



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS**

**OSIRES ALVES DE OLIVEIRA JUNIOR
RODRIGO BARALDI BRANDÃO**

**RELIGADORES EM GRANDES LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO E SUA
CONTRIBUIÇÃO COM A MELHORIA DO FORNECIMENTO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO ESTADO DO TOCANTINS**

**PAMAS, TO
2024**

**OSIRES ALVES DE OLIVEIRA JUNIOR
RODRIGO BARALDI BRANDÃO**

**RELIGADORES EM GRANDES LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO E SUA
CONTRIBUIÇÃO COM A MELHORIA DO FORNECIMENTO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO ESTADO DO TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação do Curso
de Bacharelado em Engenharia Elétrica
do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins –
Campus Palmas, como exigência a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Ms. Felipe Tozzi
Bittencourt.

**PAMAS, TO
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

B224r Baraldi Brandão, Rodrigo
RELIGADORES EM GRANDES LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO E
SUA CONTRIBUIÇÃO COM A MELHORIA DO FORNECIMENTO DE
ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO TOCANTINS / Rodrigo
Baraldi Brandão, Osires Alves de Oliveira Junior. – Palmas, TO,
2024.
51 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2024.

Orientador: Me. Felipe Tozzi Bittencourt

1. Religadores Automáticos. 2. Qualidade e Continuidade do
Serviço. 3. Fornecimento de Energia. I. Alves de Oliveira Junior,
Osires. II. Tozzi Bittencourt, Felipe III. , . IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

**OSIRES ALVES DE OLIVEIRA JUNIOR
RODRIGO BARALDI BRANDÃO**

**RELIGADORES EM GRANDES LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO E SUA
CONTRIBUIÇÃO COM A MELHORIA DO FORNECIMENTO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO ESTADO DO TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação do Curso
de Bacharelado em Engenharia Elétrica
do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins –
Campus Palmas, como exigência a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 04/03/2024

Banca Examinadora:



Prof. Ms. Felipe Tozzi Bittencourt
Membro da Banca Examinadora e Orientador



Prof. Dr. Elcio Precioso de Paiva
Membro de Banca Examinadora



Eloyso Lima Lopes
Membro de Banca Examinadora

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Distribuição de energia elétrica	13
Figura 2 - Chave Fusível	17
Figura 3 - Tripsaver	18
Figura 4 - Disjuntor	19
Figura 5 - Religador de distribuição	21
Figura 6 - LA LAGOA CONFUSÃO AO POVOADO LOROTY	22
Figura 7 - LD AUGUSTINOPOLIS A AXIXA	23
Figura 8 - LD FORMOSO DO ARAGUAIA A COOPERFORMOSO	23

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Demonstrativo descargas atmosféricas	25
Gráfico 2 - DEC Alimentador LD02014045	26
Gráfico 3 - FEC Alimentador LD02014045	27
Gráfico 4 - Compensação Alimentador LD02014045	28
Gráfico 5 - DEC Alimentador LD06047073	30
Gráfico 6 - FEC Alimentador LD06047073	31
Gráfico 7 - Compensação Alimentador LD06047073	32
Gráfico 8 - NAE Alimentador LD06047073	33
Gráfico 9 - DEC Alimentador LD002036052	35
Gráfico 10 - FEC Alimentador LD002036052	36
Gráfico 11 - Compensação Alimentador LD002036052	37
Gráfico 12 - NAE Alimentador LD002036052	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demonstrativo DEC LD02014045	27
Tabela 2 - Demonstrativo FEC LD02014045.....	28
Tabela 3 - Demonstrativo Compensação LD02014045.....	28
Tabela 4 - Demonstrativo NAE LD02014045	29
Tabela 5 - Demonstrativo DEC LD06047073	30
Tabela 6 - Demonstrativo FEC LD06047073.....	31
Tabela 7 - Demonstrativo Compensação LD06047073.....	32
Tabela 8 - Demonstrativo NAE LD06047073	33
Tabela 9 - Demonstrativo DEC LD02036052	35
Tabela 10 - Demonstrativo FEC LD02036052.....	36
Tabela 11 - Demonstrativo Compensação LD02036052.....	38
Tabela 12 - Demonstrativo NAE LD02036052	39
Tabela 13 - Ganhos dos indicadores.....	40

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar os benefícios dos religadores automáticos na melhoria dos indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica. Ele se concentra especificamente nos alimentadores do estado do Tocantins, investigando o impacto desses dispositivos na qualidade do serviço prestado aos clientes, onde foi observado uma redução média de 34% do DEC e 18% de redução do FEC em 7 anos analisados. Os religadores automáticos são dispositivos utilizados para proteger sistemas elétricos contra problemas transitórios, como interrupções temporárias de energia. Eles realizam o religamento automático do sistema, restabelecendo rapidamente o fornecimento de energia. O estudo também considera os benefícios desses dispositivos na redução de interrupções permanentes e os possíveis impactos negativos dessas interrupções na sociedade, como danos a equipamentos, transtornos em hospitais e perdas de produção em indústrias. O trabalho destaca a importância das concessionárias de energia em garantir a qualidade do serviço prestado e a responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) na regulação e fiscalização do setor elétrico.

Palavras-chave: Religadores Automáticos. Qualidade e Continuidade do Serviço. Fornecimento de Energia. Indicadores de Qualidade.

ABSTRACT

This work aims to analyze the benefits of automatic reclosers in improving the continuity indicators of electricity supply. It specifically focuses on the feeders in the state of Tocantins, investigating the impact of these devices on the quality of service provided to customers. The study observed an average reduction of 34% in SAIDI (System Average Interruption Duration Index) and an 18% reduction in SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) over a period of 7 years. Automatic reclosers are devices used to protect electrical systems against transient problems, such as temporary power outages. They automatically restore power supply by reclosing the system. The study also considers the benefits of these devices in reducing permanent interruptions and the potential negative impacts of such interruptions on society, including equipment damage, disruptions in hospitals, and production losses in industries. The work emphasizes the importance of energy utilities in ensuring the quality of service provided and the responsibility of the National Electric Energy Agency (ANEEL) in regulating and overseeing the electricity sector.

Keywords: Automatic Reclosers. Quality and Continuity of Service. Energy Supply. Quality Indicators.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Tema da pesquisa.....	13
1.2 Problemática	13
1.3 Hipótese.....	13
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo geral.....	13
1.4.2 Objetivos específicos	13
1.5 Justificativa	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Sistema de distribuição de energia elétrica	15
2.2 Órgão regulador do sistema elétrico brasileiro	16
2.3 Indicadores individuais de Continuidade de serviço	17
2.4 Indicadores Coletivos de Continuidade de Serviço.....	17
2.5 Dispositivos de Proteção do SEP.....	18
2.6 Chave Fusível.....	18
2.7 Tripsaver.....	19
2.8 Disjuntor	21
2.9 Religadores automáticos de distribuição.....	21
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	24
3.1 Fonte de Coleta de Dados.....	24
3.2 Fontes primárias	24
3.3 Fontes Secundárias.....	26
4 ESTUDO DE CASO.....	27
4.1 Clima	27
4.2 Alimentador LD02014045 AUGUSTINOPOLIS A AXIXA.....	28
4.3 Alimentador LD06047073 LAGOA CONFUSÃO AO POVOADO LOROTY	31
4.4 Alimentador LD02036052 FORMOSO DO ARAGUAIA A COOPERFORMOSO	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O sistema elétrico pode ser dividido em três segmentos: geração, transmissão e distribuição da energia. O segmento de geração é responsável por produzir energia e injetar nas linhas de transmissão e distribuição, a transmissão é encarregada de transportar elevadas quantidade de energia que são geradas nas usinas geradoras em que no Brasil as linhas de transmissão são caracterizadas por operar na tensão elétrica superior a 230 KV. O segmento de distribuição, por sua vez, é aquele que distribui a energia para os médios e pequenos consumidores, como residências e pequenos comércios e indústrias (Abradee, 2022).

O sistema elétrico de distribuição pode ser dividido em outros cinco subsistemas, que são os transformadores de distribuição, alimentadores secundários, alimentadores primários, subestação e os sistemas de subtransmissão (MOURA, 2010, p.7).

A distribuição de energia elétrica é um processo contínuo, onde as concessionárias são responsáveis por assegurar o fornecimento de energia em padrões aceitáveis a todos os consumidores, desta forma, deve a concessionária identificar e manutencionar problemas nas redes de distribuição, essencialmente nas subestações e alimentadores, pois devido a volumetria de clientes é fundamental atingir os indicadores de continuidade a fim de manter a qualidade do serviço prestado. (KONDO, 2015).

No Brasil, o agente responsável pela regulação e fiscalização do setor elétrico é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo este o órgão responsável por avaliar e fiscalizar o desempenho das concessionárias de energia elétrica garantindo que essas empresas prestem serviços de qualidade, monitorando as interrupções no fornecimento de energia através de indicadores de continuidade que medem a qualidade do serviço prestado por cada concessionária.

Desta forma, há um enorme e sempre crescente zelo das concessionárias pela qualidade da energia entregue aos seus consumidores e pela confiabilidade do seu sistema de distribuição. Esta preocupação pode ser oriunda de vários fatores, seja pela preservação da boa imagem das concessionárias, redução de gastos com compensações e multas, pela pressão imposta pelas políticas do órgão regulador. (TENFEN, 2011, p.25).

Em 2012, após apresentar acúmulo de dívidas e indicadores de qualidade do serviço insatisfatórios no Tocantins, a ANEEL realizou uma intervenção na Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins-CELTINS, visando promover a qualidade no fornecimento de energia ao cliente essa intervenção durou até meados de 2014 sendo concluída a concessão do fornecimento de energia elétrica do estado para a Energisa.

As contingências e intervenções emergências ocorridas nas redes de distribuição acontecem durante todo momento, e tudo isso causam prejuízos expressivos para as distribuidoras de energia tanto em perdas de faturamento como em multas impostas pelo órgão regulador. Não obstante para a sociedade tais intervenções e contingências, podem acarretar avarias em equipamentos, transtornos em hospitais, trânsito, e perda de produção em indústrias, entre outros (TONELLI, 2015).

Para evitar transtornos no fornecimento de energia, um dos métodos adotados para a melhoria da qualidade de serviço são os religadores automáticos, que na ocorrência de falta de energia transitória no SEP, realiza o religamento automático do sistema garantindo o reestabelecimento de energia de forma rápida e segura, minimizando um impacto maior para os clientes atendidos pelo alimentador.

O religador é um dispositivo utilizado em sistemas elétricos com a função de proteger os mesmos contra problemas transitórios, comumente aplicados em linhas aéreas de transmissão e de distribuição de energia, tendo o objetivo de reduzir os casos de interrupção de fornecimento de energia que são transitórias, no caso da interrupção ser permanente, o religador realiza um ciclo pré-programado de aberturas e fechamentos, normalmente três ou quatro, até o desaparecimento do defeito ou até considerar que o defeito é permanente, após a solução do defeito, o equipamento pode ser rearmado tanto manualmente como via telecomando. (EATON, 2022)

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar os benefícios trazidos pelos religadores automáticos na melhoria dos indicadores de continuidade de fornecimentos de energia elétrica e um grau comparativo dos benefícios trazidos aos clientes após a implantação desses dispositivos nos alimentadores do estado do Tocantins.

