

A IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

THE IMPORTANCE OF IMPLEMENTING A PROTECTION AND SELECTIVITY SYSTEM IN ENERGY DISTRIBUTION NETWORKS

MOURA, Lucas Lima Bezerra ¹

AZEVEDO JR, Geraldo Motta ²

Resumo: Este trabalho demonstra a importância de realizar a instalação de equipamentos de proteção e seletividade em alimentadores de distribuição. Dessa forma, será demonstrado como a ANEEL calcula os indicadores de continuidade das concessionárias de energia, e qual a importância desses indicadores. Serão utilizados para a realização desse estudo 4 equipamentos, o disjuntor, o religador, o seccionador, e a chave-fusível, será demonstrado o funcionamento de cada um desses equipamentos e como os mesmos operam em conjunto com os demais. Foi criado um alimentador padrão com 5 transformadores, 200 clientes cada, que totaliza 1000 clientes, nesse alimentador foi simulado um curto-circuito com duração de 1h30min, e foram calculados os indicadores de continuidade gerados pelo curto-circuito. O mesmo experimento foi realizado quando aplicado um religador no alimentador, e depois quando inserido um seccionador, e finalmente com a chave-fusível, onde foi demonstrado o impacto causado pelo curto-circuito em um alimentador com todos os equipamentos de proteção e seletividade aplicados; após o experimento foi possível perceber a redução de 80% dos indicadores de continuidade.

Palavras-chave: distribuição; alimentador; proteção; seletividade; curto-circuito; indicador de continuidade.

Abstract: This work demonstrates the importance of installing protection and selectivity equipment in distribution feeders. In this way, it will be demonstrated how ANEEL calculates the continuity indicators of the energy concessionaires, and what is the importance of these indicators. We will use 4 pieces of equipment to carry out this study, the circuit breaker, the recloser, the sectionalizer, and the fuse switch, the operation of each of these pieces of equipment will be demonstrated and how they operate together with the others. A standard feeder was created with 5 transformers, 200 customers each, which totals 1000 customers. In this feeder, a short circuit lasting 1h30min was simulated, and the continuity indicators generated by the short circuit were calculated. The same experiment was carried out when a recloser was applied to the feeder, and then when a sectionalizer was inserted, and finally with the fuse switch, where the impact caused by a short circuit on a feeder with all protection and selectivity equipment applied was demonstrated; after the experiment, it was possible to perceive an 80% reduction in the continuity indicators.

Keywords: distribution; feeder; protection; selectivity; short circuit; continuity indicator.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica – Universidade Santa Úrsula – lucas.moura@souusu.com.br

² Doutor em Engenharia Elétrica – Universidade Santa Úrsula – geraldomotta@usu.edu.br

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Tema

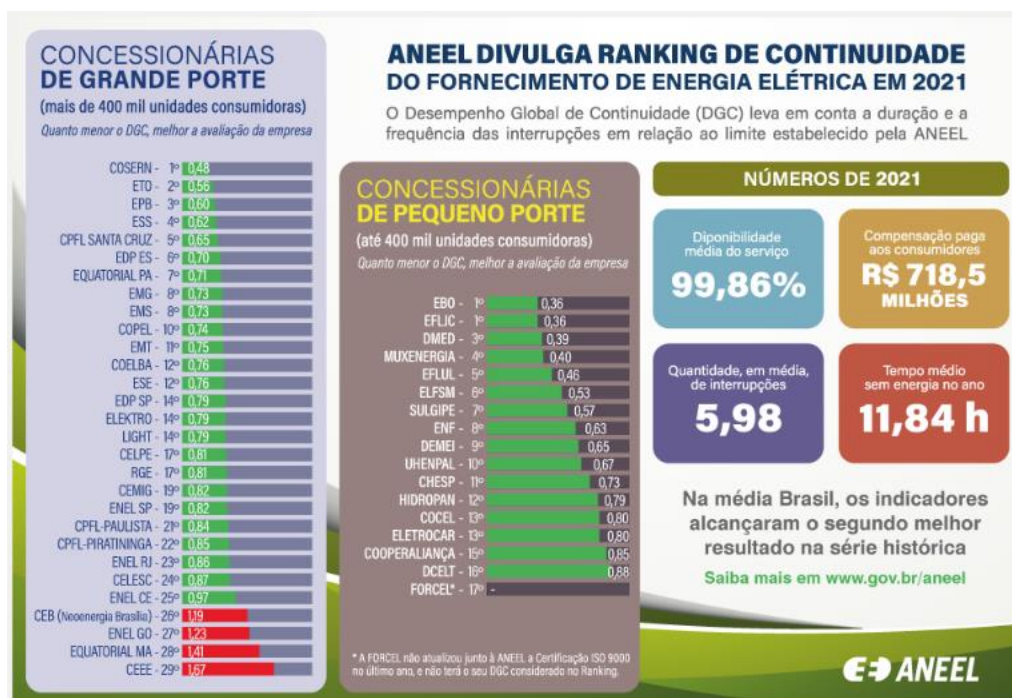
Ano após ano a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ajusta os limites das metas dos indicadores de continuidade que os conjuntos ANEEL poderão atingir, e a cada ano que passa essa meta fica mais baixa, mais difícil de ser alcançada, de acordo com Energia (2022).

