

ANÁLISE DA MELHORIA DE INDICADORES DE CONTINUIDADE DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA NA SUBSTITUIÇÃO DE UMA CHAVE FUSÍVEL POR UM RELIGADOR MONOFÁSICO TRIPSAVER

Bruno Francisco da Silva¹; Felipe Laure Miranda².

¹Bruno Francisco da Silva, IFTM, Campus Paracatu, bruno.francisco@estudante.iftm.edu.br

² Felipe Laure Miranda, Campus Paracatu, MG, felipelaure@iftm.edu.br

Resumo:

O artigo explora o aumento do consumo de energia elétrica, a dependência da sociedade e a necessidade de continuidade no fornecimento de energia elétrica. As distribuidoras são fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que monitora a qualidade da energia, atendimento e continuidade, sendo esta última medida por indicadores como Duração Equivalente por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de interrupção por unidade Consumidora (FEC). O estudo visa analisar os impactos da substituição de chaves fusíveis por religadores monofásicos na estimação dos índices. O objetivo é verificar a redução desses indicadores após a substituição em um equipamento em ramais nas cidades de Unaí-MG e Buritis-MG. A pesquisa envolveu coleta de dados em campo, incluindo a memória de massa do religador e o histórico da chave fusível. Os dados foram obtidos via *software* "Gdis® (Companhia Energética de Minas Geras S.A, Belo Horizonte, MG, BR)" e através de testes no religador, posteriormente foram calculados o DEC e o FEC para comparação. A análise foi quantitativa e qualitativa. A partir desse estudo percebeu-se uma melhora nos indicadores de continuidade após a substituição em ambos os casos. Os religadores reduziram interrupções transitórias devido a religamentos automáticos. No entanto, uma interrupção longa em Buritis evidenciou a necessidade de inspeções periódicas na rede. As análises gráficas dão indícios de uma melhora nos indicadores. Por fim, a automação com religadores monofásicos melhoram a continuidade e eficiência, especialmente em interrupções transitórias, mas a manutenção preventiva é crucial para evitar falhas permanentes. Os registros de aberturas podem ser utilizados para otimizar as manutenções periódicas. Contudo, o estudo sugere a necessidade de pesquisas em outras regiões climáticas.

Palavras-chave: religadores; continuidade; chave fusível; DEC; FEC; distribuição de energia.

ANALYSIS OF THE IMPROVEMENT OF POWER DISTRIBUTION SERVICE CONTINUITY INDICATORS WHEN REPLACING A FUSE CUTOUT WITH A SINGLE-PHASE TRIPSAVER RECLOSER

Abstract: The article explores the increase in electricity consumption, society's dependence on it, and the need for continuity in the supply of electrical energy. Distributors are inspected by the National Electric Energy Agency (ANEEL), which monitors energy quality, service, and continuity, with the latter being measured by indicators such as Equivalent Duration per Consumer Unit (DEC) and the Equivalent Frequency of interruption per Consumer Unit (FEC). The study aims to analyze the impacts of replacing fuse switches with single-phase reclosers in the estimation of the

indices. The objective is to verify the reduction of these indicators after the replacement in equipment in branches in the cities of Unaí-MG and Buritis-MG. The research involved data collection in the field, including the mass memory of the recloser and the history of the fuse switch. The data were obtained via the software "Gdis® (Companhia Energética de Minas Geras S.A, Belo Horizonte, MG, BR)" and through tests on the recloser, and DEC and FEC were subsequently calculated for comparison. The analysis was quantitative and qualitative. From this study, an improvement in the continuity indicators was noticed after the replacement in both cases. The reclosers reduced transient interruptions due to automatic reclosures. However, a long interruption in Buritis highlighted the need for periodic inspections of the network. The graphical analyses indicate an improvement in the indicators. Finally, automation with single-phase reclosers improves continuity and efficiency, especially in transient interruptions, but preventive maintenance is crucial to avoid permanent failures. The opening records can be used to optimize periodic maintenance. However, the study suggests the need for research in other climatic regions.

Keywords: reclosers; reclosers; continuity; fuse switch; dec; fec; power distribution.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o consumo de energia elétrica tem crescido consistentemente no Brasil e no mundo. Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2024), nos últimos 20 anos o consumo residencial no Brasil cresceu em média 4% ao ano. Com isso, na ocorrência de uma interrupção no fornecimento de energia diversos serviços deixam de funcionar, como o atendimento aos consumidores residenciais, produção industrial, os comércios entre outros.

Nesse contexto, é importante lembrar como a energia chega ao seu destino. Inicialmente, ela é gerada em usinas hidrelétricas, solares, eólicas, nucleares, entre outras. Após isso, a energia é transformada através de transformadores elevadores e transmitida através de grandes linhas de transmissão até chegar no sistema de distribuição e a partir do sistema de distribuição ser levada até o consumidor final. O sistema de distribuição no Brasil tem um modelo de monopólio, esse sistema é formado por grandes empresas responsáveis por distribuir energia até os consumidores finais.

