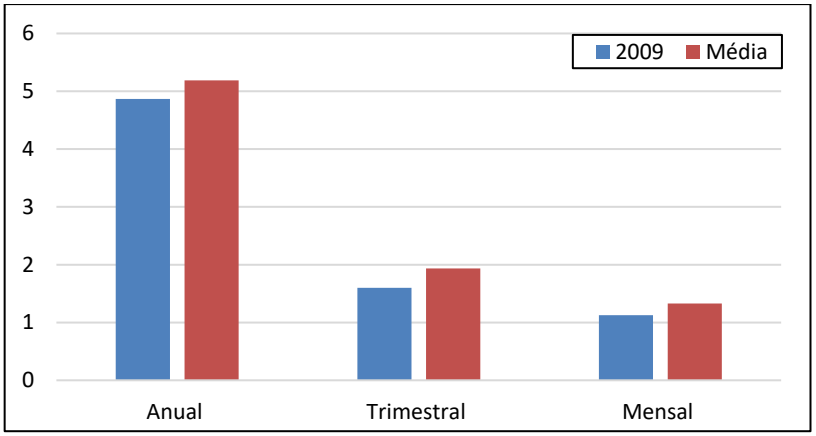
Figura 15 – Comparativo do FEC nos anos de 2009 e 2015



Fonte: Próprio autor.

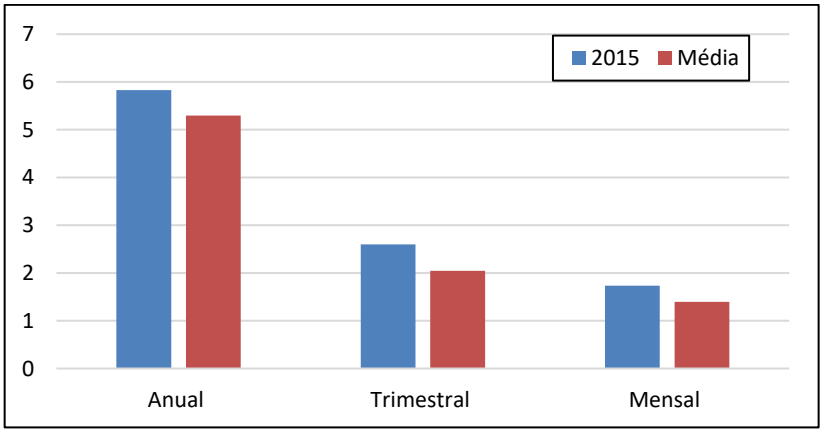
Uma comparação entre esses anos definidos com a média dos anos analisados também é realizada, onde observa-se a divergência entre esses casos isolados e a tendencia do anos analisados. Nas Figuras 16 e 17, pode-se observar essas análises citadas.

Figura 16 – Comparativo do FEC em 2009 e a média dos anos analisados.



Fonte: Próprio autor.

Figura 17 – Comparativo do FEC em 2015 e a média dos anos analisados.



Fonte: Próprio autor.

Para uma análise ainda mais completa, determinam-se as seções que mais foram afetadas durante o período de estudo, permitindo um pouco mais de detalhe para as observações e conclusões. As informações são apresentadas na Tabela 5.

No ano de 2011, a seção com maior DIC foi a 16, com ID 13632, e valor de 68,99, e taxa de FIC de 14. Porém, no mesmo ano, em 2011, houve outra seção que alcançou taxa de FIC de 14, mas possivelmente com tempos por falta menores, o que acarretaram uma soma DIC menor.

Já é possível observar a recorrência de algumas seções, observando como período completo. As seções 49 e 17 foram as mais afetadas por 2 vezes, onde ficaram atrás somente da seção 53, que foi mais afetada em 3 anos.