Durante esse estudo será entendido o que é a ANEEL, o que são os conjuntos e os alimentadores, como são calculados esses indicadores de continuidade, o que são os equipamentos de proteção, e como eles podem ser de grande valia para que as distribuidoras de energia possam alcançar as metas estipuladas.

Como por exemplo, há mais de 3 anos a ENEL GO performa entre as piores distribuidoras de energia do país de acordo com o site do Ministério de Minas e Energia:

- 2018 – 30º posição de 30 distribuidoras;
- 2019 – 28º posição de 29 distribuidoras;
- 2020 – 27º posição de 29 distribuidoras;
- 2021 – 27º posição de 29 distribuidoras.

Figura 1 – Ranking de continuidade de fornecimento de energia elétrica



Fonte: ANEEL (2022)

Dessa forma, esse estudo visa demonstrar como a implementação de um sistema de proteção e seletividade tem um grande impacto na redução dos indicadores de continuidade, que contribui para o melhor desempenho da distribuidora de energia.

1.2 Metodologia

O trabalho a ser apresentado seguirá a linha de uma pesquisa descritiva com abordagem quantitativa, será baseado em documentos públicos de distribuidoras de energia, artigos e livros acadêmicos, e utilizará a internet como principal método de pesquisa.

Para que o ganho com a implementação de um sistema de proteção e seletividade fique claro, esse trabalho foi dividido em 5 etapas.

A primeira etapa visa demonstrar o funcionamento de um alimentador de distribuição sem equipamentos de proteção instalados na ocorrência de um curto-circuito ou falta, a quantidade de clientes que ficam com o fornecimento de energia interrompido, e o impacto em indicadores de continuidade gerados para a concessionária.

A segunda etapa consiste em demonstrar os mesmos dados de forma a simular se esse alimentador tivesse um religador automático instalado.

A terceira etapa visa demonstrar os mesmos dados, porém com um religador automático e um seccionizador instalados.

A quarta etapa consiste em demonstrar os mesmos dados, porém com um religador automático, um seccionizador e uma chave-fusível instalados.

E na quinta etapa, com o esquema completo dos 3 equipamentos em série, será mostrada a diferença de impacto gerado para a concessionária do caso 1 para o caso 4.

1.3 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo discutir os possíveis benefícios na implementação de um sistema de proteção e seletividade em alimentadores de distribuição.

1.4 Objetivos Específicos

Para que os benefícios com a implementação de um sistema de proteção e seletividade fiquem claros, serão necessários os seguintes passos:

- Criação de um alimentador de distribuição modelo sem equipamentos de proteção;
- Realizar a simulação de um curto-circuito nesse alimentador;
- Realizar o acréscimo de um equipamento de proteção por vez e simular um curto-circuito no alimentador com cada condição do alimentador por vez;
- Ao final do experimento, comparar a diferença do impacto de um curto-circuito na condição sem equipamentos, e na condição com todos os equipamentos.