1.1 Tema da pesquisa

Estudo da contribuição dos religadores em grandes linhas de distribuição.

1.2 Problemática

Como a instalação de novos religadores em longas linhas de distribuição podem contribuir com a melhora do fornecimento de energia elétrica para os consumidores, e melhorar os indicadores exigidos pela ANEEL?

1.3 Hipótese

Que a instalação de religadores de distribuição em redes, contribuem para a melhoria do fornecimento de energia para os consumidores.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Analisou-se os alimentadores que compõe as linhas de distribuição do estado do Tocantins e comparou-se a melhoria trazida a estes alimentadores após a instalação de religadores automáticos.

A escolha das LD's LAGOA CONFUSÃO AO POVOADO LOROTY (LD06047073), AUGUSTINOPOLIS A AXIXA (LD02014045) e FORMOSO DO ARAGUAIA A COOPERFORMOSO (LD02036052), se deram por conta de terem o histórico de serem as piores em termos de indicadores para cada regional em que o estado é dividido centro, norte e sul respectivamente.

1.4.2 Objetivos específicos

- Promover o levantamento de dados das redes que foram estudadas através do site da ANEEL;
- Elaborar gráficos para auxiliar na avaliação e interpretação dos dados;

- Analisar os dados encontrados para a realização da conclusão de viabilidade da utilização dos religadores automáticos.

1.5 Justificativa

De acordo com a Resolução Normativa ANEEL Nº 956/2021 Prodist Módulo 8 todas as unidades consumidoras atendidas por uma distribuidora de energia devem ter seus indicadores de descontinuidades apurados, para cada cliente a agência reguladora estabelece uma meta máxima em que o mesmo pode ficar sem energia por mês, o tempo máximo que essa falta pode durar e a frequência de vezes que o cliente pode ser penalizado.

Esses indicadores são conhecidos com DIC, DMIC e FIC respectivamente, além desses indicadores individuais a concessionária deve apurar os indicadores coletivos, como DEC e FEC, que são nada além do tempo de descontinuidade somando todos os clientes atendidos pela distribuidora e a frequências que ficaram sem energia.

A ANEEL utiliza esses indicadores para fiscalizar se a distribuidora está fornecendo energia de qualidade para aquele grupo de consumidores, e quando isso não acontece cobra melhorias no sistema elétrico de distribuição. Um dos recursos utilizados pela administradora das redes é a instalação de equipamentos de proteção automáticos, chamados de religadores, que atuam na recomposição mais rápida do sistema, assim um curto-circuito transitório, ou seja, um curto passageiro, não irá penalizar o grupo de clientes assistidos por esse equipamento por grandes períodos, já que a função dele é desligar a rede ao notar um distúrbio e reenergizar após alguns instantes.

A partir do estudo de linhas de distribuição presentes no estado do Tocantins, avaliando os indicadores acima mencionados, antes e depois da instalação dos equipamentos de recomposição automáticos, este trabalho buscou avaliar a eficiência e a viabilidade do investimento por parte da distribuidora de energia no atingimento das metas de qualidade de fornecimento de energia propostas pela agência regulatória.

2 REVISÃO DE LITERATURA

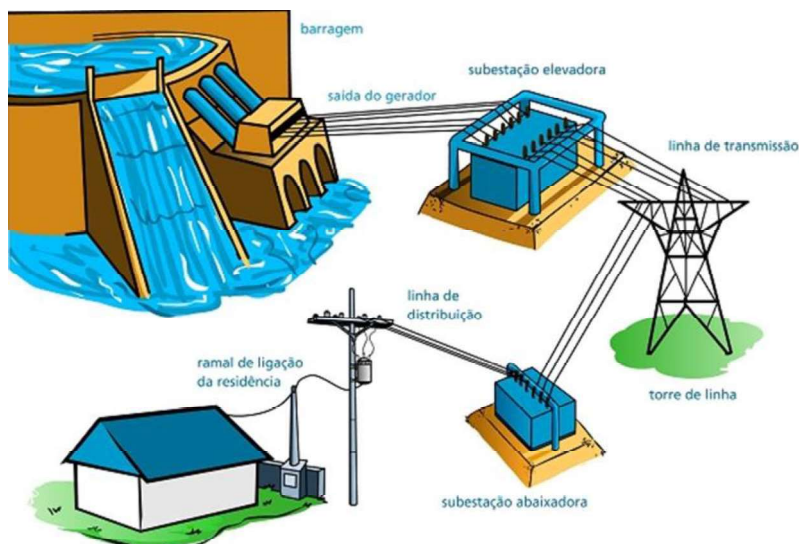
2.1 Sistema de distribuição de energia elétrica

O sistema elétrico de potência pode ser dividido em: geração, transmissão e distribuição. A geração é responsável pela conversão de alguma forma de energia, seja solar, hidráulica, eólica, nuclear, ou qualquer outra, em energia elétrica, e injetá-la nos sistemas de transporte, que podem ser linhas de transmissão ou distribuição (ABRADEE, 2022).

A transmissão é responsável pelo transporte de energia proveniente da geração até os centros de distribuição. No Brasil, esse segmento tem a característica de operar linhas em tensão elétrica superior a 230 kV, enquanto o segmento de distribuição são redes compostas por linhas de alta, média e baixa tensão, responsáveis por distribuir a energia para os médios e pequenos consumidores, como residências e pequenos comércios e indústrias (ABRADEE, 2022).

A Figura 1 ilustra o processo de distribuição de energia elétrica:

Figura 1 - Sistema de Distribuição de energia elétrica



Fonte: Mundo da elétrica (2022).

A partir das subestações de distribuição, a operação do sistema de distribuição e o fornecimento de energia é de responsabilidade das concessionárias ou permissionárias de energia, enquanto a Rede Básica, ou seja, redes de transmissão

com tensão igual ou superior a 230kV, são de responsabilidade do Operador Nacional do Sistema (ABRADEE, 2022).

2.2 Órgão regulador do sistema elétrico brasileiro

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, é o órgão regulador, responsável por fiscalizar e regular todo o setor elétrico brasileiro de acordo com as diretrizes do Governo Federal, sendo que além de assegurar o suprimento de energia por uma tarifa justa, deve ainda regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, estabelecendo metas para indicadores de desempenho nas empresas de distribuição, que podem gerar diferentes tipos de sanções caso não sejam cumpridas (NOGUEIRA, 2016).

Tendo a finalidade de padronizar e normatizar as atividades técnicas em relação ao funcionamento e o desempenho dos sistemas elétricos de distribuição de energia, o órgão regulador, a ANEEL, elaborou os PRODIST - Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica, que são divididos em 9 módulos diferentes. (ANEEL, 2021).

O PRODIST módulo 8 estabelece procedimentos relacionados a qualidade do fornecimento de energia elétrica pelas concessionárias, tratando da qualidade dos serviços prestados, apresentando metodologias para apuração dos indicadores de continuidade e padronizando responsabilidades relacionadas a qualidade do produto, além dos parâmetros de referência em relação a conformidade dos níveis de tensão da rede elétrica. (ANEEL, 2021).

Diante disso, para aferir a confiabilidade de um sistema de distribuição pode-se tomar como base os resultados do cálculo de indicadores de confiabilidade. Estes indicadores são analisados com base nos dados históricos das interrupções do fornecimento de energia para determinado conjunto de consumidores (RODIGHERI, 2013, p.28). Os indicadores de continuidade de serviços são aferidos tanto em sua duração quanto a sua frequência de atuação e para se obter uma medida que calcula essas regras foram utilizados os seguintes parâmetros:

2.3 Indicadores individuais de Continuidade de serviço

DIC (Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidor ou por Ponto de Conexão), utilizado para medir o quanto cada unidade consumidora teve o fornecimento de energia afetado durante um determinado período.

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$$

FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão), utilizado para medir a quantidade de vezes que uma unidade consumidora teve o fornecimento de energia afetado.

$$FIC = n$$

DMIC (Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão), utilizado para medir o tempo máximo em que a unidade consumidora teve o fornecimento de energia afetado.

$$DMIC = t(i)_{max}$$

2.4 Indicadores Coletivos de Continuidade de Serviço

DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), utilizado para medir o tempo médio total em que cada unidade consumidora do conjunto teve o fornecimento de energia afetado em um determinado período.

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

FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), utilizado para medir a quantidade de vezes total do conjunto em que cada unidade consumidora teve o fornecimento de energia afetado em um determinado período.

2.5 Dispositivos de Proteção do SEP

O Sistema elétrico de potência está sujeito a vários tipos de falhas, seja elas por descargas atmosféricas, surto de tensões e curtos-circuitos que é caracterizada por uma variação extrema na corrente elétrica, que pode ser originário de vários fatores, tais como: condutores rompidos, abalroamentos, queda de arvores na rede e vandalismo realizados por terceiros. (CPFL, 2016).

O sistema de proteção da rede de distribuição de energia elétrica é primordial para a segurança dos equipamentos e da população, e para que um sistema de proteção seja eficiente é essencial que haja o dimensionamento adequado, sendo ele confiável, sensível, rápido e com coordenação de seletividade. (LEME; CUNHA; PITOCO; RIZZARDI, 2013).

Existem diversos dispositivos de proteção ao longo do sistema elétrico de potência que são utilizados para proteger contra curto-circuito na rede elétrica, dentre eles serão abordados os seguintes dispositivos: chave fusível, tripsaver, disjuntor e religadores automáticos de distribuição.

2.6 Chave Fusível

As chaves fusíveis são dispositivos eletromecânico que promovem a proteção monofásica de uma rede ou circuito, seu custo é baixo quando comparado a outros dispositivos de proteção e seu desempenho é bastante satisfatório quando aplicado a redes de distribuição de média tensão. Sua atuação ocorre quando a corrente excede o valor máximo suportado pelo elo fusível chegando ao ponto de fusão devido ao efeito Joule acarretando a abertura do circuito e necessitando sua substituição manual. Estas chaves podem ser divididas nos seguintes tipos: abertas, expulsão, indicadoras e não repetidoras (FERREIRA, 2009).

A chave fusível é (Figura 2) mais empregada em saídas de ramais, pois possui o menor custo entre os dispositivos e cumpre a sua função normalmente quando bem dimensionado. Precisam ainda serem capazes de interromper em situações de corrente maiores que a máxima corrente de falta do ponto onde se encontram (ENERGIA, 2016).

Figura 2 - Chave Fusível

Fonte: Maurizio (2022).