Tabela 5 – Dados das seções mais afetadas no período analisado

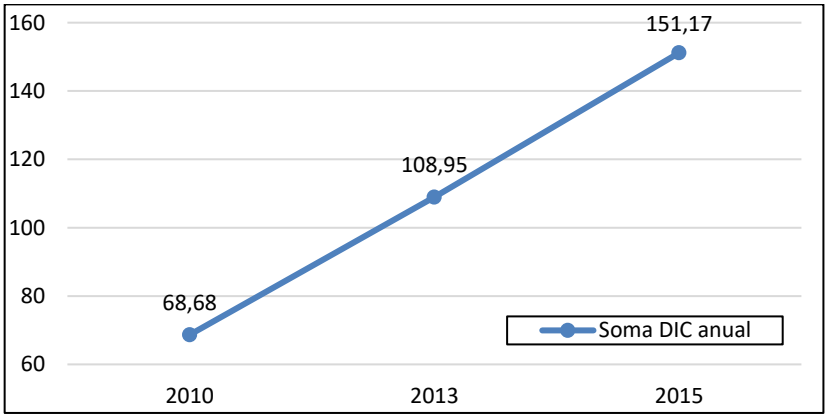
Seções mais afetadas, ano a ano, no periodo analisado					
	Seção afetada	**N° de unid. Consumidoras**	**Soma DIC anual**	**Soma FIC anual**	**ID Seção**
2009	49	472	55,3644	23	13292
2010	53	891	68,68	20	13748
2011	16	610	68,99	14	13632
2011	49	472	75,1	14	13292
2012	17	790	56,57	9	13588
2013	53	891	108,95	15	13748
2014	17	790	138,82	21	13588
2015	53	891	151,17	20	13748

Fonte: Próprio autor.

A tendencia de crescimento das taxas de DEC e FEC, nos anos analisados, apresentadas nas Figuras 10 e 14, também pode ser notada nesses dados da Tabela 5, pois é possível observar um crescimento nos valores de DIC e FIC nas seções mais afetadas, que consequentemente é espelho para as outras seções.

Uma análise sobre a seção 53 também foi realizada, a fim de observar sua tendencia no decorrer dos anos analisados. Ela foi escolhida para uma optica mais detalhada devido à ela ser a seção mais afetada pelas faltas no estudo de caso realizado. Na Figura 18 é mostrada sua variação nos anos em que a mesma foi destaque com os maiores índices de toda a rede analisada.

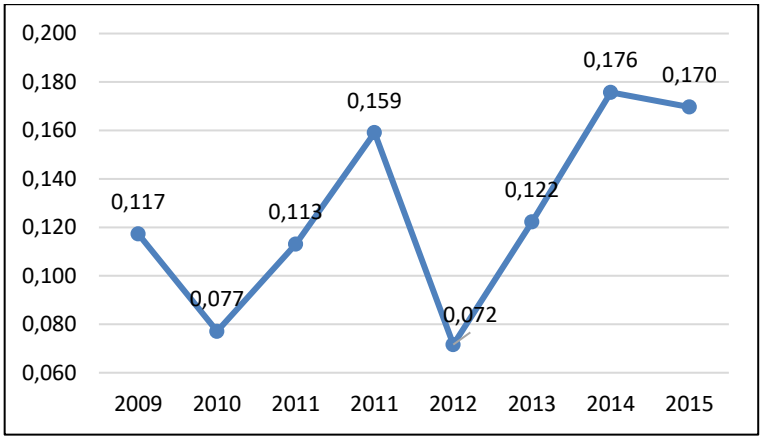
Figura 18 – Análise da Soma DIC pelos anos em a seção 53 foi destaque.



Fonte: Próprio autor.

Outra observação possível é a relação entre os valores de DIC pelo NUC, ou número de unidades consumidoras. Essa relação mostra o real impacto ao longo dos anos analisados e contribui para mostrar em qual ano o impacto para a região de concessão foi maior.

Figura 19 – Relação do DIC por unidade consumidora nos anos analisados.



Fonte:Próprio autor.