1.5 Justificativa

A busca incessante por melhorias no fornecimento de energia pelas concessionárias de distribuição de energia indaga a respeito de como o fornecimento pode ser melhorado, e como é feita a avaliação do fornecimento de energia das concessionárias.

A ANEEL utiliza os indicadores de continuidade para avaliar a qualidade do fornecimento de cada uma delas, ao se tratar desses indicadores, quanto menor o valor, melhor o fornecimento, pois indica que o fornecimento foi interrompido um número menor de vezes e por um tempo menor, de acordo com PRODIST (2021).

Esse estudo visa demonstrar que a implementação de um sistema de proteção e seletividade auxiliará em grande parte na redução da quantidade de clientes com o fornecimento interrompido durante uma falta no sistema, na redução do tempo de reestabelecimento do fornecimento de energia, e por consequência, o ganho nos indicadores de continuidade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Alimentadores de distribuição

De acordo com ABRADÉE (2022), o Sistema Elétrico de Potência (SEP) é composto por 3 etapas, a geração, a transmissão, e a distribuição. A etapa de distribuição é responsável por receber a energia que foi transmitida das linhas de transmissão até as subestações, onde essa energia é abaixada aos níveis de tensão de distribuição. Seguem, na tabela 1, os níveis de tensão mais utilizados na transmissão e na distribuição brasileira:

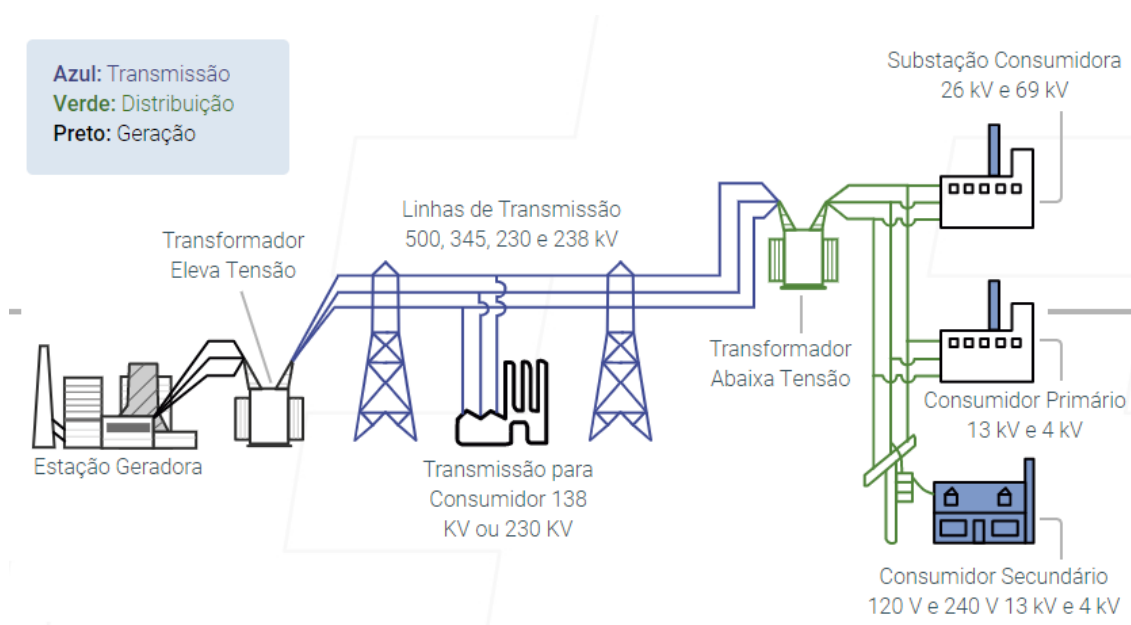
Tabela 1 – Níveis de tensão no SEP

Tensão (kV)	Campo de aplicação
0,220/0,127	Distribuição secundária (BT)
0,380/0,220	
13,8	Distribuição (MT)
25,0	
34,5	
69,0	
138,0	
138,0	Transmissão (AT)
230,0	
345,0	
500,0	
800,0	

Fonte: ABRADÉE (2022)

Os alimentadores de distribuição são os responsáveis por levar a energia que foi abaixada nas subestações até os transformadores, que vão reduzir a tensão ao nível de distribuição secundária (BT), e desses transformadores, a energia será levada até as residências dos consumidores, da forma que demonstra a figura 2.