Essas distribuidoras são fiscalizadas através da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), responsável por verificar a conformidade no que tange a qualidade da energia elétrica, o atendimento comercial e a continuidade do serviço, neste artigo, será dada atenção especial a este último, sendo o foco do presente estudo.

Para realizar essa fiscalização a ANEEL tem uma série de regras compiladas na resolução normativa nº 956/2021, denominada PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). Esse procedimento é dividido em 11 módulos, porém, será explorado somente o Módulo 8 – Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica.

Nesse sentido, as distribuidoras enfrentam seu maior desafio imposto através do PRODIST módulo 8, esse desafio é o de sempre aumentar e manter sua qualidade do serviço através da manutenção da disponibilidade do fornecimento de energia, ininterruptamente. Para medir essa qualidade de serviço é importante destacar os principais indicadores de continuidade coletivos que são o DEC e o FEC, que, quando não cumpridos pela concessionária, a ANEEL poderá impor punições e até a perda da concessão (Feliphe et al., 2020).

Neste contexto, objetiva-se analisar se houve redução nos indicadores de continuidade DEC e FEC após a substituição de duas chaves fusíveis, em pontos distintos, por dois religadores monofásicos. Para atingir o objetivo proposto, foram levantadas em campo a memória de massa do religador TripSaver® e o histórico de serviços executados nas chaves fusíveis antes de suas substituições pelos religadores. Através desses dados, foram calculados os indicadores de continuidade (DEC e FEC) ano a ano para a realização de comparações e a verificação de possíveis melhorias nesses indicadores após a automação dos equipamentos identificados pelos códigos 271899 e 327324.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial teórico

2.1.1 Proteção de sistemas elétricos

A proteção de sistemas elétricos é essencial para garantir a segurança, a confiabilidade e a continuidade do fornecimento de energia. Segundo Mamede e Ribeiro (2020), na confecção de um estudo de proteções é necessário observar alguns conceitos fundamentais para se obter um sistema seguro e confiável, como seletividade, coordenação, velocidade, sensibilidade, segurança e confiabilidade (Mamede; Ribeiro, 2020).

A seletividade, essencial na proteção de sistemas de distribuição, é definida por Ferri et al. (2021), como a capacidade de um sistema garantir que o dispositivo

mais próximo da falha atue primeiro, isolando a área afetada e mantendo o restante da rede operacional, alcançada pela coordenação dos tempos de atuação.

Outro conceito a ser verificado nessa área é o da coordenação que, segundo Ferri et al. (2021), corresponde à organização e o ajuste dos dispositivos de proteção em série de modo que eles operem de forma preestabelecida. Isso permite o restabelecimento automático do sistema em faltas temporárias e garante a seletividade em faltas permanentes. O autor enfatiza ainda que a coordenação é crucial para evitar que uma grande parte da rede seja desligada permanentemente devido a um defeito temporário, prevenindo o deslocamento de equipes de manutenção para religar a rede manualmente.

Nesse sentido, a velocidade de atuação também deve ser destacada. A velocidade deve ser tal que o dispositivo atingido por uma falta se sensibilize o mais rápido possível, efetuando abertura de seus contatos fazendo com que o defeito seja seccionado. Um equipamento que atue de maneira lenta poderá acarretar defeitos em condutores, isoladores entre outros (Mamede; Ribeiro, 2020).

A segurança refere-se à capacidade do sistema de proteção de operar sem causar desligamentos desnecessários. Um sistema de proteção seguro deve garantir que os dispositivos atuem apenas em situações de falha real, evitando disparos indevidos que possam comprometer a estabilidade da rede elétrica. Dispositivos mal ajustados ou excessivamente sensíveis podem provocar interrupções desnecessárias, afetando consumidores e reduzindo a eficiência operacional do sistema. A confiabilidade, por sua vez, está diretamente ligada à segurança e à coordenação, pois define a capacidade do sistema de proteção de operar corretamente sempre que necessário (Mamede; Ribeiro, 2020).

Dessa forma, a proteção dos sistemas elétricos deve ser projetada levando em consideração todos esses aspectos, garantindo não apenas a identificação e eliminação rápida das falhas, mas também a manutenção da estabilidade e continuidade do fornecimento de energia. A combinação equilibrada entre seletividade, coordenação, velocidade, segurança, confiabilidade e delimitação eficiente das zonas de proteção é essencial para um sistema elétrico robusto e eficiente.

2.1.2 Proteções nos sistemas de distribuição de energia elétrica

As redes de distribuição são redes que na grande maioria ficam ao ar livre, ou seja, são redes suscetíveis a intempéries como descargas atmosféricas, vendavais, objetos estranhos jogados na rede, animais entre outros (Natalia; Fernando, 2022). Com as mudanças climáticas, as redes de distribuição vêm sendo cada dia mais exigidas quanto à confiabilidade e durabilidade. Essas intempéries causam curtos-circuitos que podem vir a danificar cabos, equipamentos e até mesmo oferecerem riscos a terceiros. Além disso e não menos importante, fazem com que a continuidade do serviço de energia seja prejudicada, aumentando o número de interrupções.