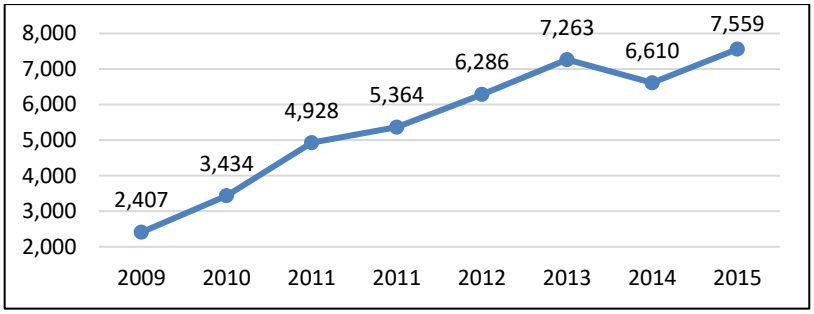
Na Figura 19, observa-se uma marca muito expressiva no ano de 2011, que interrompeu uma tendência média desses indicadores, e em contra partida um pequeno crescimento após 2012 até o ano de 2015.

Outra optica que foi realizada é a relação Soma DIC por Soma FIC neste anos abordados, que nos traz a relação de tempo em que as faltas ocorreram. Essa relação está exposta no gráfico 11, que demostra os anos que as faltas levaram mais tempo para serem corrigidas.

Essa análise também mostrou um padrão de crescimento, o que concluímos que as faltas aumentaram e ficaram mais demoradas no discorrer dos anos analisados.

Com a análise anual das taxas de DEC e FEC, foi percebido que o detalhe mensal seria também interessante para que pudéssemos observar a variação que essas taxas realizam dentro de um mesmo ano. Estes dados foram extraídos com sucesso de nosso trabalho também, e podem ser observados na tabela 6

Figura 20 - Relação Soma DIC por Soma FIC nos anos analisados



Fonte: Próprio autor.

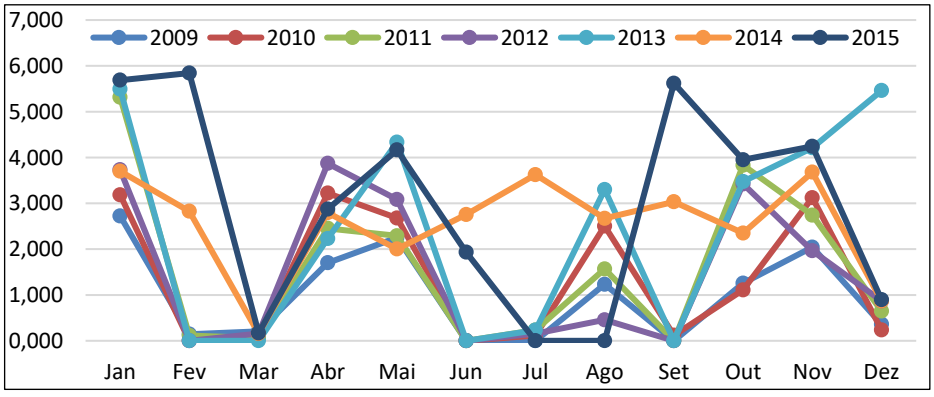
Tabela 6 – Valores de DEC mensal no decorrer dos anos.

Dados estatísticos das taxas DEC, no foco mensal, nos anos analisados							
	2009	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Janeiro	2,7237	3,1841	5,3163	3,7312	5,4931	3,7011	5,6871
Fevereiro	0,1433	0	0,1138	0	0	2,8259	5,8428
Março	0,2053	0,0792	0,0597	0,1564	0	0,1558	0,1677
Abril	1,7015	3,2207	2,4524	3,8704	2,2305	2,7948	2,8743
Maio	2,2516	2,6776	2,2904	3,0835	4,3316	2,0018	4,1647
Junho	0	0	0	0	0	2,7546	1,9329
Julho	0	0,1146	0,2329	0,158	0,2308	3,6252	0
Agosto	1,2329	2,5035	1,5679	0,4567	3,3008	2,6712	0
Setembro	0	0,1195	0	0	0	3,0328	5,6185
Outubro	1,2571	1,1101	3,8302	3,4228	3,475	2,3498	3,9497
Novembro	2,0419	3,1218	2,7412	1,9646	4,2118	3,6796	4,2438
Dezembro	0,3608	0,2369	0,6478	0,8681	5,4606	0,8677	0,8945

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 21, é possível observar a variação do DEC no decorrer dos meses, que possibilita observaralgumas tendencias durante os anos analisados.