Os elos das chaves fusíveis podem ser classificados em 3 tipos que correspondem a tipologias de atuação distintas, o projetista deve realizar o estudo de seletividade de acordo com o tempo de atuação de cada dispositivo seus tempos de atuação são classificados como tipo K, T e H. (BRITO; RONCATA; BANDEIRA, 2021)

Os Elos fusíveis tipo K são classificados como rápidos sendo que sua principal aplicação é na proteção de ramais e alimentadores, os Elos fusíveis tipo T são classificados como lentos e são aplicados na proteção de ramais e alimentadores, os Elos tipo H são considerados muito lentos e devido a isso são amplamente utilizados para a proteção de transformadores devido a sua atuação lenta evitando assim a abertura durante o pico de corrente de magnetização do transformador (BRITO; RONCATA; BANDEIRA, 2021).

2.7 Tripsaver

O Tripsaver é um dispositivo montado em Chave Fusível que possibilita a melhoria, a qualidade e a confiabilidade em ramais de derivações onde são instalados. As principais características desses dispositivos é que em faltas temporárias, diferente da chave fusível, ele inicia um ciclo pré-definido de religamento do circuito, evitando o

prolongamento da falta de energia, reduz as interrupções momentâneas do alimentador e protege toda a derivação evitando a ação humana para reenergização do circuito (S&C, 2022).

O Tripsaver (Figura 3) possui quatro operações de Trip e até 3 operações de religamento após finalizar esse ciclo pré-definido de atuação ele altera sua condição para aberto, o dispositivo fica totalmente desconectado da rede sendo necessário a atuação humana para o rearme. O intervalo de tempo de duração das atuações do dispositivo pode ser configurado pelo projetista em uma faixa que vai de 0,5 a 5 segundos (S&C, 2022).

Figura 3 - Tripsaver



Fonte: S&C Electric Company (2022).

Na ocorrência de uma falta transitória a jusante do Tripsaver, o dispositivo executa a abertura do através do interruptor a vácuo contido em sua estrutura interrompendo instantaneamente o fluxo de corrente elétrica para garantir a proteção do circuito energizado, após o tempo pré-definido, o dispositivo volta a sua configuração de rearme, caso a falta seja transitória o dispositivo executa todo o ciclo pré-definido de atuação e após finalizado realiza o modo de abertura de chave aberta, sendo necessário a atuação manual de um operador (S&C, 2022).

2.8 Disjuntor

Os disjuntores são dispositivos de proteção eletromecânicos cuja principal função é a interrupção de correntes de falhas, em especial as correntes provenientes de curto-circuito na rede elétrica (GARZON, 2002). A Figura 4 evidencia um disjuntor padrão:

Figura 4 - Disjuntor



Fonte: GenExatas (2022).

Os disjuntores devem ser capazes de interromper correntes de falhas no menor tempo possível, independentemente da quantidade de tempo que permaneceram sem operar, de modo a limitar os efeitos de degradação dos seus contatos, bem como para controlar o tempo de duração da falta (GARZON, 2002)

2.9 Religadores automáticos de distribuição

Os religadores automáticos são considerados pelas empresas elétricas do mundo inteiro equipamento essencial para o cumprimento de sua finalidade principal, ou seja, o fornecimento de energia elétrica, em condições confiáveis e seguras. (SILVA; MANTOVANI, 2002)

Um religador automático é um dispositivo com capacidade de detectar condições de sobrecorrente de fase/fase e fase/terra, interromper o circuito se a sobrecorrente persistir depois de um tempo predeterminado e então realizar o reenergização da linha de maneira automática. Se a falta que deu início a operação ainda existir, o religador permanecerá aberto depois de um determinado número de operações, isolando assim, a seção com falta do resto do sistema (Gers & Holmes, 2011).

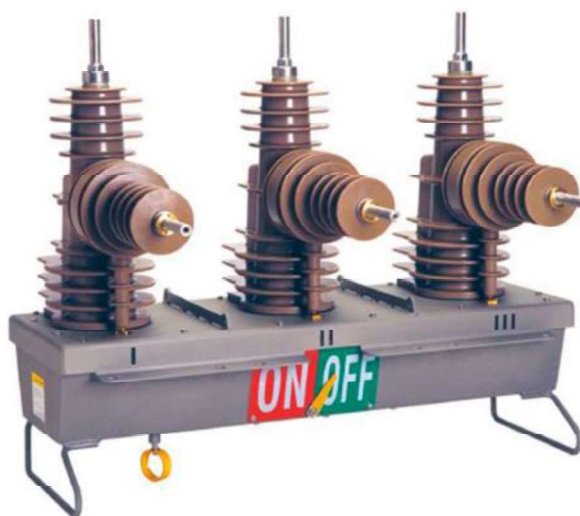
Uma das grandes vantagens dos religadores é a sua ampla aplicação em redes de distribuição aéreas que na ocorrência de defeitos transitórios, o equipamento faz o religamento automático do circuito, evitando a necessidade de deslocamento de uma equipe operacional para realizar a manutenção ou operar o dispositivo. (MAMEDE, 2011).

A utilização de equipamentos de religamento automático é frequente em concessionárias de distribuição de energia elétrica. E essa prática reduz o tempo de interrupção de energia elétrica dos consumidores atendidos, onde apenas o circuito de falha permanece desligado. Os religadores são alocados em pontos estratégicos dos circuitos de distribuição para melhorar a qualidade do serviço de fornecimento de energia elétrica, ainda minimizam o número de clientes afetados por faltas permanentes restaurando automaticamente a energia por faltas temporárias, principalmente em áreas rurais, devido ao fato da frequência de falhas transitórias ser mais elevada nessas regiões. (HOSS, 2018)

O emprego de estudos de proteção através de curvas rápidas ou instantâneas nos religadores de proteção reduzem os efeitos das falhas transitórias, não somente nas redes de distribuição de energia diretamente protegidas por este equipamento, mas também nos segmentos de rede de energia protegidos a jusante por chaves fusíveis. Por gerarem muitas interrupções de curtíssima duração, as curvas rápidas têm sido pouco empregadas pelas concessionárias distribuidoras de energia em suas redes aéreas (que são as que predominam), em decorrência da grande quantidade de defeitos transitórios que ocorrem e que acabam gerando muitas reclamações por parte dos consumidores (CASSIOLATO, 2018).

A Figura 5 apresenta um religador de distribuição:

Figura 5 - Religador de distribuição



Fonte: Ajael (2022).

Apesar dos religadores serem empregados principalmente na proteção de redes de distribuição, esses dispositivos podem ser utilizados com o modo do tipo chave. Quando colocado neste modo, o equipamento não realiza religamentos automáticos, sendo utilizado apenas para monitoramento instantâneo da rede, e para manobras das linhas em casos emergenciais ou em desligamentos programados, manutenção corretivas para isolar trechos defeituosos. (ZIMMER; FRANCO JÚNIOR, 2014).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método que se apresentou mais adequado para o desenvolvimento deste trabalho monográfico é o estudo de caso de cunho quantitativo, subsidiado com farta análise bibliográfica.

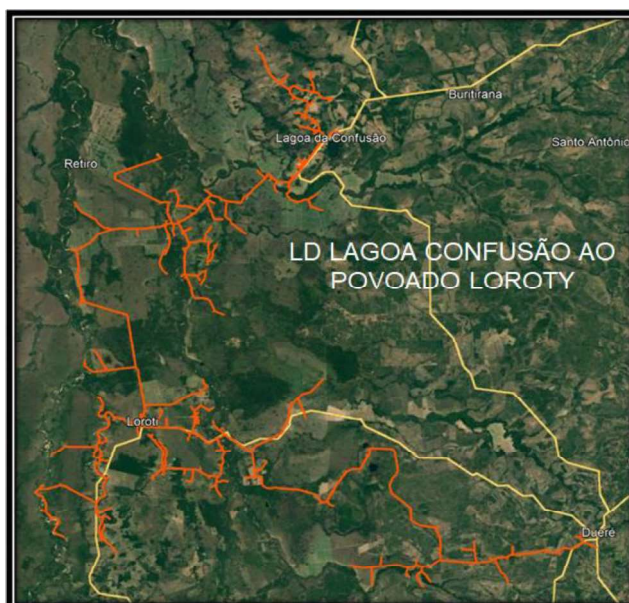
3.1 Fonte de Coleta de Dados

A fonte de coleta de dados foi dividida em duas partes: Primárias e secundárias.

3.2 Fontes primárias

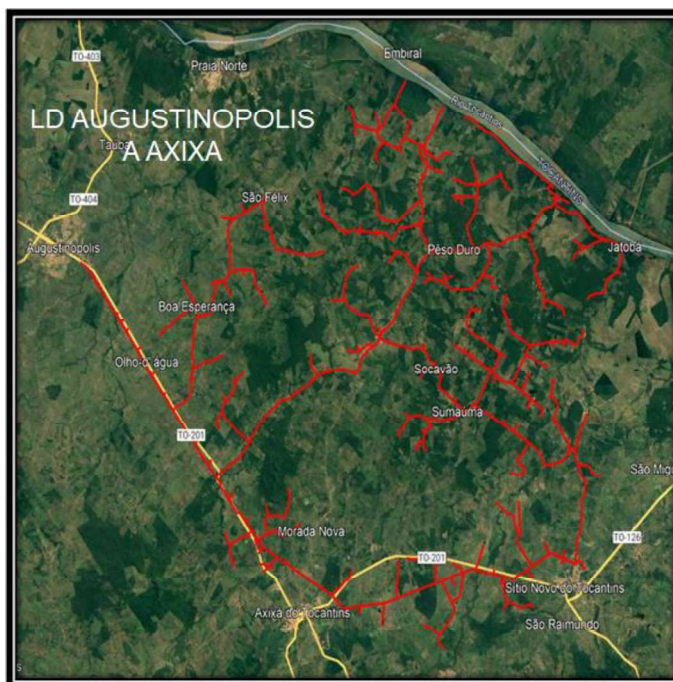
As fontes primárias a que foram utilizadas são informações referentes aos alimentadores, foi realizado o levantamento dos indicadores técnicos, como: DEC, FEC, NAE e Compensação, das LD's LAGOA CONFUSÃO AO POVOADO LOROTY (Figura 6), AUGUSTINOPOLIS A AXIXA (Figura 7) e FORMOSO DO ARAGUAIA A COOPERFORMOSO (Figura 8) entre os anos de 2015 e 2021, abrangendo dados anteriores e posteriores a instalação dos religadores automáticos. Estas informações serão obtidas através do site da agência reguladora ANEEL e em parceria com a concessionária de energia, ENERGISA Tocantins.