Figura 2 – Esquema de geração de energia até a entrega ao consumidor



Fonte: ENERGÊS (2021)

2.2 Agência Nacional de Energia Elétrica

De acordo com Brasil (2022), a sigla ANEEL significa Agência Nacional de Energia Elétrica, a mesma atua dentro do ministério de minas e energia e é responsável por regular e fiscalizar as etapas de geração, transmissão, distribuição, consumo e comercialização de energia elétrica no Brasil, além de também ser responsável pelo estabelecimento das tarifas.

De acordo com site oficial da agência, a missão da ANEEL, ou seja, o propósito para a Agência existir é:

“Proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade”.

2.3 Indicadores de continuidade

De acordo com PRODIST (2021) e Agência Nacional de Energia Elétrica (2011), a qualidade dos serviços prestados pelas concessionárias de energia elétrica, tem como base a avaliação das interrupções no fornecimento de energia. Para essa avaliação, são usados

principalmente os indicadores de continuidade individuais (DIC, FIC, DMIC e DICRI), e os indicadores de continuidade coletivos (DEC e FEC).

Vale ressaltar também que o indicador só é apurado para interrupções maiores que 3 minutos e que essas informações referentes aos indicadores de continuidade estão disponíveis na fatura de energia elétrica.

2.3.1. Indicadores de continuidade

Constam como indicadores de continuidade individuais:

DIC – A duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC), mostra a duração, em horas, que um consumidor ficou sem energia, somente para interrupções iguais ou superiores a 3 minutos.

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

FIC – A frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC) é a contagem do número de interrupções dentro do período de apuração (mensal, trimestral ou semestral).

$$FIC = n \quad (2)$$

DMIC – É a Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora.

$$DMIC = t(i)_{max} \quad (3)$$

DICRI – É a Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora. Segundo ANEEL (2011), dia crítico é o dia em que a quantidade de ocorrências emergenciais, em um determinado conjunto de unidades consumidoras, superar a média acrescida de três desvios padrões dos valores diários.

$$DICRI = t_{critico} \quad (4)$$

Onde:

i = índice de interrupções da unidade consumidora no período de apuração, com variação de 1 a n ;

n = número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;

$t(i)$ = tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada, no período de apuração;

$t(i)_{max}$ = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora considerada, expresso em horas e centésimos de horas;

$t_{critico}$ = duração da interrupção ocorrida em Dia Crítico.

Constam como indicadores de continuidade coletivos:

CI – Cliente interrompido (CI), equivale a quantidade de clientes que foram interrompidos no decorrer de uma falta, ou seja, o somatório dos valores do FIC;

$$CI = \sum_{i=1}^{NUC} FIC \quad (5)$$

CHI – Cliente hora interrompido (CHI), equivale ao produto da quantidade de clientes que foram interrompidos pelo tempo de interrupção, ou seja, o somatório dos valores do DIC;

$$CHI = \sum_{i=1}^{NUC} DIC \quad (6)$$

- DEC – A duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC), mostra a duração equivalente, em horas, que um conjunto de consumidores ficou sem energia, somente para interrupções iguais ou superiores a 3 minutos.

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} DIC(i)}{NUC} \quad (7)$$

- FEC – A Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor (FEC), é o número de interrupções que um conjunto de consumidores, em média, sofreu, em determinado período (mensal, trimestral ou anual), somente para interrupções iguais ou superiores a 3 minutos.

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} FIC(i)}{NUC} \quad (8)$$

Onde:

i = índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT faturadas do conjunto;

NUC = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT;

DIC(i) = Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluem-se as centrais geradoras, expressa em horas e centésimos de hora;

FIC(i) = Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluem-se as centrais geradoras, expressa em interrupções e centésimos de interrupções.