Figura 21 – Variação do DEC no decorrer dos meses nos anos analisados.



Fonte: Próprio Autor.

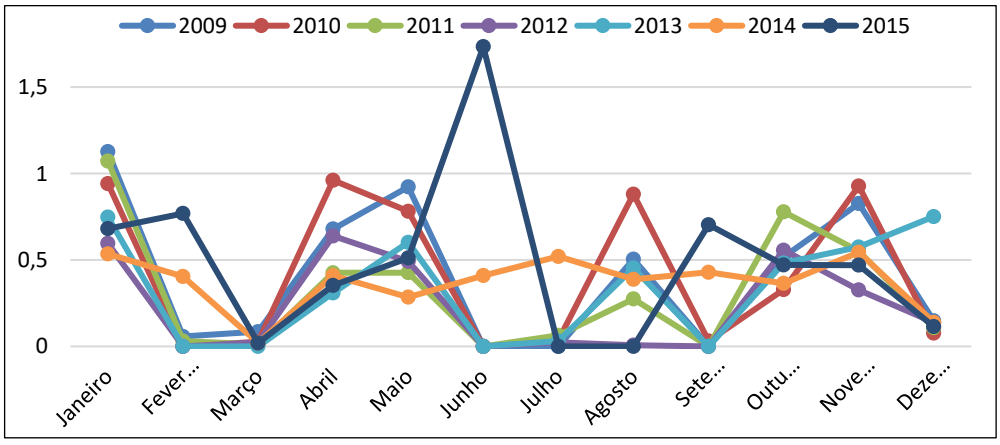
A mesma análise, agora é feita para o FEC, tendo os dados na Tabela 7, e a variação na Figura 22.

Tabela 7 – Valores de FEC mensal no decorrer dos anos.

Dados estatisticos das taxas FEC, no foco mensal.							
	2009	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Janeiro	1,1263	0,9416	1,0719	0,5957	0,7481	0,5351	0,6811
Fevereiro	0,0576	0	0,0313	0	0	0,4045	0,7688
Março	0,0854	0,0271	0,0112	0,0232	0	0,0207	0,0195
Abril	0,6791	0,961	0,4258	0,6389	0,3093	0,4095	0,353
Maio	0,9227	0,7813	0,4263	0,4919	0,6019	0,285	0,5117
Junho	0	0	0	0	0	0,4096	1,734
Julho	0	0,0369	0,0641	0,0232	0,0313	0,5203	0
Agosto	0,5044	0,8803	0,2747	0,0072	0,4538	0,3882	0
Setembro	0	0,0313	0	0	0	0,4289	0,7037
Outubro	0,518	0,3288	0,7783	0,5564	0,4826	0,3644	0,4716
Novembro	0,8262	0,9278	0,5511	0,3266	0,5752	0,5446	0,4698
Dezembro	0,148	0,0772	0,1085	0,1386	0,7511	0,1391	0,1144

Fonte: Próprio autor.

Figura 22 - Variação do FEC no decorrer dos meses nos anos analisados.