Figura 6 – LA LAGOA CONFUSÃO AO POVOADO LOROTY



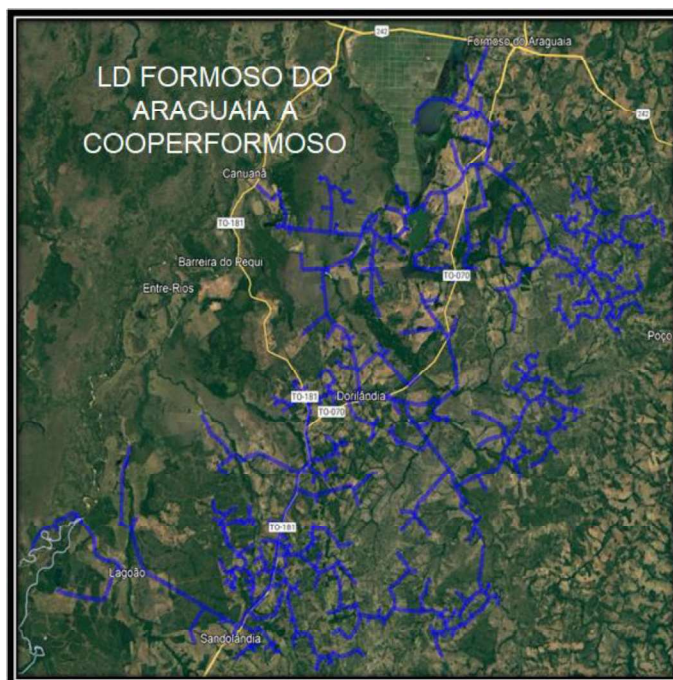
Fonte: Google Earth (2022).

Figura 7 – LD AUGUSTINOPOLIS A AXIXA



Fonte: Google Earth, 2022.

Figura 8 – LD FORMOSO DO ARAGUAIA A COOPERFORMOSO



Fonte: Google Earth, 2022.

3.3 Fontes Secundárias

As fontes secundárias que foram utilizadas são as seguintes:

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Módulo 8

Contato com ENERGISA-TO, para levantamento de quantos religadores foram instalados e a data que foram colocados em operação, para as redes que forem ser estudadas.

Levantamento bibliográfico por intermédio de livros, artigos em revistas científicas tais como Scielo e Capes, internet, teses, entre outras fontes escritas por especialistas do assunto a ser abordado.

De acordo com Fachin (2005, p. 126), “entende-se por levantamento bibliográfico o material constituído por dados primários ou secundários que possam ser utilizados pelo pesquisador”.

Destaca-se, assim, que a análise bibliográfica foi fundamental para subsidiar teoricamente o trabalho feito no estudo dos alimentadores com já mencionado.

4 ESTUDO DE CASO

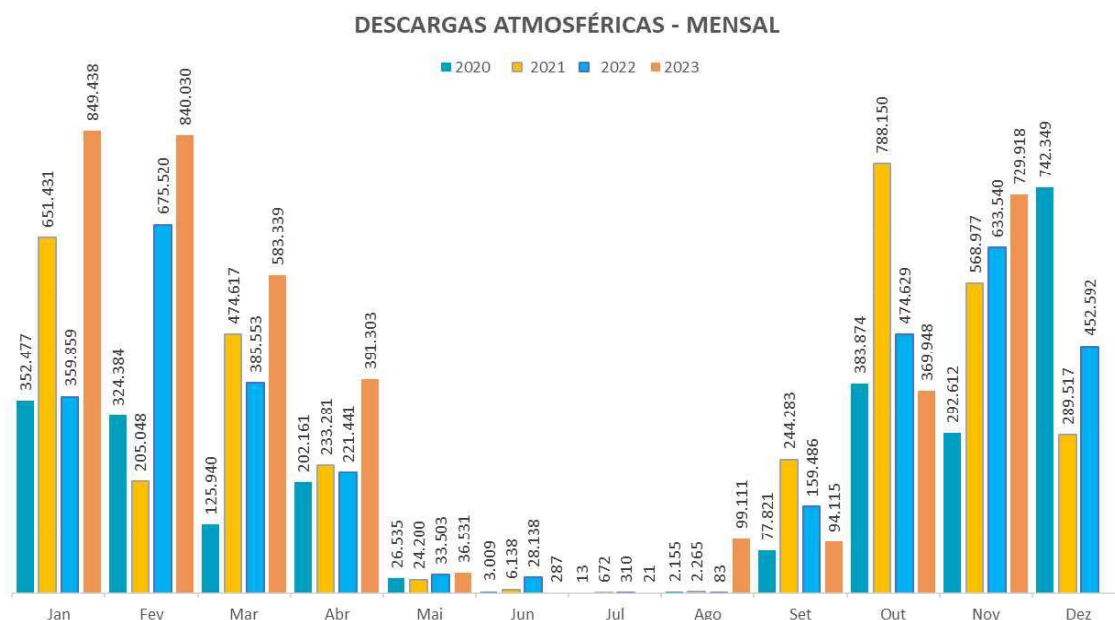
4.1 Clima

O estado do Tocantins tem duas estações bem definidas, conhecidas popularmente como período chuvoso e período seco, onde o primeiro inicia-se em outubro finalizando estendendo até abril, e o segundo de abril a setembro.

Devido essas características climáticas todos os estudos foram feitos sempre estabelecendo um comparativo de 12 meses antes e 12 meses depois da instalação dos equipamentos, para que pudesse ser avaliado o desempenho do equipamento por todo o ciclo climático que atinge o estado.

O Gráfico 1 demonstra um comparativo anual das descargas atmosféricas nuvem/solo que atingiram o estado nos últimos anos, onde pode ser notado um aumento na quantidade de descargas que assolaram o estado, o que impacta diretamente nos desarmes das redes de distribuição, incluindo as LD's estudadas, e na atuação dos equipamentos.

Gráfico 1 – Demonstrativo descargas atmosféricas



Fonte: INPE (2023).

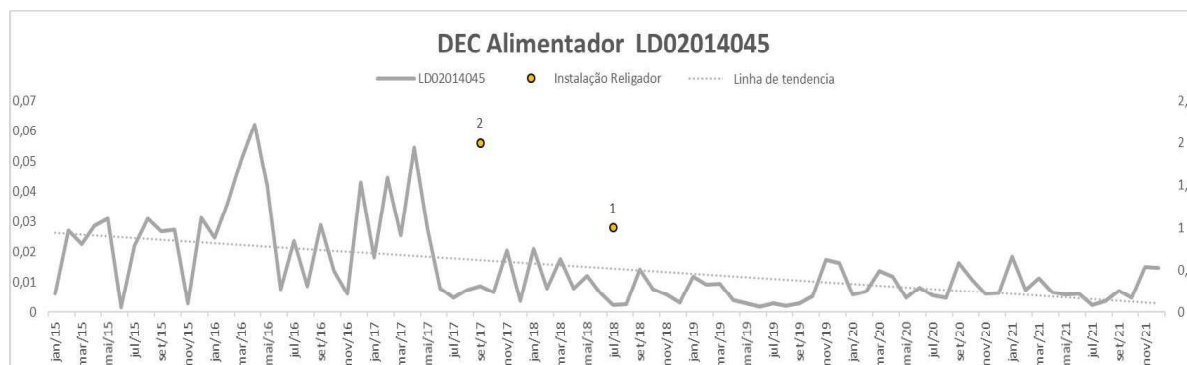
4.2 Alimentador LD02014045 AUGUSTINOPOLIS A AXIXA

O alimentador de AUGUSTINOPOLIS A AXIXA (LD02014045), está situado na região norte do estado do Tocantins abrangendo as localidades de Augustinópolis, Axixá, São Felix, Sítio Novo do Tocantins e São Miguel, essa linha de distribuição é a principal responsável pelo fornecimento de energia elétrica nas áreas rurais destas localidades possuindo atualmente cerca de 2085 clientes ao longo da linha.

Por ser predominantemente rural a LD de AUGUSTINOPOLIS A AXIXA possui uma tensão de fornecimento 34,5kv em rede trifásica, 19,9kv monofásica e 440/220KV em baixa tensão, possui como fonte primária de fornecimento a Subestação AUGUSTINÓPOLIS que recebe uma tensão de transmissão de 138kV e rebaixa para ser distribuída pela região norte do estado, vale ressaltar que todo o trecho do alimentador em referência possui uma extensão total de 83 km de tronco e até o ano de 2015 era considerada um dos piores alimentadores da região norte do estado do Tocantins.

No Gráfico 2 é possível verificar os valores do indicador de DEC da linha de distribuição e a quantidade de religadores que foram instalados ao longo do trecho do alimentador.

Gráfico 2 - DEC Alimentador LD02014045



Neste demonstrativo, verificou-se o indicador de DEC ao longo dos meses partindo de janeiro/15 até dezembro/21. Nota-se que nos meses anteriores a instalação dos 2 primeiros religadores, nos anos de 2015 e 2016 os índices de DEC eram bem elevados se comparados após a instalação desses religadores. Posteriormente a instalação do 3º religador em julho/18 pode ser verificado que esse

indicador continuou com uma tendência de queda até atingir a estabilização a partir do ano de 2020.

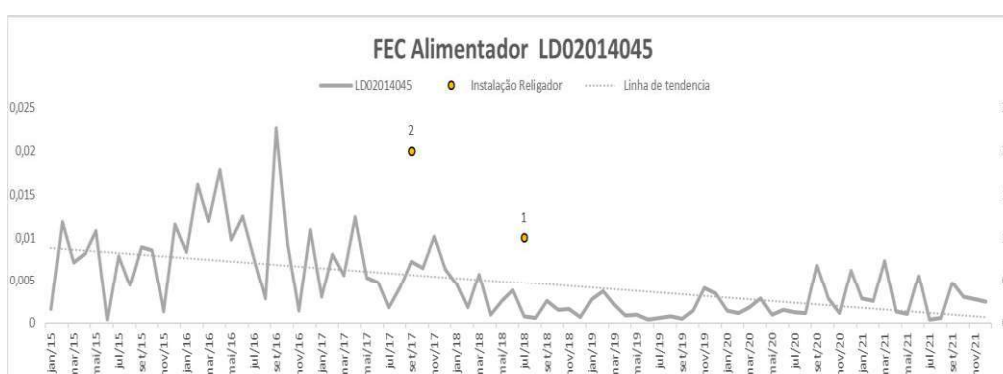
Observou-se que no final do ano de 2021 o DEC tem uma leve tendência de aumento, isso se deve a dois fatores principais, o crescimento do estado juntamente com o aumento das unidades consumidoras, e principalmente a elevação dos níveis de descargas atmosféricas como observado na Figura 9.

Tabela 1 - Demonstrativo DEC LD02014045

Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
set/17	2	0,28136932	0,12251386	-56%
jul/18	1	0,12381292	0,07467997	-40%

Assim, a Tabela 1 mostra a redução significativa no indicador DEC após a instalação dos religadores automáticos, os primeiros religadores foram instalados em 2017 no mês de setembro/17 e comparando os 12 meses anteriores e posteriores nota-se uma redução de 56% no indicador de fornecimento de energia, posteriormente e fazendo essa mesma comparação com o equipamento instalado em julho/18 e observa-se uma redução de 40% no indicador.