Em redes de distribuição os principais equipamentos utilizados nas proteções são os disjuntores, as chaves fusíveis e o religadores automáticos. Esses equipamentos são responsáveis por detectar defeitos nas redes de distribuição e seccioná-los do restante do circuito. Nas redes de distribuição existem dois tipos de interrupções, as transitórias que tem uma duração curta, e as interrupções permanentes, que têm uma duração longa. Mamede e Ribeiro (2020) e Ferri (2021) argumentam que as redes de distribuição são afetadas por um alto índice de interrupções transitórias, como vendavais, descargas atmosféricas, animais na rede entre outras (Ferri et al., 2021), (Mamede; Ribeiro, 2020).

2.1.3 Dispositivos de proteção da distribuição

Os religadores são equipamentos importantes para a proteção de sistemas elétricos, especialmente em redes de distribuição, que atuam com curvas de tempo rápidas e lentas, possibilitando a eliminação de faltas temporárias e a coordenação com outros dispositivos de proteção, como elos fusíveis (Mamede; Ribeiro, 2020). Na ocorrência de um defeito transitório em um ramal atendido por um fusível e um religador em série a jusante do mesmo, o religador irá detectar a falha e realizar sua abertura através de sua curva rápida, impedindo assim a fusão do elo fusível em caso de defeito transitório. O religador entrará em contagem e fechará seus contatos, restabelecendo o circuito sem necessidade de intervenção por equipe de campo. No entanto, em caso de defeito ele completará seus religamentos e ficará bloqueado no

modo aberto, de modo que o circuito permanecerá desligado até intervenção manual por parte da equipe de manutenção.

No sistema de distribuição os religadores mais utilizados são os monofásicos e os trifásicos. Os religadores monofásicos são aplicados nas redes de distribuição monofásicas urbanas e rurais, este tipo de equipamento é sensibilizado através das faltas fase-terra. Já os trifásicos são aplicados em redes trifásicas, protegendo o circuito contra anomalias e também sendo utilizado para realização de transferência de cargas entre alimentadores através de comando manuais ou através de comandos remotos via telecontrole (Natalia; Fernando, 2022).

Os religadores monofásicos TripSaver® vem sendo implementados nos últimos anos em várias distribuidoras de energia do Brasil, devido a sua facilidade de instalação e a crescente exigência na melhoria da continuidade do fornecimento de energia pela ANEEL. Quando comparados com as chaves fusíveis percebemos uma melhoria significativa nas interrupções transitórias que acontecem nas redes de distribuição. Além disso segundo a S&C (2024), é possível destacar que nos locais onde foi instalado um TripSaver® foi verificado uma grande economia em termos de mão de obra e deslocamento de equipes (© S&C ELECTRIC COMPANY, 2024).

Segundo Alex e Taffines (2019), o TripSaver® é um equipamento de proteção projetado para eliminar defeitos de forma extremamente rápida, garantindo a continuidade do fornecimento de energia às cargas a montante. Amplamente utilizado em ramais monofásicos, pode também ser utilizado em redes trifásicas, apresentando características semelhantes às de um religador monofásico com curva rápida. No entanto, sua principal diferença está na atuação ultrarrápida durante a primeira abertura, permitindo a eliminação de faltas transitórias e prevenindo a queima desnecessária de elos fusíveis a montante ou a operação de religadores. Um religador monofásico do tipo TripSaver® é mostrado na Figura 1.

Figura – 1: Religador monofásico TripSaver®



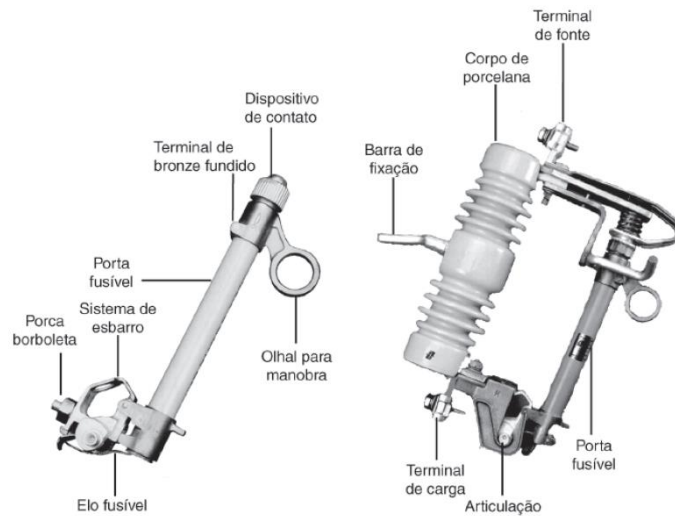
Fonte: © S&C ELECTRIC COMPANY, 2023.