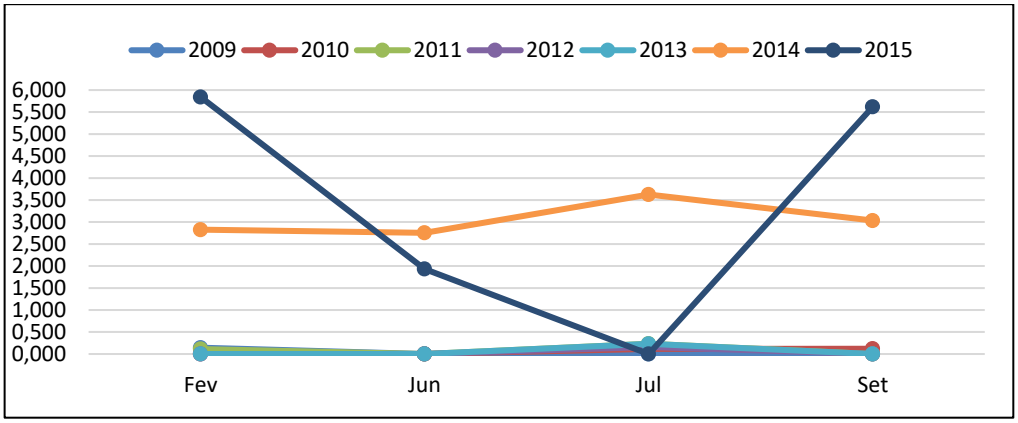


Fonte: Próprio autor

Como é possível observar, a tendencia para o DEC e FEC nos meses de Fevereiro, Março, Junho e Julho, para todos os anos, é de baixa. E entre algumas análises que é possível se fazer, a questão climática é um bom ponto. Como já conhecido, no Brasil, são meses mais chuvosos, resultando em uma escassez energética.

Em uma análise mais profunda, pode-se observar a variação que esses meses citados tiveram nos anos analisados. As informações estão contidas na Figura 23, e os dados dão ênfase aos meses de Fevereiro, Junho, Julho e Setembro, meses com as menores taxas do FEC.

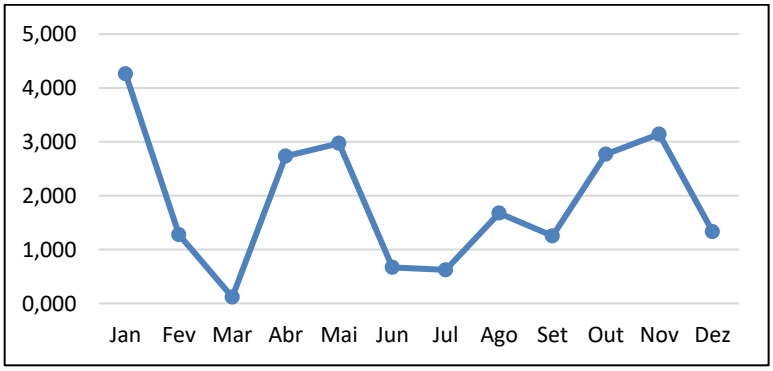
Figura 23 - Enfase nos meses de Fevereiro, Junho, Julho e Setembro



Fonte: Próprio autor.

Analisando as médias do DEC dos meses analisados, pode-se verificar as tendencias dentro dos anos, onde é possível encontrar o maior vale e o pico no decorrer dos anos. As informações estão amostradas na Figura 24.

Figura 24 – Média do DEC nos meses analisados



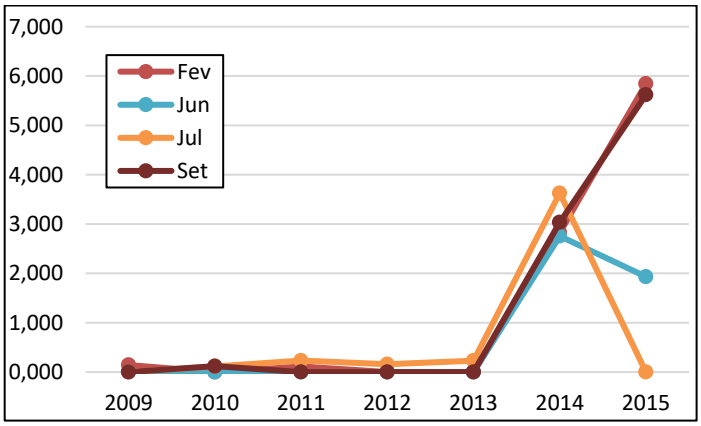
Fonte: Próprio autor

Pode-se observar que o mês de Março há a menor média DEC, o que nos mostra o principal vale do gráfico apresentado. Em contra-partida, o mês de Janeiro tem o principal pico, com a maior média DEC (de 4,26). As variações podem ser justificadas pelas alterações climáticas nos mesmos meses abordados, e um exemplo

é o mês de Janeiro, que em todos os anos analisados teve marcas expressivas, mostrando padrão de ciclo anual no clima.