Gráfico 3 - FEC Alimentador LD02014045

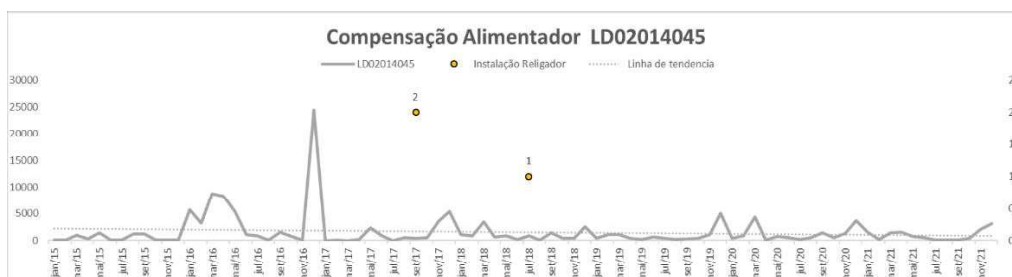


No indicador FEC, conforme evidenciado Gráfico 3, validou-se que nos períodos anteriores a instalação desses equipamentos, nos anos de 2015 e 2016, a frequência de interrupção no alimentador era mais elevada se comparada após a instalação dos religadores.

Tabela 2 - Demonstrativo FEC LD02014045

<i>FEC LD02014045</i>				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
set/17	2	0,089602685	0,046362766	-48%
jul/18	1	0,055685758	0,018462427	-67%
Total	3	0,145288443	0,064825193	-55%

Comparando os 12 meses anteriores e posteriores a instalação dos religadores, perante os dados da Tabela 2, identificou-se que houve uma redução na frequência de interrupção do fornecimento de energia. Analisando o indicador FEC, foram instalados os 2 primeiros religadores em setembro/17, nos 12 meses posteriores pode ser percebido uma redução de 48% e após a instalação do religador em julho/18 a redução do indicador FEC foi ainda maior, totalizando 67% nos meses subsequentes a instalação desses equipamentos.

Gráfico 4 - Compensação Alimentador LD02014045

O indicador de compensação, conforme mostrado no Gráfico 4, seguiu a mesma tendência de redução conforme os indicadores analisados anteriormente, porém com uma linha de tendência menor do que comparado com DEC e FEC.

Tabela 3 - Demonstrativo Compensação LD02014045

<i>COMPENSAÇÃO LD02014045</i>				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
set/17	2	30739,83	19118,67	-38%
jul/18	1	17650,71	9047,62	-49%
Total	3	48390,54	28166,29	-42%

Já a Tabela 3 demonstra uma redução substancial no indicador de compensação por interrupção no fornecimento de energia, em setembro/17 após a instalação dos religadores automáticos ao longo do trecho do alimentador uma redução de 38% comparando os 12 meses anteriores a instalação e em julho/18 quando foi instalado um novo religador a redução foi ainda maior, totalizando 49%.

Tabela 4 - Demonstrativo NAE LD0ob2014045

NAE LD02014045				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
set/17	2	684	633	-7%
jul/18	1	635	468	-26%
Total	3	1319	1101	-17%

O NAE, conforme elucidado na Tabela 4, sofreu uma redução um pouco menor do que comparado com os indicadores anteriores, comparando os 12 meses anteriores e posteriores a instalação dos religadores reduziu um total de 17% na quantidade de ocorrências emergenciais ao longo do alimentador.

Importante destacar que após a instalação dos religadores automáticos foi observado uma redução significativa nos indicadores de DEC, FEC, Compensação e NAE nos 12 meses posteriores a instalação desses equipamentos, onde é possível notar que a linha de tendência se manteve reduzindo mostrando que esses equipamentos tiveram participação direta na redução nos índices desses indicadores contribuindo na melhoria e na continuidade no fornecimento de energia ao longo do alimentador LD02014045.

4.3 Alimentador LD06047073 LAGOA CONFUSÃO AO POVOADO LOROTY

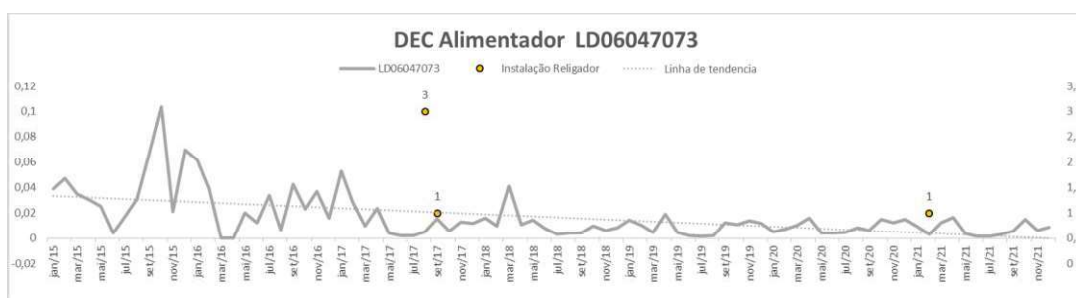
O alimentador LD LAGOA CONFUSÃO AO POVOADO LOROTY (LD06047073) abrange a região central do estado do Tocantins, é responsável pela distribuição de energia elétrica para as cidades de Lagoa da confusão, Ilha do Bananal e o povoado Loroty que somados possui um total de 927 clientes interligados ao tronco do alimentador, sendo assim, o principal ponto de interligação de distribuição de potência para zona rural dessas localidades.

A LD06047073 é alimentada com tensão de 34,5KV, configuração esta que é responsável por grande parte das redes rurais do estado do Tocantins e possui um total de 165 km de tronco.

Como ponto inicial do estudo, foram utilizados os indicadores de continuidade de fornecimento de energia (DEC, FEC, Compensação e NAE) partindo do ano de 2015 até o ano de 2021 inserindo ao longo dos meses a data de instalação dos religadores automáticos comparando nos 12 meses posteriores e anteriores se esses equipamentos foram os responsáveis pela melhoria no fornecimento de energia.

O Gráfico 5 contempla o DEC de todo o alimentador no período de janeiro/15 até dezembro/21 e a quantidade mensal de religadores instalados ao longo do alimentador.

Gráfico 5 - DEC Alimentador LD06047073



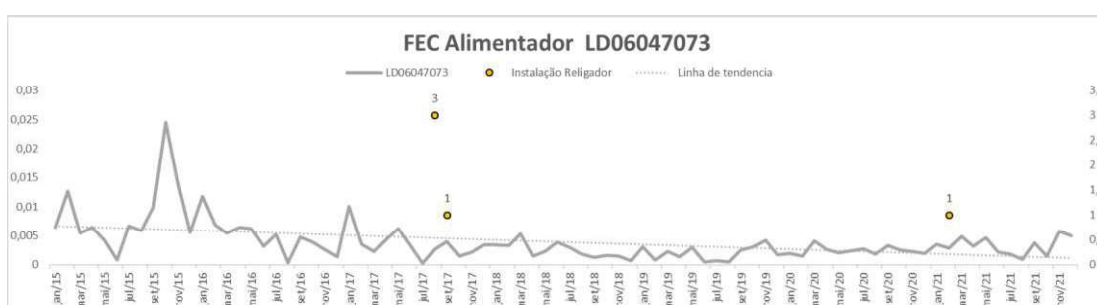
Estes dados, mostram que foram realizadas a instalação de 3 religadores no mês de julho/17, 1 em setembro/17 e 1 em julho/21. Partindo da análise dos primeiros religadores instalados no ano de 2017 nota-se graficamente que houve uma significativa redução no indicador de DEC em se comparado com o ano de 2015 e 2016 quando não possuía esses equipamentos instalados ao longo do alimentador.

Tabela 5 - Demonstrativo DEC LD06047073

DEC LD06047073				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
ago/17	3	0,247188419	0,153251743	-38%
set/17	1	0,245917216	0,141737651	-42%
fev/21	1	0,09556086	0,074715854	-22%
Total	5	0,588666495	0,369705249	-37%

Na Tabela 5 comparou-se os 12 meses anteriores e posteriores a instalação dos religadores de distribuição. Em agosto/17 onde foram instalados os 3 primeiros equipamentos, obteve-se uma redução de 38% nos 12 meses posteriores a instalação, já no mês de setembro/17 partindo da mesma comparação observou-se uma redução de 42% e em fevereiro/21 quando foi instalado o último equipamento a redução no indicador foi de 22% totalizando uma redução total no DEC desse alimentador de 37%.

Gráfico 6 - FEC Alimentador LD06047073



Em relação ao FEC, notou-se graficamente (Gráfico 6) que nos anos de 2015 e 2016 a frequência de interrupção no fornecimento de energia ao longo do alimentador era muito maior do que comparado no período posterior a instalação dos primeiros equipamentos em agosto/17 e setembro/17, no entanto após a instalação do equipamento em fevereiro/21 notou-se uma tendência de crescimento no FEC em relação ao realizado nos anos anteriores, isso se deve ao aumento das descargas atmosféricas observados no ano 2021.

Tabela 6 - Demonstrativo FEC LD06047073

FEC LD06047073				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
ago/17	3	0,042821538	0,035466823	-17%
set/17	1	0,045132705	0,032817269	-27%
fev/21	1	0,024951638	0,033338096	34%
Total	5	0,112905881	0,101622188	-10%

Na Tabela 6, evidenciou-se uma redução no FEC em relação aos anos anteriores a instalação dos equipamentos, em agosto /17 comparando os 12 meses

anteriores e posteriores houve uma redução de 17% no FEC, em setembro/17 a redução foi ainda maior totalizando em 27%. Todavia, comparando com o indicador em fevereiro/21 houve um aumento de 34% no indicador após a instalação do equipamento, um dos principais motivos para este aumento são as atividades climáticas que se mostraram mais intensas para o ano de 2021, como pode ser observado no gráfico 1.

Nesta região específica, durante os estudos junto a concessionária de energia, nota-se que uma parcela dos desarmes são causadas pelos pássaros chamados Tuiuiú que tem uma envergadura média 3 metros e ao lançar voo acabam tocando na rede e ocasionando desarmes, assunto para outro estudo específico.

Gráfico 7 - Compensação Alimentador LD06047073



Quanto ao indicador de compensação, o Gráfico 7 mostra que após a instalação religadores em 2017 houve um aumento nesse indicador isso mostra que nesse alimentador os religadores não tiveram contribuição direta na melhoria da compensação.

Tabela 7 - Demonstrativo Compensação LD06047073

<i>Compensação LD06047073</i>				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
ago/17	3	74248,51	95997,41	29%
set/17	1	73521,08	98822,65	34%
fev/21	1	58694,51	84643,37	44%
Total	5	206464,1	279463,43	35%

Na análise da Tabela 7, conforme observado no gráfico, houve um aumento no indicador de compensação evidenciando que os religadores automáticos, ainda

assim, não conseguiram contribuir na melhora desse indicador. Nos meses de agosto/17 e setembro/17 houve um aumento na compensação dos clientes de 29% e 34% respectivamente. Em fevereiro/21 o aumento foi de 44% totalizando um aumento de 35% após a instalação dos religadores automáticos.