A chave fusível é o equipamento de proteção mais utilizado nas redes de distribuição de energia, possuindo uma gama de aplicações em redes de distribuição. As principais aplicações são a proteção de transformadores, proteção de derivações de alimentadores trifásicos, monofásicos e proteções em banco de capacitores (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 1986). No entanto, estes equipamentos não dispõem de nenhum tipo de automação. Dessa forma, sempre que operam, as distribuidoras são obrigadas a enviar uma equipe a campo para realizar a substituição do elo fusível.

Segundo Blair, Hataway e Mattson (2018), as chaves fusíveis são componentes de sistemas de distribuição que oferecem um equilíbrio entre custo e continuidade de serviço, especialmente em segmentos menores. Embora sejam econômicas e tenham um tempo de atuação previsível, o autor aponta que a necessidade de substituição após cada interrupção, mesmo em faltas momentâneas, é uma desvantagem.

A Figura 2 ilustra todos os componentes de uma chave fusível.

Figura – 2: Chave fusível monopolar de 15kV



Fonte: Mamede e Ribeiro, 2020, 587.

2.1.4 Indicadores de continuidade coletivos (DEC e FEC)

Conforme Louback et al. (2019), as distribuidoras são avaliadas através da Qualidade do serviço, relacionada com a continuidade do fornecimento de energia. No Brasil as distribuidoras de energia elétrica são monitoradas pela ANEEL, e devem entregar a seus conjuntos de unidades consumidoras um serviço dentro de limites pré-estabelecidos de DEC e FEC. No ano de 2015, a ANEEL aprovou o decreto nº 8.461/2015, que estabeleceu que em caso de não cumprimento do DEC e FEC, em dois anos consecutivos, em um período de 5 anos, a concessão da distribuidora pode ser extinta (Ramon, 2022).

O DEC é definido através da Equação 1, conforme procedimentos apresentados no PRODIST, Módulo 8:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i) * t(i)}{Cs} \quad (1)$$

Já o FEC também é definido pelo PRODIST – Módulo 8, conforme Equação 2:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i)}{Cs} \quad (2)$$

Onde:

- n é o número de interrupções durante o período de apuração;
- Ca (i) é o número de consumidores atingidos na interrupção i;

- $t(i)$ é a duração em horas da interrupção i ;
- C_s é o número total de consumidores na região geográfica avaliada.

Os indicadores coletivos mensurados acima são calculados por meio de indicadores individuais, tais como FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão). DIC (Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão). DMIC (Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão). DICRI (Duração da Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (ANEEL, 2021) e (Mário et al., 2019).

2.2 Material e Métodos

Este trabalho constitui-se de uma pesquisa que visa analisar a quantidade de interrupções apresentadas pelo equipamento de proteção de um ramal de distribuição localizado no alimentador UNIT314 da CEMIG, na zona urbana da cidade de Unaí, no Estado de Minas Gerais. Os dados coletados compreenderam o período entre os anos de 2018 e 2024. Em sua fase inicial, possuiu um caráter exploratório e teve por objetivo a obtenção de informações, por meio de pesquisas bibliográficas e de campo, sobre os principais tipos de interrupções nas redes de distribuição, seus impactos nos consumidores e na operação da distribuidora. Foram ainda revisados conteúdos relacionados ao tema, utilizados como referência técnica.

Posteriormente, foram realizadas pesquisas de levantamentos de dados no *software* “Gdis® (Companhia Energética de Minas Geras S.A, Belo Horizonte, MG, BR)” com o histórico de interrupções no dispositivo 271899, essa numeração é dada para todos dos dispositivos de manobra e proteção na rede da CEMIG, utilizada para localizar os componentes do sistema em caso de manobra ou ocorrências emergenciais. O Equipamento 271899 inicialmente era composto por uma chave fusível monopolar de 15kV, no entanto em 2021 ela foi substituída por um religador TripSaver® em paralelo com esse mesmo equipamento, a partir dessa data o ramal passou a ser protegida pelo religador TripSaver® contando com uma chave fusível em paralelo para ser utilizada em caso de defeito no equipamento.

Posteriormente, foram utilizados os seguintes materiais para a realização do *upload* da memória de massa do religador TripSaver®:

- Notebook;
- Transceptor juntamente com sua antena da fabricante do religador TripSaver®;
- Módulo de alimentação do TripSaver® II;
- Bastão de manobra telescópico;
- Cabeçote *Talon*;
- Smartfone;
- Fita isolante.