Com os mesmo meses descritos anteriormente, foi possível analisar sua variação dentro do decorrer dos anos. No Figura 25 está amostrado a tendencia que os meses de Fevereiro, Junho, Julho e Setembro tiveram com o passar do tempo, mostrando que mesmo com um padrão climático, houve alterações nos últimos três anos.

Figura 25 - Análise dos meses com menor DEC mensal



Fonte: Próprio autor.

Uma tendência ocorreu nos primeiros anos, até uma divergente mudança de taxas para os últimos meses. Muitos podem ser os pontos que alteraram esse fluxo que já se seguia, como alterações chuvosas, secas imprevisíveis, entre outros pontos.

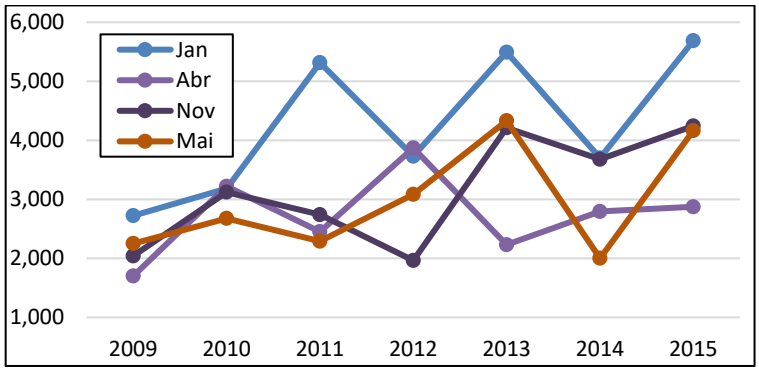
Os meses com maiores DEC registrados também foram demonstrados (Janeiro, Maio, Abril e Novembro), porém as marcas demonstraram muito mais divergentes que os meses com menor DEC. As marcas e a tendência são monstradas na Figura 26.

Pensando agora nas marcas de FEC, também registrados, pode-se retirar as mesmas análises. Primeiramente apresentamos na Figura 27 os meses mais baixos em índices, em foco com detalhes.

Com os meses vistos, é possível notar que Março teve uma variação muito grande no ano de 2014, com uma oscilação gradual para baixo justamente no mês de

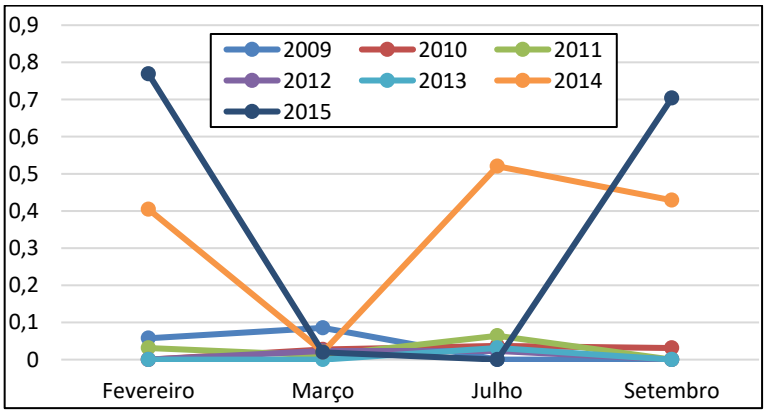
Março. Na sequencia, vemos novamente em médias, os índices para os meses em todos os anos decorridos. Os dados são apresentados na Figura 28.

Figura 26 – Análise dos meses com maior DEC mensal



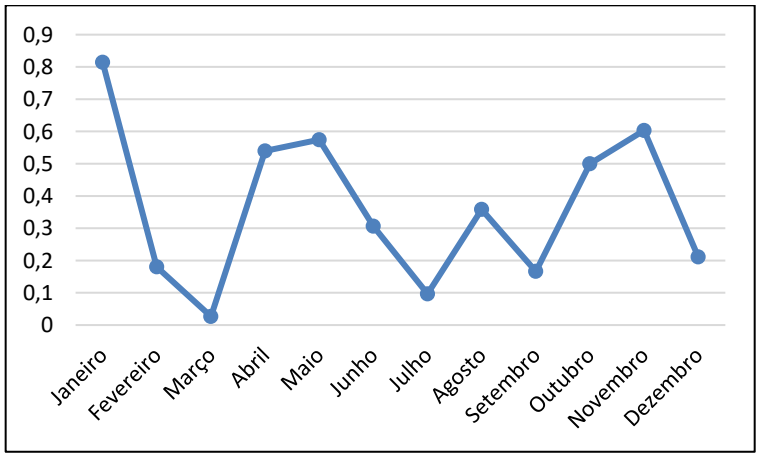
Fonte: Próprio autor.