Gráfico 6 - NAE Alimentador LD06047073



Em relação ao NAE, percebeu-se que a instalação dos religadores automáticos não tiveram contribuição significativa na redução do número de ocorrências emergências nesse alimentador. Porém, observou-se graficamente que a linha de tendência está tendendo para redução, podendo os religadores estarem contribuindo indiretamente para essa redução no indicador.

Tabela 8 - Demonstrativo NAE LD06047073

NAE LD06047073				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
ago/17	3	599	649	8%
set/17	1	604	641	6%
fev/21	1	428	366	-14%
Total	5	1631	1656	2%

Observando a Tabela 8, verificou-se que não houve redução significativa que evidenciasse que os religadores contribuíram diretamente para redução do NAE. Quando os primeiros equipamentos foram instalados em agosto/17 e setembro/17 houve um aumento de 8% e 6% respectivamente, em fevereiro/2021 comparando os 10 meses anteriores e posteriores houve um indicativo de redução no indicador em 14%.

Portanto, após a aprofundada análise nos principais indicadores que compõe a LD LAGOA CONFUSÃO AO POVOADO LOROTY, verificou que após a instalação dos religadores automáticos houveram significativas reduções nos indicadores de DEC e FEC, evidenciando que esses equipamentos contribuíram para a continuidade do fornecimento e redução na quantidade de interrupção do fornecimento de energia, sendo utilizados para isolar os defeitos permanentes de maneira mais rápido e recompondo parte da linha de maneira mais eficiente. No entanto esses equipamentos não tiveram contribuição significativa nos indicadores de Compensação e NAE.

4.4 Alimentador LD02036052 FORMOSO DO ARAGUAIA A COOPERFORMOSO

O alimentador FORMOSO DO ARAGUAIA A COOPERFORMOSO (LD02036052) está situado na região sul do estado do Tocantins, sendo o principal meio do fornecimento de energia elétrica a zona rural das localidades de Formoso do Araguaia, Sandolândia e Figueirópolis. Atualmente, a linha de distribuição possui cerca de 1131 clientes interligados ao longo do alimentador.

A LD02036052 atualmente está alimentada com uma tensão de 34,5KV, em rede trifásica, 19,9KV monofásica e 220/380V em baixa tensão tendo como fonte primária a subestação de FORMOSO DO ARAGUAIA, localizada na cidade de Formoso do Araguaia/TO, que recebe uma tensão de transmissão de 69kv, e posteriormente rebaixa para a tensão de distribuição dos alimentadores incorporados. Atualmente a linha possui uma extensão total de 116 KM no tronco é considerado uma das linhas mais extensas da região sul do estado do Tocantins.

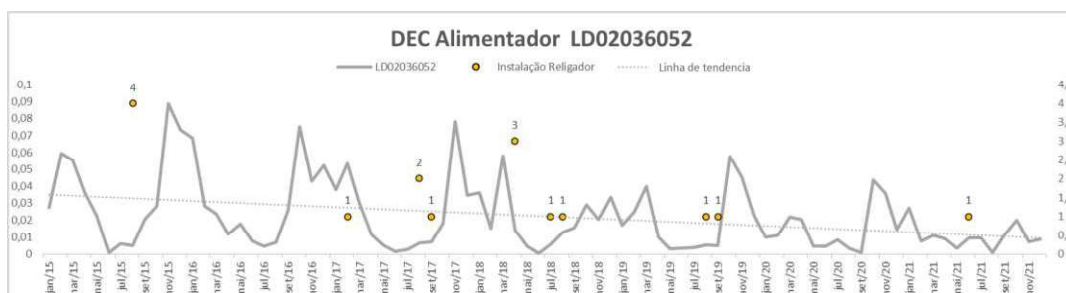
Este é o alimentador que mais recebeu a instalação de religadores ao longo do período estudado, um total de 16 equipamentos foram instalados ao longo da linha. Onde nem todos são utilizados com os parâmetros de proteção ativados, sendo utilizados apenas para realização de manobras estratégicas, como transferência de carga.

Os parâmetros de estudo para o alimentador Formoso do Araguaia a Cooperformoso, seguiu o mesmo padrão de análise anterior mencionado, iniciando os estudos com dados a partir de 2015 seguindo até 2021. Sempre olhando os 12 meses anteriores e posteriores a sua instalação, com a exceção de agosto/2015 e junho/21 que pela época da instalação e os dados levantados, foram estudados os sete meses

anteriores e posteriores a instalação do equipamento para agosto/2015, e seis meses para o ano de 2021

Iniciando com o estudo do DEC, notou-se pelo Gráfico 9, uma linha de tendência de queda ao longo dos anos, sempre após a instalação dos religadores.

Gráfico 9 - DEC Alimentador LD002036052



Em agosto de 2015 foram instalados quatro religadores, ao longo de 2017 mais quatro equipamentos foram adicionados na linha, cinco em 2018 e para o ano de 2019 a instalação de mais dois equipamentos, finalizando com um equipamento em 2021.

Tabela 9 - Demonstrativo DEC LD002036052

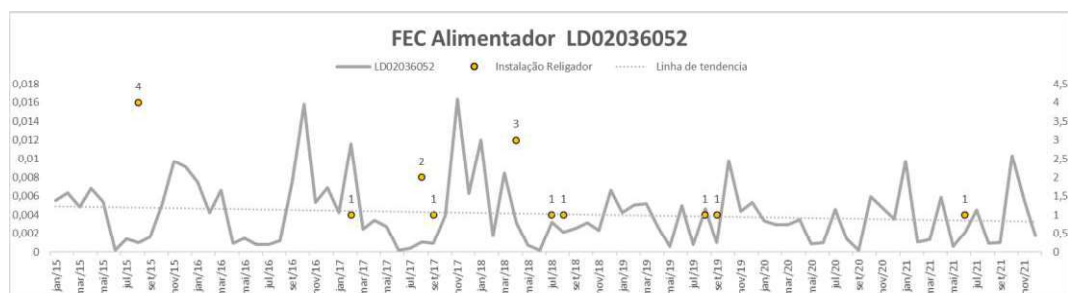
DEC LD002036052				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
ago/15	4	0,2076976	0,331049305	59%
fev/17	1	0,335398122	0,246176181	-27%
ago/17	2	0,345552391	0,28460975	-18%
set/17	1	0,345117897	0,292900641	-15%
abr/18	3	0,274176211	0,21343029	-22%
jul/18	1	0,275372352	0,212702063	-23%
ago/18	1	0,278431845	0,205371261	-26%
ago/19	1	0,212702063	0,213892743	1%
set/19	1	0,205371261	0,209894405	2%
jun/21	1	0,072700181	0,057388327	-21%
Total	16	2,552519922	2,267414966	-11%

A Tabela 9 nos mostra a redução do indicador a cada instalação, variando entre 15% de redução a 27% nos casos mais significativos. Tendo como exceção o ano de 2019 que teve um ligeiro aumento no indicador. Em 2015 pode ser observado um aumento significativo do indicador, início do período chuvoso no estado, logo após a instalação dos religadores, contudo como os dados não contempla os 12 meses

planejados para o estudo, para este caso, a comparação antes e depois ficou prejudicada, pelo fato do comparativo ficou entre período seco e chuvoso.

Quanto a frequência de interrupção no fornecimento de energia (FEC), o comportamento do sistema foi muito semelhante ao DEC, onde houve uma redução um pouco menos intensa, porém significativa, tendo alguns picos ao longo do período estudado como pode ser observado em novembro a janeiro de 2017 (Gráfico 10).

Gráfico 10 - FEC Alimentador LD002036052



Esses momentos de picos e tendencia de elevação dos indicadores, que a distribuidora utiliza para realizar a viabilidade de instalação de novos religadores, onde graficamente percebe-se a queda do indicador imediatamente após a instalação.

A Tabela 10 ressalta detalhadamente o ganho de indicador com cada instalação realizada, em abril/2018 observou-se o maior ganho de redução chegando a 34%, e em setembro/2017 logo após a instalação de dois equipamentos em agosto do mesmo ano a redução foi singela, de apenas 1%, aqui nitidamente observa-se a exemplificação de equipamento que foi instalado com a estratégia de interligação e manobras.

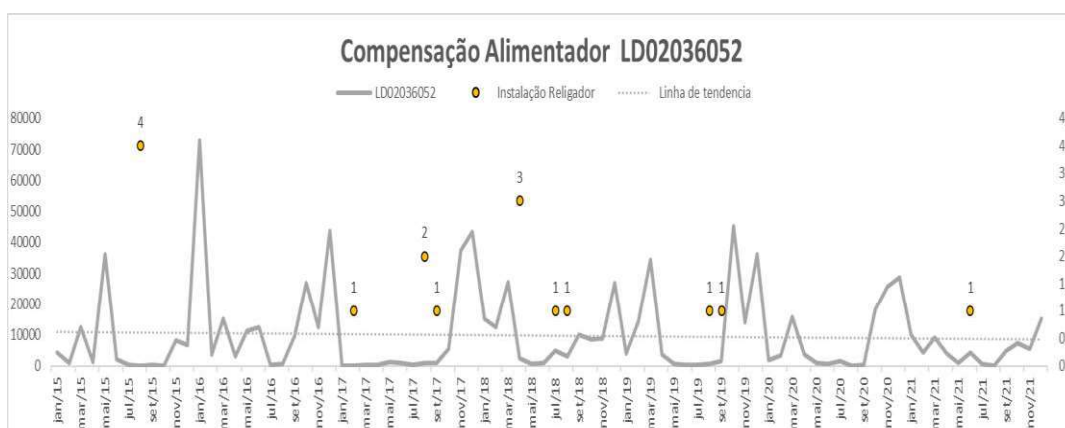
Tabela 10 - Demonstrativo FEC LD002036052

FEC LD02036052				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
ago/15	4	0,030603874	0,044017757	44%
fev/17	1	0,055717988	0,05169421	-7%
ago/17	2	0,06184079	0,059216331	-4%
set/17	1	0,061730501	0,060837938	-1%
abr/18	3	0,057650403	0,038231923	-34%
jul/18	1	0,055303488	0,040440827	-27%
ago/18	1	0,058116287	0,04292841	-26%
ago/19	1	0,040440827	0,041167198	2%
set/19	1	0,04292841	0,040327789	-6%
jun/21	1	0,022186616	0,024138433	9%
Total	16	0,486519183	0,443000816	-9%

Próximo indicador a ser apresentado, é o de compensação, o seu comportamento acompanha a curva de DEC, tendo seus picos nos períodos chuvosos, com a maior intensidade de ventos e descargas atmosféricas e estabilidade nos períodos de seca. A linha de tendencia mostra a redução do indicador de forma geral, e observando os momentos de picos ao longo dos anos essa redução se torna mais evidente.

Considerando que ao decorrer dos anos, existe um aumento na quantidade de unidades consumidoras, o consumo médio em kw/h mês por cada unidade tende a crescer e a compensação paga por descontinuidade no fornecimento de energia é proporcional ao consumo e quantidade de clientes, e mesmo assim existe queda no indicador, mostra a eficiência que os equipamentos instalados tiveram nesta rede (Gráfico 11).