Depois de reunidos esses equipamentos, foram realizados os seguintes passos para obtenção dos dados das falhas do TripSaver® instalado em 12/08/2021:

- I. Com auxílio desses materiais e do *software* de Configuração em Centro de Serviços Versão 2.1x da S&C® foi dado início a tarefa, inicialmente é necessário realizar a coleta do ID do transceptor que é único para cada TripSaver® contendo uma *string* de caracteres de 32 dígitos, esse ID foi retirado do equipamento através de um *QR code* gravado a laser na parte inferior da caixa de cada religador TripSaver®, esse *QR code* foi retirado através de um vídeo com auxílio do smartfone fixado no bastão telescópico com o auxílio de fita isolante.
- II. Na segunda etapa, foi fixado o módulo de alimentação do TripSaver® II com o auxílio do bastão de manobra e do cabeçote *Talon* na parte inferior do TripSaver®.
- III. Na terceira etapa, foram utilizados o notebook, o transceptor juntamente com sua antena e o software de Configuração em Centro de Serviços Versão 2.1x da S&C®, com esses materiais juntamente com o ID do equipamento foi realizada o *login* no *software*, a partir disso o software entra em modo conectado, liberando várias opções de visualização e alteração de parâmetros que estão configurados no equipamento. Para a realização do upload da memória de massa foi necessário entrar na aba de ferramentas, depois clicar em salvar relatório, escolher sua pasta de destino no notebook e salvar.
- IV. O arquivo contém vários parâmetros de configuração, informação do dispositivo e registro de eventos, no entanto foi utilizado somente o último mencionado acima, que trata das aberturas que o equipamento realizou, assim como a data – contada a partir da primeira energização

do equipamento, o tempo de abertura, a corrente no momento de Trip(abertura) e qual foi o evento que originou a abertura – esse evento está relacionado ao tipo de curva que o equipamento estava no momento de abertura (S&C ELECTRIC COMPANY (2023)).

E depois dessa coleta foram ainda obtidos dados dos equipamentos 123233 (chave fusível) e do religador 327324, no entanto não foi possível ir a campo realizar a sua coleta de dados através do equipamento devido a sua distância, o mesmo se encontra instalado na zona rural de Buritis – MG, sendo assim foi realizada somente a coleta de dados de falhas permanentes que ocorrerão entre 2017 e 2024, através do *software* “Gdis® (Companhia Energética de Minas Geras S.A, Belo Horizonte, MG, BR) ”

Posteriormente, com auxílio de *software* de análise de dados foram contabilizadas todas as interrupções ocorridas na chave fusível, e posteriormente também foram analisados os dados do religador TripSaver®. A partir desse conjunto de informações é possível calcular matematicamente os índices individualizados para as duas situações: antes da substituição (chave fusível) e após a substituição (religador TripSaver®). Os resultados dessa análise, quantitativos e qualitativos, são descritos na seção seguinte. A discussão dos resultados tem como base as métricas observadas pelo setor de operação e manutenção da distribuidora.

2.3 Resultados e Discussão

Para a realização deste estudo foram levantadas bibliografias que defendem algumas técnicas e modelos para diminuição dos índices de continuidade coletivos DEC e FEC. Pies, et al. (2023) defendem que a substituição de chaves fusíveis por religadores trifásicos automáticos telecomandados reduzem drasticamente os índices de DEC e FEC, no entanto os autores Torres, Pinho e Tavares (2023), defendem a implantação de Recursos Energéticos Distribuídos (RED) em redes de distribuição secundárias, capazes de operar isoladamente, como forma de garantir a continuidade do fornecimento em condições de contingência na rede de distribuição.

A partir desses estudos foram iniciadas as coletas de informações e dados, a primeira coleta de dados no TripSaver® ocorreu em 05/11/2024 na cidade de Unaí-MG. Nessa coleta foram retiradas informações referentes às interrupções, tipos de curvas e correntes de falta que ocorreram no dispositivo desde a data que o mesmo

havia sido instalado. Já a coleta de dados referentes a chave fusível ocorreu em 03/11/2024, através do *software* “Gdis® (Companhia Energética de Minas Geras S.A, Belo Horizonte, MG, BR)”.

2.3.1 Cálculo do DEC e FEC

Os indicadores de continuidade de serviço foram calculados de maneira separada, a partir dos dados coletados em campo. Primeiramente foram calculados os indicadores de DEC e FEC da chave fusível, conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Indicadores observados na chave fusível 271899.

Ano	Nº de interrupções	Duração total (h)	Nº de clientes atendidos pelo dispositivo (i)	NUC	DEC	FEC
2018	2	9,27	69	46144	0,014	0,003
2019	1	4,25	69	46144	0,006	0,001
2020	7	21,38	69	46144	0,032	0,010
2021	1	3,98	69	46144	0,006	0,001

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

Posteriormente, foram calculados os indicadores após a substituição da chave fusível pelo religador, conforme Tabela 2:

Tabela 2 – Indicadores observados no religador 271899.

Ano	Nº de interrupções	Duração total (h)	Nº de clientes atendidos pelo dispositivo (i)	NUC	DEC	FEC
2021	1	0,008	69	46144	0	0
2022	1	0,008	69	46144	0	0
2023	1	0,008	69	46144	0	0
2024	8	0,067	69	46144	0	0

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

Onde:

- NUC, representa o número total de clientes do conjunto. Esse número se dá através do somatório do número de clientes atendidos pelas subestações Unai 3 (UNIT), Unai 2 (UNID), Unai 4 (UNIQ) e Unai 5 (UNIC).