2.4 Tipos de falta

De acordo com Leme et al. (2013), é chamado de falta todo o tipo de surto ou eventualidade acidental ou proposital que venha a interromper o funcionamento do sistema elétrico. Existem dois tipos de faltas, as faltas permanentes e as faltas transitórias.

2.4.1 Faltas permanentes

As faltas permanentes são aquelas que necessitam de intervenção humana para que sejam sanadas. Por exemplo, um condutor partido, visto que se não houver atuação humana ele permanecerá partido indeterminadamente, de acordo com Barros (1998).

2.4.2 Faltas transitórias

Faltas transitórias são aquelas que por sua própria natureza são eliminadas do sistema, há a operação de um equipamento de proteção e após o religamento não há mais falha. De acordo com Barros (1998), Silveira, Galvani e Souza (2011) e Leme et al. (2013), em torno 80% das falhas em redes de distribuição aéreas são de natureza transitória. Como por exemplo, um contato momentâneo entre condutores.

2.5 Curtos-Circuitos

Por definição, um curto-circuito é uma elevação abrupta do nível de corrente que circula por um circuito, devido a redução da impedância do ponto onde ocorreu o curto. Geralmente acarretam danos tanto no alimentador onde ocorreu o curto, quanto no elemento que causou o curto, de acordo com Leme et al. (2013).

As causas mais comuns para ocorrências de curtos-circuitos em sistemas de potência, de acordo com Leme et al. (2013), são:

- Descargas atmosféricas;

- Falhas em cadeias de isoladores;
- Fadiga e/ou envelhecimento de materiais;
- Ação de vento, neve e similares;
- Poluição e queimadas;
- Queda de árvores sobre as linhas aéreas;
- Inundações e desmoronamentos;
- Ação de animais em equipamentos do sistema;
- Manobras incorretas.

2.5.1 Curto circuito monofásico (Fase-Terra)

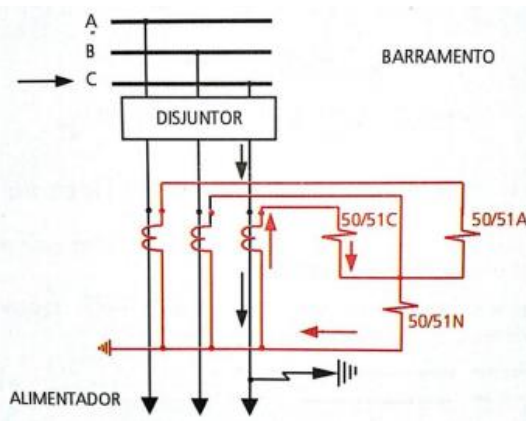
O curto circuito monofásico é o que ocorre entre uma das fases e o referencial de terra conforme a figura 3 e o esquema demonstrado na figura 4:

Figura 3 – Curto-circuito Fase-Terra



Fonte: MACIULEVICIUS, Paula (2012)

Figura 4 – Esquema de curto-circuito fase-terra

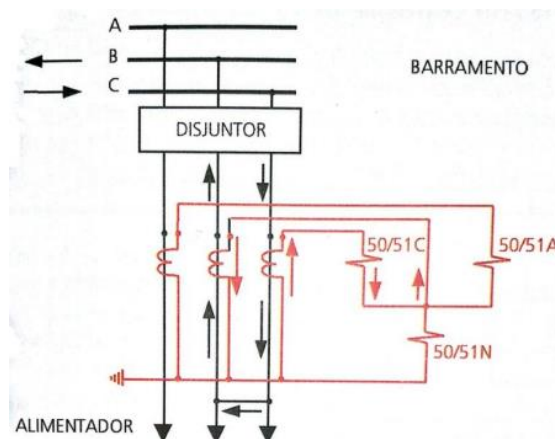


Fonte: LEME, Daniel Maciel et al (2013)

2.5.2 Curto circuito bifásico (Fase-Fase)

O curto circuito bifásico é o que ocorre entre duas fases, conforme a figura 5:

Figura 5 – Esquema de curto-circuito fase-fase

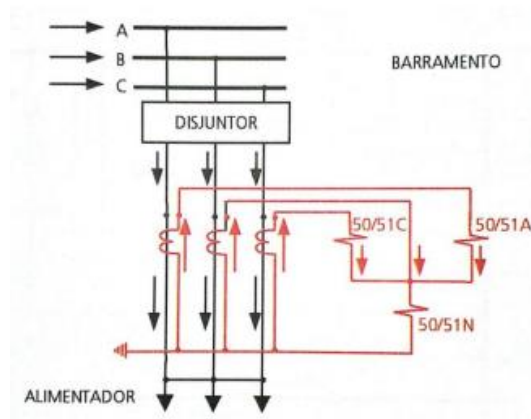


Fonte: LEME, Daniel Maciel et al (2013)

2.5.3. Curto circuito trifásico (Fase-Fase-Fase)

O curto circuito trifásico é o que ocorre entre as três fases do sistema elétrico de potência, conforme a figura 6:

Figura 6 – Esquema de curto-circuito fase-fase-fase



Fonte: LEME, Daniel Maciel et al (2013)

2.6 Corrente de Inrush

Também chamada de corrente de irrupção ou corrente transitória de magnetização, trata-se da corrente máxima consumida por um dispositivo elétrico quando ligado pela primeira vez, de acordo com Leme et al. (2013).

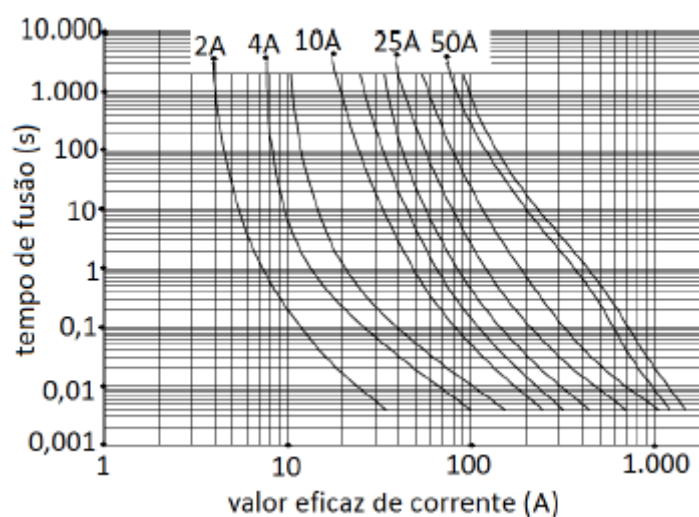
2.7 Equipamentos de proteção e seletividade

2.7.1 Chaves-Fusíveis

De acordo com Leme et al. (2013), CPFL (2016), e Mamede Filho e Mamede (2020), as chaves-fusíveis, como demonstrado na figura 8, são os elementos mais comuns nas redes de distribuição, muito se deve a seu baixo custo e desempenho satisfatório frente as falhas presentes nas redes de distribuição. Seu funcionamento é baseado na queima do elo fusível, como o demonstrado na figura 9, presente dentro do cartucho fusível.

O tempo de atuação muda de acordo com cada elo instalado, e esse tempo é baseado em um gráfico tempo x corrente pré-fixados em cada elo, o mesmo rompe quando atingido determinado valor de corrente por um determinado tempo, de maneira a cortar a passagem de corrente, esse tempo se relaciona com o valor de corrente no gráfico apresentado na figura 7.

Figura 7 – Gráfico de tempo/corrente dos elos fusíveis



Fonte: FGV (2018)

Por exemplo, um elo de 4 amperes abriria em 10 segundos para uma corrente de 10 amperes.

Os elos fusíveis são subdivididos em 3 tipos, tipo H, tipo K e tipo T.

Os elos fusíveis de tipo H são elos de altos surtos, tratam-se de elos de queima lenta, geralmente usados para proteção de transformadores, visto que não atuaram durante a energização do mesmo, devido a corrente de Inrush. Eles são fabricados nas correntes de: 0,5; 1; 2; 3 e 5 amperes.