Gráfico 11 - Compensação Alimentador LD002036052



De maneira mais detalhada, a tabela de compensação da LD02036052 (Tabela 11) mostra o comportamento do indicador, sendo bem variado a redução ou aumento do indicador, perante a instalação dos equipamentos. Observa-se que geralmente os aumentos acontece quando o religador é instalado próximo ao início do período chuvoso.

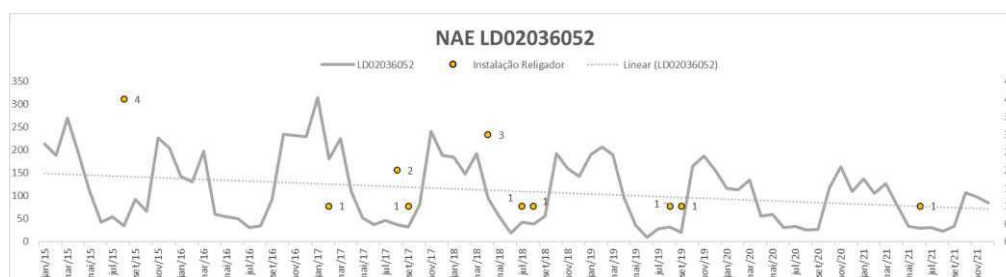
Tabela 11 - Demonstrativo Compensação LD02036052

COMPENSAÇÃO LD02036052				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
ago/15	4	57349,64	106830,93	86%
fev/17	1	138627,14	119376,47	-14%
ago/17	2	96710,49	154183,27	59%
set/17	1	97104,57	163113,22	68%
abr/18	3	146154,29	120141,17	-18%
jul/18	1	147614,86	115205,63	-22%
ago/18	1	151918,93	112733,47	-26%
ago/19	1	115205,63	125220,97	9%
set/19	1	112733,47	123975,7	10%
jun/21	1	57142,14	33580,47	-41%
Total	16	1120561,16	1174361,3	5%

Uma das linhas de tendencia em redução mais significativa apresentada para este alimentador é sem dúvida mostrada no gráfico 12, onde pode ser observado o quanto a instalação do religador foi impactante para a redução do NAE, número de atendimentos emergenciais. Visto que as chaves fusíveis necessitam de deslocamento de equipe para o restabelecimento do fornecimento de energia, enquanto o religador faz isso de forma automática e remota.

Saindo de um patamar de 270, um pico de 315 chegando a aproximadamente 100 atendimentos emergências na rede (Gráfico 12).

Gráfico 12 - NAE Alimentador LD002036052



Na tabela de demonstrativo do NAE, visualizou-se desde uma leve queda no primeiro ano de 1% até uma redução de 37% no indicador. Contribuindo para a redução de DEC, FEC visto anteriormente. Uma pequena ressalva para o ano de 2018 que teve um leve crescimento, que podem ter ocorrido devido agentes externos como intensidades de chuvas na região, porém nada que prejudicasse o andamento no ganho que o alimentador veio tendo durante os anos estudados (Tabela 12).

Tabela 12 - Demonstrativo NAE LD02036052

<i>NAE LD02036052</i>				
Data instalação Religador	Quantidade	Indicador 12 meses antes	Indicador 12 meses depois	Desvio
ago/15	4	1070	1059	-1%
fev/17	1	1658	1378	-17%
ago/17	2	1788	1315	-26%
set/17	1	1791	1338	-25%
abr/18	3	1346	1386	3%
jul/18	1	1316	1344	2%
ago/18	1	1313	1337	2%
ago/19	1	1344	1094	-19%
set/19	1	1337	1101	-18%
jun/21	1	591	374	-37%
Total	16	13554	11726	-13%

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 13 apresenta um resumo de todos os indicadores que foram estudados e mencionados durante o presente trabalho, podendo ser observado a grande eficiência que os religadores podem trazer a rede de energia de distribuição, com uma redução média de 34% no DEC e 18% no FEC durante os anos de 2015 a 2021.

Tabela 13 – Ganhos dos indicadores

Alimentador	DEC	FEC	COMP.	NAE
LD02014045	-53%	-52%	-43%	-17%
LD02036052	-11%	-9%	5%	-13%
LD06047073	-37%	6%	35%	2%
Média	-34%	-18%	-1%	-9%

O estudo do indicador DEC no alimentador LD02014045, que conecta Augustinópolis a Axixa, revelou temporalidade abrangente dos impactos da instalação dos religadores automáticos ao longo do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2021.

Durante os anos anteriores à instalação dos primeiros religadores, observou-se uma elevação substancial nos índices de DEC nos anos de 2015 e 2016. Essa tendência ascendente sugere uma vulnerabilidade na confiabilidade da rede elétrica, refletindo em tempos de interrupção prolongados para os consumidores. A partir de setembro de 2017, com a implementação dos dois primeiros religadores automáticos, percebeu-se uma redução nos índices de DEC.

O comparativo DEC antes e depois da instalação dos religadores frisa a eficácia desses dispositivos na mitigação dos tempos de interrupção. Notou-se uma redução percentual notável nos 12 meses subsequentes à instalação dos primeiros religadores, atingindo uma diminuição de 56% nos índices de DEC. Este resultado confere uma contribuição direta dos religadores na estabilização e melhoria da continuidade do fornecimento de energia elétrica ao longo do alimentador LD02014045.

Além disso, a instalação do terceiro religador em julho de 2018 fortaleceu essa tendência de queda nos índices de DEC, proporcionando uma redução adicional de 40% nos 12 meses posteriores à sua implementação. Este período pós-instalação é

concernente a uma estabilização nos índices de DEC, indicando que os religadores são fidedignos na minimização dos tempos de interrupção ao longo do alimentador.

A análise revelou, de forma robusta, que a introdução dos religadores automáticos no alimentador LD02014045 teve um impacto expressivo na redução dos tempos de interrupção, corroborando a eficácia desses dispositivos na manutenção da qualidade do fornecimento de energia elétrica. Esses resultados reforçam a importância estratégica dos religadores automáticos na gestão assertiva e na promoção da confiabilidade das linhas de distribuição em sistemas elétricos de grande escala.

Com isso, a variação do indicador de compensação ao longo do tempo expressa padrões distintos que são primários para a avaliação do impacto desses dispositivos na gestão das interrupções no fornecimento de energia elétrica. A validação gráfica, ao mostrar a variação do indicador ao longo do tempo, destaca períodos específicos, como setembro de 2017 e julho de 2018, coincidindo com a instalação de religadores. Nestes momentos, observou-se uma queda acentuada no indicador de compensação, indicando uma resposta positiva dos religadores na redução do impacto das interrupções.

Porém, é válido ressaltar que, apesar da contribuição positiva dos religadores, existem períodos em que o indicador de compensação apresenta aumento, especialmente no final de 2021. Esses aumentos podem ser atribuídos a fatores externos, como eventos climáticos extremos, que desafiam a capacidade dos religadores em manter a continuidade do fornecimento.

No que se refere ao indicador NAE, a observação da tendência desse aspecto, permitiu avaliar a contribuição dos religadores na redução dos atendimentos emergenciais ao longo do alimentador LD02014045. A variação do NAE após a instalação dos religadores também elucida uma tendência de queda, indicando uma possível correlação positiva entre esses dispositivos e a minimização de ocorrências emergenciais.

Ao se concentrar no alimentador LD06047073, evidencia-se uma relação direta entre a instalação dos religadores automáticos e a redução significativa nos indicadores DEC e FEC. A análise temporal mostra uma clara tendência de queda nesses indicadores após a introdução dos religadores em 2017, destacando a eficácia desses dispositivos na minimização do tempo de interrupção e na frequência desses eventos. Contudo, é importante notar que, em relação aos indicadores de

Compensação e NAE, os resultados são mais modestos, sugerindo que os religadores podem não ter impacto direto nesses aspectos.

No estudo específico do alimentador LD02036052, responsável por fornecer energia à região sul do Tocantins, a análise dos indicadores DEC, FEC, Compensação e NAE após a instalação de 16 religadores ao longo da linha revela uma tendência consistente de redução nos índices de DEC e FEC.

Destaca-se a capacidade dos religadores em lidar com falhas permanentes de forma rápida e eficiente, contribuindo para a estabilização do fornecimento. Contudo, ao considerar os indicadores de Compensação e NAE, os resultados são mais variados, indicando que outros fatores climáticos e operacionais podem influenciar esses aspectos.

Quanto ao impacto direto dos religadores automáticos no FEC, apresentou-se um comparativo antes e depois da instalação desses dispositivos, fornecendo uma visão clara das mudanças nos níveis de frequência de interrupções.

Paralelamente, em relação ao Alimentador LD02036052, as análises temporais revelam um panorama marcado pela instalação de 16 religadores ao longo do período estudado. Assim, configurou-se a consistente tendência de queda no DEC após cada instalação de religadores, corroborando a eficácia desses dispositivos na redução das interrupções.

O comportamento do FEC e da Compensação segue padrões semelhantes, refletindo a influência positiva dos religadores na frequência de interrupções. A análise desses indicadores destaca a importância estratégica dos religadores, especialmente em períodos críticos, como os meses chuvosos. Notavelmente, a análise do NAE revela uma contribuição ampla na redução do número de atendimentos emergenciais, indicando a eficiência dos religadores na automação e rápida recomposição da linha.

Diante dos resultados, percebeu-se que a instalação dos religadores no alimentador LD02036052 teve um impacto substancial na melhoria da qualidade do fornecimento de energia elétrica.

Ao comparar os resultados entre os alimentadores LD02014045, LD06047073 e LD02036052, é possível observar variações nas tendências de redução nos indicadores de Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, Compensação e Número de Atendimentos Emergenciais.

O alimentador LD02014045, em exemplificação, apresenta uma redução significativa no FEC após a instalação dos religadores, indicando uma melhoria

substancial na frequência de interrupções. Já o alimentador LD06047073 mostra uma variação mais complexa, com momentos de redução expressiva e, em alguns casos, aumento no FEC após a implementação dos religadores.

Por consequência, o alimentador LD02036052, o qual recebeu o maior número de religadores, exibe uma consistente tendência de queda nos indicadores, indicando uma eficácia contínua desses dispositivos ao longo do tempo. Ademais, fatores como descargas atmosféricas, intensidade de chuvas e eventos naturais foram pontos capazes de influenciar diretamente na eficácia dos religadores.

Nesse íterim, a coleta de dados, dividida entre fontes primárias e secundárias, proporcionou uma visão abrangente dos impactos dos religadores automáticos nessas linhas de distribuição.

Gradualmente, ao analisar o alimentador LD02014045 (Augustinópolis a Axixa), observou-se uma consistente redução nos indicadores de DEC, FEC, Compensação e NAE após a instalação dos religadores automáticos.

A queda de 56% no DEC nos 12 meses subsequentes à instalação dos dois primeiros religadores em setembro/17, seguida por uma redução adicional de 40% com a adição de um terceiro religador em julho/18, verificou a eficácia desses dispositivos na melhoria da continuidade do fornecimento de energia.