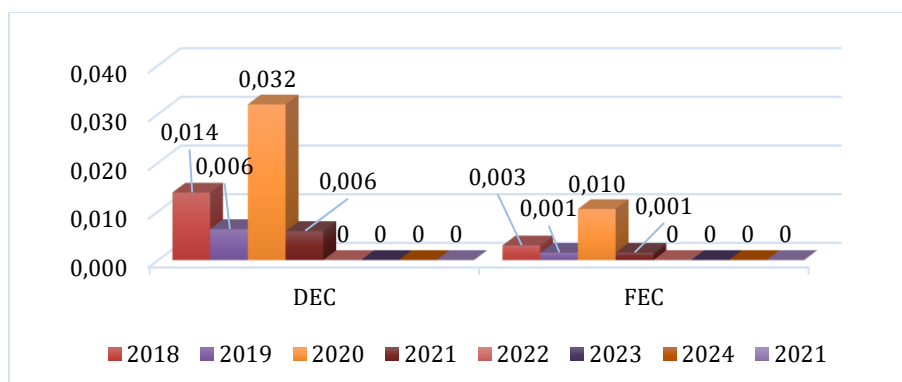
Os resultados da Tabela 1 mostram que em dois anos (2019 e 2021) foi contabilizada somente uma interrupção em cada ano, porém, tratando-se de interrupções relevantes devido ao número de clientes interrompidos. Por exemplo, o

conjunto Unai 3 composto pelas subestações UNIT, UNID, UNIQ e UNIC possui um limite de 14 horas para o DEC anual em 2024, fixado através da nota técnica da ANEEL 06/2023 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), 2023). Esse limite corresponde ao limite que a CEMIG deve entregar para a ANEEL no final do ano nesse conjunto, levando em conta esse resultado o índice de DEC observado em 2020 calculado na chave fusível correspondeu a 0,228% do DEC de 2024. Esse resultado é bastante relevante levando em conta que o dispositivo atende somente 69 unidades consumidoras em um universo de um conjunto com 46.114 UC (Cemig, 2024).

Para tanto, quando é analisado o período em que o TripSaver® entrou em operação, as interrupções no mesmo sequer entraram no cálculo do DEC e do FEC, uma vez que as interrupções mais comuns no trecho protegido pelo equipamento 271899, na grande maioria das vezes, são de maneira transitória, fazendo com que através dos religamentos automáticos, essas interrupções sejam sanadas sem o envio de equipes de campo ao local.

Com base nos índices apresentados, a Figura 3 ilustra graficamente os indicadores DEC e FEC referentes à chave fusível no ramal descrito para o estudo de caso na cidade de Unai-MG.

Figura 3 – Indicadores DEC e FEC observados 271899 - Unai-MG



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

Posteriormente, foi analisado o equipamento 123233 instalado em uma rede de 13,8 kV fase-fase, localizado na zona rural de Buritis-MG. Esse equipamento foi substituído em 26/08/2020 por um religador TripSaver de número 327324 quando iniciou sua operação. Anteriormente esse dispositivo era protegido por uma chave fusível monopolar através de um elo de 15T. As interrupções superiores a 3 minutos para os equipamentos são descritas abaixo, de modo a permitir a estimação dos índices DEC e FEC.

Tabela 3 – Indicadores observados na chave fusível 123233.

Ano	Nº de interrupções	Duração total (h)	Nº de clientes atendidos pelo dispositivo (i)	NUC	DEC	FEC
2017	3	22,90	34	14472	0,054	0,007
2018	1	1,57	34	14472	0,004	0,002
2019	2	13,18	34	14472	0,031	0,005
2020	3	11,58	34	14472	0,027	0,007