Os elos fusíveis do tipo K são elos de queima rápida, geralmente usados em derivações de alimentadores de distribuição, são divididos em dois grupos, os preferenciais e os não

preferenciais, ou grupo A e grupo B, essa subdivisão é importante, pois os elos fusíveis só coordenam entre si se forem do mesmo grupo. Os elos fusíveis preferenciais possuem correntes nominais de 6; 10; 15; 25; 40; 65; 100; 140 e 200 amperes, já os não preferenciais possuem correntes nominais de 8; 12; 20; 30; 50 e 80 amperes.

Os elos fusíveis do tipo T são elos de queima lenta, e também possuem os grupos de fusíveis preferenciais e não preferenciais, que seguem a mesma linha de correntes nominais que os elos do tipo K.

Figura 8 – Chave-Fusível



Fonte: ELÉTRICOS, Judy Materiais (2022)

Figura 9 – Elo fusível



Fonte: CIDE, Prof.(2022)

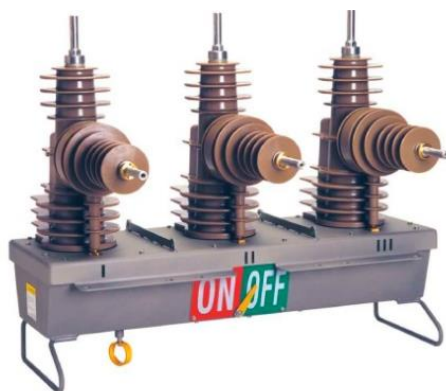
2.7.2 Religadores

Os religadores, como exemplificados nas figuras 10 e 11, estão entre os equipamentos mais completos utilizados nas redes de distribuição urbana e rural, eles são utilizados na saída de alimentadores, no meio dos alimentadores, e inclusive como chaves normalmente abertas no seccionamento entre dois alimentadores distintos, são utilizados tanto com a finalidade de seccionar as redes urbanas dos defeitos oriundos das redes rurais, como para conferir telecomando, de maneira a proporcionar manobras de transferência de carga com rapidez e agilidade.

Eles possuem a função de abertura em carga a partir da passagem de corrente superior a pré-estabelecida pelo programador do equipamento. O grande diferencial do religador é que após sua abertura, o mesmo tenta religar o trecho a jusante dele até 3 vezes consecutivas, caso perceba a permanência do curto-circuito, abre uma última vez e não tenta religar novamente.

Na possibilidade de o causador da falta ter sido de natureza transitória, há uma grande chance de após as aberturas não existir mais defeitos na rede, logo, após o religamento o alimentador ficará em condição normal novamente, sem a necessidade de intervenção humana, de acordo com CPFL (2016) e Mamede Filho e Mamede (2020).

Figura 10 – Religador NULEC



Fonte: AECWEB (2022)

Figura 11 – Religador Noja Power



Fonte: ELETRICISTA (2022)

2.7.3 Disjuntores

Os disjuntores, como o exemplo mostrado na figura 12, são equipamentos de religamento automático, e são utilizados nas saídas dos alimentadores de distribuição, geralmente são associados a relés de sobrecorrente de fase (50/51) e neutro (50N/51N e 51GS), de acordo com CPFL (2016) e Mamede Filho e Mamede (2020).

Figura 12 – Disjuntor de média tensão



Fonte: ELÉTRICA (2022)

2.7.4 Seccionalizadores

Os seccionalizadores podem ser trifásicos, conforme a figura 13, ou monofásicos, conforme a figura 14, os monofásicos são instalados nas bases das chaves-fusíveis, e ambos possuem o mesmo princípio de funcionamento. São equipamentos que diferente dos outros equipamentos de proteção, não operam a partir de curto-circuito ou falta, eles precisam ser

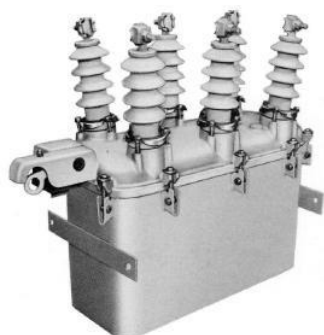
instalados a jusante de um equipamento de proteção com religamento automático (disjuntor ou religador).