Figura 27 - Foco nos meses de Fevereiro, Março, Julho e Setembro



Fonte: Próprio autor.

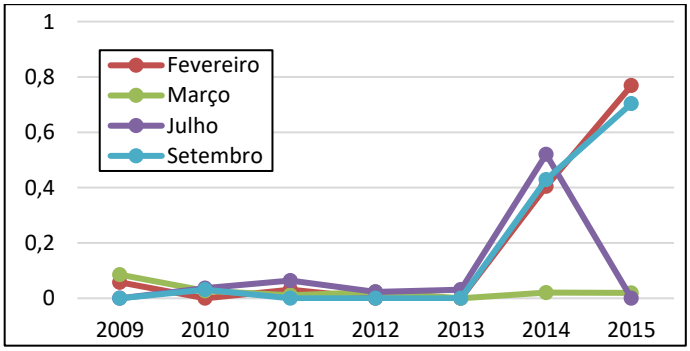
Figura 28 – Média do FEC nos meses analisados



Fonte: Próprio autor.

Como no gráfico de média para o DEC, a variação do FEC também acompanha a ultima análise. No mês de Março registra-se uma média vale, e para Janeiro, uma média que foi pico de todas analisadas. Segue-se com a análise dos meses com FEC mais baixo, com ênfase do decorrer dos anos, Figura29.

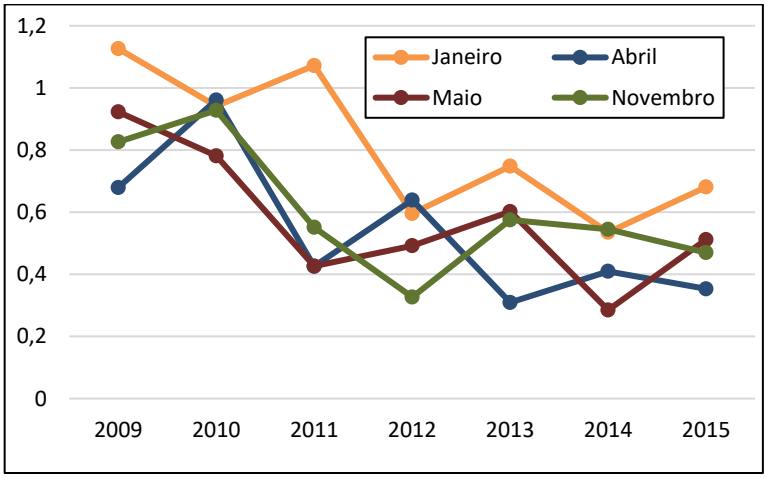
Figura 29 – Análise dos meses com menor FEC mensal



Fonte:Próprio autor.

Pode-se ver que a mesma tendencia de alteração a partir de 2013 é observada, onde o DEC e o FEC como relacionados se cordenam em se alterar a partir desta data. Mas é possível notar que todos os meses abordados seguem um padrão, o que os diferenciam da análise dos meses com maior FEC, que demonstra muito mais divergência entre os casos. Os dados de maiores FEC estão consolidados na Figura 30.

Figura 30 – Análise dos meses com maior FEC mensal



Fonte: Próprio autor.

5 CONCLUSÃO

A análise dos dados dos anos de 2009 à 2015, com ênfase na coleta dos indicadores DIC e FIC, revelou informações valiosas sobre a variação ao longo desses anos. Esses indicadores são essenciais para avaliar a qualidade do fornecimento de energia elétrica, uma vez que refletem a duração e a frequência das interrupções por consumidor. Além disso, eles desempenham um papel fundamental no cálculo de outros indicadores relevantes, como o DEC e o FEC.