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

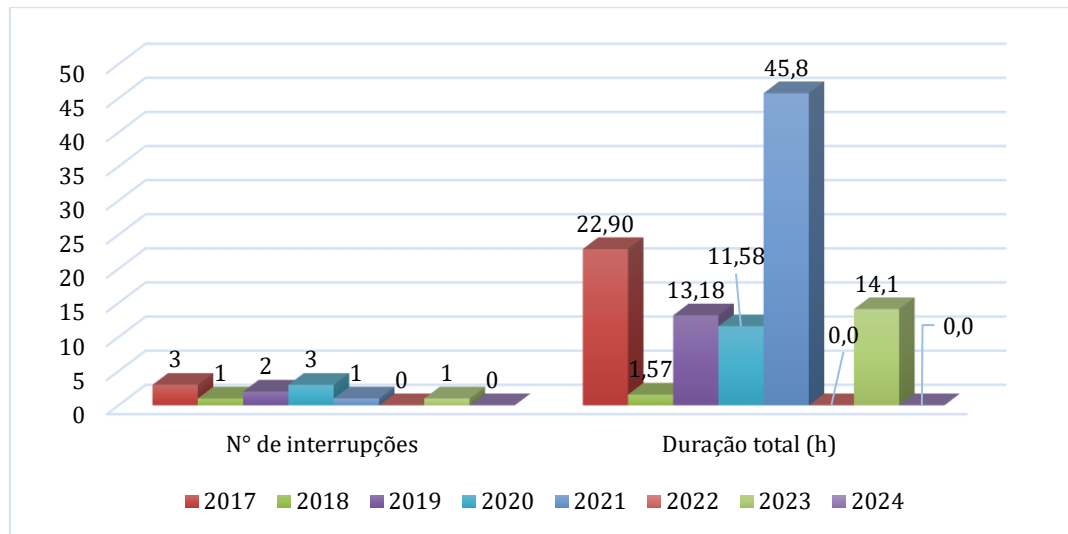
Tabela 4 – Indicadores observados no religador 327324.

Ano	Nº de interrupções	Duração total (h)	Nº de clientes atendidos pelo dispositivo (i)	NUC	DEC	FEC
2021	1	45,75	34	14472	0,107	0,002
2022	0	0,00	34	14472	0,000	0,000
2023	1	14,10	34	14472	0,033	0,002
2024	0	0,00	34	14472	0,000	0,000

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

No segundo estudo de caso avaliado, descrito pelas Tabelas 3 e 4, foi verificado uma expressiva melhora nos indicadores de frequência de interrupções, porém no ano de 2021 houve uma interrupção de longa duração no TripSaver®, referente a um rompimento de cabo de média tensão. Essa interrupção pode ser facilmente verificada na Figura 4, onde são ilustrados ano a ano cada evento. De modo geral foi possível verificar para os dois estudos de caso, na cidade de Unaí-MG e Buritis-MG, que a substituição de uma chave fusível contribuiu de forma consistente na melhora dos indicadores e no índice de continuidade de energia para os consumidores atendidos por esse tipo de equipamento.

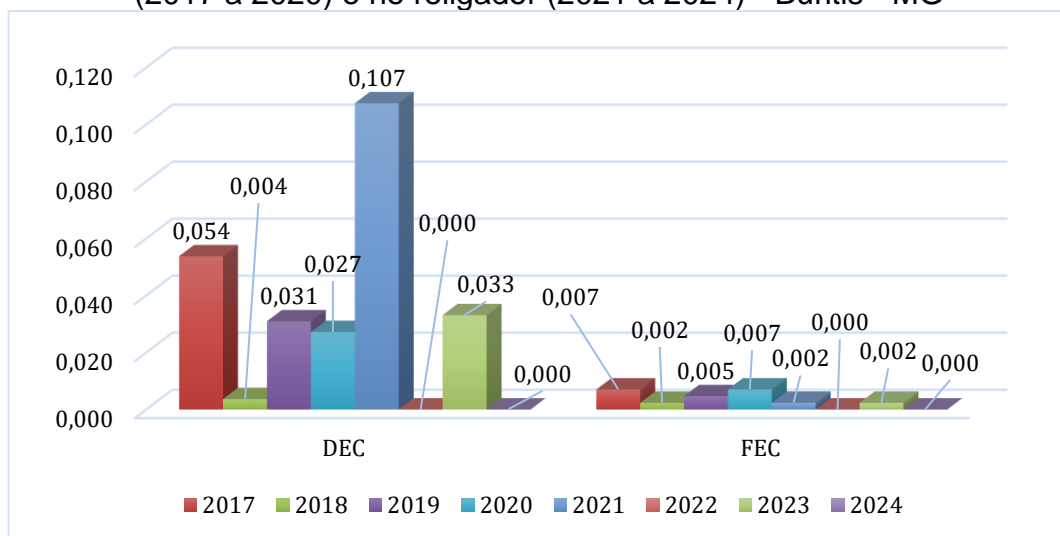
Figura 4 – Duração total das interrupções e frequência observadas por ano observadas na chave fusível (2017 a 2020) e no religador (2021 a 2024) - Buritis - MG



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

A Figura 5 ilustra os indicadores DEC e FEC para o segundo estudo de caso, em que se observa considerável redução de valores, semelhante ao primeiro caso descrito.

Figura 5 – DEC e FEC observadas por ano observadas na chave fusível (2017 a 2020) e no religador (2021 a 2024) - Buritis - MG



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

É importante destacar ainda os custos dos equipamentos utilizados nos estudos. Segundo dados da CEMIG (2022), o religador TripSaver® tem um valor orçado em R\$ 18.148,46. Já a chave fusível monopolar 15 kV seu valor conforme a CEMIG (2022), é de R\$ 301,22. A diferença de valores é bem alta, no entanto a sua

substituição permite a mitigação de custos a logo prazo, sendo uma opção viável para a modernização e aprimoramento da proteção de sistemas de distribuição de energia.