Para o alimentador LD06047073 (Lagoa Confusão ao Povoado Loroty), os resultados evidenciaram uma redução no DEC, atingindo 37% de queda após a instalação de três religadores em agosto/17. No entanto, o FEC mostrou uma tendência de aumento em fevereiro/21, possivelmente devido a eventos climáticos específicos. A Compensação e o NAE não apresentaram melhorias expressivas, sugerindo limitações na contribuição direta dos religadores para esses indicadores.

Já no alimentador LD02036052 (Formoso do Araguaia a Cooperformoso), a instalação de 16 religadores ao longo da linha resultou em consistentes reduções nos indicadores de DEC e FEC. A análise detalhada indicou quedas entre 15% e 27% no DEC, enquanto o FEC apresentou uma variação entre 17% e 34%, com momentos de pico relacionados a eventos climáticos.

A Compensação teve uma redução notável, refletindo a eficiência dos religadores. O NAE mostrou uma redução em escala significativa, indo de 1% a 37%, destacando o impacto positivo dos religadores na diminuição das ocorrências emergenciais.

A análise climática, representada pelas descargas atmosféricas, revelou um aumento no número de eventos, impactando diretamente os desarmes das redes de distribuição. A abordagem comparativa de 12 meses antes e depois da instalação dos religadores permitiu avaliar o desempenho desses dispositivos ao longo do ciclo climático característico do Tocantins.

É importante salientar que, em alguns casos, eventos específicos, como a presença de aves que causam desarmes, podem influenciar certos indicadores. Além disso, o aumento na quantidade de unidades consumidoras ao longo do tempo tende a contribuir para variações nos indicadores.

Em suma, os resultados apontaram para a efetividade dos religadores automáticos na redução dos indicadores de continuidade de fornecimento de energia elétrica. Contudo, é necessário considerar fatores externos, condições climáticas e peculiaridades locais ao interpretar as variações nos indicadores.

Por fim, esses dados fundamentam a importância dos religadores automáticos como ferramentas estratégicas para garantir a confiabilidade e a eficiência na distribuição de energia elétrica. Sugere-se que futuras pesquisas explorem a integração de tecnologias complementares e considerem a evolução das condições operacionais ao longo do tempo.

6 CONCLUSÃO

Em decorrência da análise aprofundada realizada nos alimentadores LD02014045, LD06047073 e LD02036052, torna-se evidente que a instalação de religadores automáticos exerce um impacto amplo na melhoria dos indicadores de desempenho em sistemas de distribuição de energia elétrica.

Durante a pesquisa, examinou-se diversas fontes de informação, desde estudos acadêmicos até relatórios de organizações renomadas, ANEEL e Energisa, a fim de obter uma perspectiva completa e embasada.

Ao longo do trabalho, validou-se que a influência dos religadores nas linhas de distribuição possui uma complexidade significativa, com várias facetas e interconexões. Constatou-se que existem múltiplos fatores que influenciam o fenômeno em estudo, como ações extra que as distribuidoras fazem nas linhas antes da instalação dos religadores, como por exemplo limpeza de faixa, e compreender todas as suas nuances demanda um esforço contínuo de pesquisa e investigação.

Ao recapitular as principais descobertas, observou-se que o alimentador LD02014045 obteve uma redução expressiva no FEC, corroborando para a estabilidade do fornecimento de energia.

O LD06047073, embora tenha apresentado variações, mostrou melhorias significativas após a instalação dos religadores, demonstrando sua eficácia em reduzir as interrupções. Já o LD02036052, que recebeu o maior número de religadores, evidenciou uma consistente tendência de queda nos indicadores, fortalecendo a importância desses dispositivos em sistemas extensos de distribuição.

Este estudo contribuiu significativamente para o campo da distribuição de energia elétrica ao proporcionar considerações sobre os impactos da implementação de religadores automáticos em diferentes cenários operacionais.

A análise comparativa entre alimentadores ofertou uma compreensão mais abrangente e contextualizada desses dispositivos, fornecendo uma base sólida para decisões operacionais e estratégicas no setor elétrico. Aliás, a investigação sobre fatores externos e condições climáticas acrescentou uma camada de complexidade à análise, robustecendo o entendimento da interação entre os religadores e o ambiente de operação.

No decorrer da análise dos dados, identificou-se padrões interessantes e tendências emergentes na redução dos indicadores de continuidade do fornecimento

da energia elétrica. Essas descobertas permitiram imersões e corroboraram para um maior entendimento do problema em questão. No entanto, é importante ressaltar que este estudo não esgotou todas as possibilidades de investigação e que novas pesquisas podem aprofundar ainda mais a compreensão prática e teórica desta temática.

Aliás, ao longo do trabalho, também foram denotadas algumas limitações. Restrições de tempo, acesso a dados e recursos podem ter influenciado os resultados e a amplitude da análise. Entretanto, essas limitações servem como pontos de partida para estudos futuros, fornecendo oportunidades para expandir o conhecimento e aprimorar a pesquisa.

Em suma, este trabalho ofereceu uma contribuição para o entendimento do funcionamento dos religadores automáticos instalados nas linhas de distribuição. Ao combinar uma revisão abrangente da literatura, análise de dados e reflexões críticas, buscou-se fornecer uma visão compreensiva e fundamentada. Do mesmo modo, cumpriu-se cada um dos objetivos listados previamente. Ainda, tencionou-se corroborar de modo constante para a área da engenharia elétrica.

Com base nas limitações identificadas, recomenda-se futuras pesquisas direcionadas a aprofundar a compreensão da interação entre religadores e sistemas de proteção, considerando diferentes topologias e configurações na prática. Explorar os efeitos dos religadores em condições adversas e eventos extremos tende a amplificar a robustez desses dispositivos em cenários desafiadores.

Ainda mais, uma análise detalhada das influências de fatores climáticos e eventos externos pode proporcionar uma visão precisa dos resultados levantados nesta investigação através da ampliação do campo de estudo. Investigar a implementação de tecnologias complementares em conjunto com religadores também emerge como uma área promissora para otimizar ainda mais o desempenho dos sistemas de distribuição, correlacionando os avanços tecnológicos alcançados na contemporaneidade

Por conseguinte, avançou-se no entendimento sobre os efeitos dos religadores automáticos em sistemas de distribuição de energia elétrica, além de ofertar um alicerce sólido para pesquisas futuras que visem aprimorar continuamente a eficiência e confiabilidade desses dispositivos fundamentais para a infraestrutura elétrica moderna.

REFERÊNCIAS

- ABRADEE. **Visão Geral do Setor**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setoreletrico/visao-geral-do-setor>> Acesso em: 18 maio. 2022
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 25 maio. 2022.
- BRITO, G. O; RONCATA, J. V. P.; BANDEIRA, R. H. **Estudo sobre o dispositivo de proteção chave fusível sob os pontos de vista normativo-técnico e dos materiais**. Artigo do XXVIII Seminário de Iniciação Científica – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Rio Grande do Sul, 2021.
- CASSIOLATO, A. F. **Estudo de viabilidade técnica de um sistema de geração de energia fotovoltaico aplicado a um religador automático de proteção de redes de distribuição de energia em média tensão**. Monografia (Especialização) Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2018.
- CPFL. GED 2912 - **Proteção de redes aéreas de distribuição**. 2016. Disponível em: < <http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2912.pdf>> Acesso em: 5 de maio. 2022.
- EATON. **Religadores: Fundamentos de religadores**. Disponível em <<https://www.eaton.com/br/pt-br/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/reclosers/reclosers--fundamentals-of-reclosers.html>> Acesso em: 20 de maio. 2022.
- ENERGIA, C. Ged-2912: Proteção de redes aéreas de distribuição - sobrecorrente. Norma Técnica, Campinas, 2016.
- FACHIN, Odília. **Fundamentos de Metodologia**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- FERREIRA, G. D. **Otimização da confiabilidade de sistemas de distribuição de energia elétrica: Uma abordagem considerando a seleção e alocação de dispositivos de proteção e manobras**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. p. 38 – 45.
- GARZON R. D. **High voltage circuit breakers: Design and applications**. CRC Press, New York, 2002.
- GERS, J. M. & HOLMES, E. J. **Protection of Electricity Distribution Networks**. 3. Ed. London: The Institution of Engineering and Technology ,2011.
- GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2002.
- HOSS, M. P. **Estudo da melhoria alcançada nos índices de continuidade com a aplicação de religadores automáticos em rede de distribuição**. TCC

(Graduação) Universidade regional do noroeste do estado do Rio Grande do SUL (UNIJUI), Santa Rosa, 2018.

KONDO, Daniela Vinci. **Alocação de religadores automatizados em sistemas de distribuição**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2015.

LEME, D. M.; CUNHA, M. A.; PITOCCHO, T. A.; RIZZARDI, W. C. **Sistema de Proteção de Rede de Distribuição de Energia Elétrica**. Dissertação (Bacharel). Universidade São Francisco Itatiba, Itatiba, 3 p., 2013.

MAMEDE Filho, João. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 2011. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MOURA, C. J. S. **Estudos para implantação de um sistema de recomposição automática para a rede de distribuição do campus do PICI**. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ceará (UFC), Fortaleza, 77 p., 2010.

NOGUEIRA, Carlos Eduardo Rodrigues. **Autorrestauração de redes de distribuição com foco na operação da distribuição - ferramenta de auxílio à tomada de decisão**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2016.

RODIGHERI, A. **Simulação da confiabilidade de redes primárias de distribuição considerando faltas temporárias, equipamentos religadores e manobras de restauração**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 181 p., 2013.

S&C, E. C. **Religadores montados em Chave Fusível Tripsaver II**. Guia de Estratégia – S&C ELECTRIC COMPANY 2022.

S&C, E. C. **Repensando sua estratégia de proteção de Derivações**. Guia de Estratégia – S&C ELECTRIC COMPANY 2022.

SILVA, L. G. W.; MANTOVANI, J. R. S. **Alocação otimizada de dispositivos de proteção em sistemas de distribuição de energia elétrica**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2002.

SILVEIRA, Francisco T.; GALVANI, Gustavo T. de A.; SOUZA, Euzébio D. **Coordenação entre religador e seccionalizador em redes de distribuição**. Exacta, Belo Horizonte, v.4,n.3,dex.2011.Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/viewFile/707/410>>. Acesso em: 6 maio 2022.

TENFEN, D. **Alocação ótima de chaves telecomandadas em redes de distribuição com multi-objetivo via algoritmos genéticos de Pareto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 164 p., 2011.

TONELLI, M. S. N. **Desenvolvimento de um Sistema Inteligente para o Diagnóstico e Prognóstico de Falhas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. Tese (Doutorado), 2015. Citado na página.

ZIMMER, C.; FRANCO JÚNIOR, M. A. **Automação da distribuição de energia: recomposição automática de redes de distribuição**. 2014. TCC (Graduação Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, 2014.