A coleta dos dados de DIC e FIC ocorreu por meio de registros detalhados das interrupções ocorridas durante o período analisado. Esses registros foram obtidos junto às concessionárias de energia elétrica, que possuem sistemas de monitoramento e históricos de interrupções. Como foi trabalhado com um banco de dados hipotético, fornecido pela instituição de ensino, essa coleta sistemática permitiu uma análise consistente e confiável dos indicadores ao longo dos anos, fornecendo subsídios para as conclusões deste trabalho.

Ao analisar os resultados, verificou-se que os indicadores DIC e FIC apresentaram um crescimento ao longo do período, indicando um aumento na duração e frequência das interrupções de energia por consumidor. Essa constatação tem impacto direto nos cálculos do DEC e FEC, que são indicadores que consideram tanto a duração quanto a frequência das interrupções. Portanto, o aumento do DIC e FIC influencia diretamente os valores do DEC e FEC, tornando-os maiores e evidenciando a importância de medidas para reduzir esses indicadores e melhorar a qualidade do serviço.

Além disso, é importante ressaltar que a elaboração de um programa específico para coleta e análise desses dados desempenhou um papel fundamental neste trabalho. Essa ferramenta, desenvolvida no *software Microsoft Visual Studio*, permitiu uma abordagem mais eficiente e precisa no acesso aos indicadores, facilitando a compreensão da variação ao longo dos anos. Sem ela, a observação e interpretação das informações seriam mais complexas e demoradas, prejudicando a análise e a tomada de decisões embasadas em evidências.

Em suma, este trabalho de conclusão de curso confirmou que os indicadores DIC e FIC apresentaram uma tendência de crescimento ao longo dos anos analisados.

Esses indicadores são essenciais para a avaliação da qualidade do fornecimento de energia elétrica, e seu aumento impacta diretamente nos cálculos do DEC e FEC. A utilização do programa desenvolvido para coleta e análise desses dados foi de extrema importância, fornecendo uma visão mais clara e abrangente das informações e ressaltando a necessidade de ações para melhorar a qualidade do serviço. Os resultados obtidos esperam servir de base para futuras intervenções e investimentos no setor elétrico, visando à redução dos indicadores analisados e ao aumento da satisfação dos consumidores.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

M. A. PELEGRINI, “**Interruption Costs in Large Customers: Survey and Applications**,” in Proceeding 21st International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Frankfurt, Germany, 2011, pp. 1-4.

I. O. CYRILLO, “**Consumers’ Perceived Economical Evaluation of Power Quality**,” in Proceeding 20th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Prague, Czech Republic, 2009, pp. 1-4

A. BAHMANYAR, S. JAMALI, A. ESTEBSARI, AND E. BOMPARD, "**A comparison framework for distribution system outage and fault location methods**," Electr. Power Syst. Res., vol. 145, pp. 19-34, Apr. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Revisão 13, vigente a partir de 01/01/2022.

C. A. P. MENESES; J. R. S. MANTOVANI, "**Improving the grid operation and reliability cost of distribution systems with dispersed generation**," IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 3, pp. 2485-2496, Aug. 2013.

K. PEREIRA, B. R. PEREIRA, J. CONTRERAS, AND J. R. S. MANTOVANI, "**A multiobjective optimization technique to develop protection systems of distribution networks with distributed generation**," IEEE Trans. Power Syst., vol. 33, no. 6, pp. 7064-7075, Nov. 2018.

M. USLAR, M. SPECHT, C. DÄNEKAS, J. TREFKE, S. ROHJANS, J. M. GONZÁLEZ, C. ROSINGER, R. BLEIKER, “**Standardization in Smart Grids: Introduction to IT-Related Methodologies, Architectures and Standards**,” vol. 1, 1st ed., New York, NY, Springer Science & Business Media, 2012, p. 250.

LEÓN, B. D. J. **Otimização multiobjetivo para planejamento da manutenção preventiva da vegetação sob redes aéreas de distribuição de energia elétrica**. 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –

Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.