3 CONCLUSÃO

Com o incremento em investimentos utilizados em automação nas redes de distribuição a confiabilidade do sistema de distribuição tende a aumentar. O uso de religadores monofásicos contribuiu para a melhora de indicadores de continuidade em trechos onde antes eram observados um grande número de interrupções temporárias.

Os resultados obtidos a partir da pesquisa mostraram que tanto no equipamento 271899, quanto no equipamento 327324 os índices em alguns anos foram nulos. No entanto, no ano de 2021 o religador TripSaver® de Buritis operou e ficou aproximadamente 44 h em modo aberto. Isso mostra que os religadores se mostram uma excelente alternativa nas interrupções transitórias, mas também que as interrupções permanentes devem ser evitadas através de inspeções periódicas nos trechos, a fim de evitar defeitos permanentes, tais como isoladores danificados, árvores em contato com rede, entre outros.

Dessa forma, o religador TripSaver® pode ser utilizado no processo de manutenção preventiva através do seu registro de aberturas. Esse registro pode ser verificado em diversos equipamentos, sendo compilado uma série de dados separados por alimentadores. A partir desses dados, os trechos que contam com o maior número de aberturas devem ser inspecionados para o levantamento de anomalias encontradas no trecho. Com isso, as manutenções serão assertivas, trazendo assim um ganho de produtividade para a concessionária e um melhor serviço para seus clientes.

Essa pesquisa pode ser estendida para outras regiões do Estado de Minas Gerais, uma vez que a região avaliada neste artigo possui clima de característica seco de cerrado, onde a vegetação é de médio porte e cresce lentamente, fazendo com que o número de interrupções temporárias seja significativamente reduzido. É de suma importância verificar como o religador TripSaver® se comporta em outras regiões, por exemplo com características mais úmidas, como a região da Mantiqueira ou do sul de Minas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Consultas Públicas**. Agência Nacional de Energia elétrica, 2023. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participac>. Acesso em: 10 jan. 2025.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST)**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2024.

BLAIR, Jeremy; HATAWAY, Greg; MATTSON, Trevor. **Solutions to common distribution protection challenges**. In: 2018 IEEE Rural Electric Power Conference (REPC). IEEE, 2018. p. 81-91.

BRANDÃO, A. V. S.; OLIVEIRA, T. C. D. **Impactos da geração distribuída na proteção de sistemas de distribuição de energia elétrica**, João Monlevade, 2019. 58.

COMPANHIA ENÉRGICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Tabela para orçamento da distribuição**. Belo Horizonte, p. 64. 2022.

ELETROBRÁS. COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. **Proteção de sistemas aéreos de distribuição**. Campus, 1986.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional (BEN)**. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Rio de Janeiro, p. 274 p. 2024.

FERRI, Ruy Carlos Bacca et al. **Proposta de índice para a avaliação da coordenação e seletividade de esquemas proteção de sobrecorrente em sistemas aéreos de distribuição**. 2021.

HOSS, Maiara Pies et al. **Estudo da melhoria alcançada nos índices de continuidade com a aplicação de religadores automáticos em rede de distribuição**. In: 11th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC 2018). Brasil, 2023.

LOUBACK, FILIPHE O. et al. **Previsão de indicadores de continuidade de energia elétrica a partir da aplicação do método de redes neurais artificiais**. In: Congresso Brasileiro de Automática-CBA. 2019.

MAMEDE, F.; RIBEIRO, D. M. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. 2. edição. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2020.

© S&C ELECTRIC COMPANY. **Religador montado em chave fusível TripSaver®**

II, 27 março 2023. Disponível em:< https://www.sandc.com/globalassets/sac-electric/documents/public---documents/sales-manual-library---external-view/folha-de-instrucoes-461-502p.pdf?_gl=1*vy9zdq*_up*MQ..&gclid=CjwKCAiArbv_BRA8EiwAYGs23JTQwyeX7qq8hNLBIsYL0sSI48jIEvZuxO0LwQCICOlZrFd4IbCEMRoC>. Acesso em: 15 dez. 2024.

© S&C ELECTRIC COMPANY. **Repense sua estratégia de proteção de derivações, 2024.** 12 p. Disponível em: <https://www.sandc.com/globalassets/sac-electric/documents/public---documents/sales-manual-library---external-view/material-educativo-461-4500p.pdf?_gl=1*1Irtadj*_up*MQ..&gclid=CjwKCAiArbv_BRA8EiwAYGs23JTQwyeX7qq8hNLBIsYL0sSI48jIEvZuxO0LwQCICOlZrFd4IbCEMRoC>. Acesso em: 14 dez. 2024.

TORRES, Pedro Ferreira; PINHO, João Tavares; ZILLES, Roberto. **Microrredes não isoladas em baixa tensão no Brasil: Potencial de integração para melhoria de indicadores de continuidade.** In: Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2024.