O funcionamento do seccionizador pode ser descrito em alguns passos:

1. Quando passa a corrente de curto-circuito pelo equipamento, ele é sensibilizado e se prepara para começar a contagem;
2. O equipamento de proteção a montante do seccionizador irá realizar a abertura por conta da corrente de curto-circuito, e dessa forma o seccionizador contará “1 abertura”;
3. Ao supor que o equipamento a montante seja um religador que está ajustado para 2 aberturas, e que a causa do defeito é de natureza permanente, o religador tentará religar o trecho, onde alimentará o defeito pela primeira vez;
4. Como o defeito não foi extinguido, ele abrirá novamente, e o seccionizador contará “2 aberturas”;
5. Supondo que o nosso seccionizador foi ajustado para 2 aberturas, após ter contado que ficou sem tensão do lado da fonte 2 vezes, ele irá realizar a sua abertura;

Dessa forma, quando o religador reenergizar o trecho uma última vez, o trecho com o defeito estará isolado, e o restante do alimentador estará em condições normais, de acordo com CPFL (2016) e Mamede Filho e Mamede (2020).

Figura 13 – Seccionizador tripolar Cooper



Fonte: CARDOSO JUNIOR (2022)

Figura 14 – Seccionizador monopolar Celsa



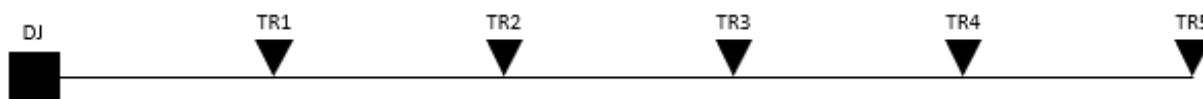
Fonte: CELSA (2022)

2.8. Simulação de curto circuito e cálculo dos indicadores

Para que tudo o que foi dito anteriormente seja melhor entendido, será demonstrado a seguir o funcionamento de cada um dos equipamentos em um alimentador, bem como os seus impactos nos indicadores gerados a cada curto-circuito com duração de 1 hora e 30 minutos.

O alimentador apresentado na figura 15 é o alimentador modelo, o mesmo possui 5 transformadores, cada um com 200 clientes que totalizam 1000 clientes, e não possui nenhum equipamento instalado, somente o disjuntor em sua saída, para sua própria proteção.

Figura 15 – Alimentador modelo



Fonte: Autoria Própria

No caso da ocorrência do curto-circuito no alimentador da figura 16, o disjuntor do alimentador modelo se sensibilizará pela alta corrente de curto-circuito e realizará sua abertura, dessa forma, todos os transformadores do alimentador perderão sua alimentação, e deixarão todos os clientes sem energia. Ou seja:

Figura 16 – Alimentador modelo com curto-circuito



Fonte: Autoria Própria

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC\ int} DIC(i)}{NUC\ alim} = \frac{CHI}{NUC\ alim} = \frac{1000 * 1,5}{1000} = 1,5$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC\ int} FIC(i)}{NUC\ alim} = \frac{CI}{NUC\ alim} = \frac{1000}{1000} = 1$$

Na figura 17 é mostrado o mesmo alimentador já com um religador instalado, no caso da ocorrência de um curto-circuito, o religador realizará suas 3 tentativas de religamento, abrirá em definitivo, fará com que 3 transformadores fiquem sem energia e os outros 2 permaneçam energizados pelo disjuntor.

Figura 17 – Alimentador modelo com curto-circuito e religador



Fonte: Autoria Própria

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC \text{ int}} DIC(i)}{NUC \text{ alim}} = \frac{CHI}{NUC \text{ alim}} = \frac{600 * 1,5}{1000} = 0,9$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC \text{ int}} FIC(i)}{NUC \text{ alim}} = \frac{CI}{NUC \text{ alim}} = \frac{600}{1000} = 0,6$$

Agora, na figura 18, é mostrado o alimentador com um religador e um seccionizador instalados, o religador ajustado para 3 operações e o seccionizador ajustado para 2 operações. Na ocorrência de um curto-circuito o religador e o seccionizador se sensibilizarão com a corrente de curto-circuito, porém os únicos equipamentos aptos a realizar aberturas em carga (abertura com a rede energizada) são o disjuntor e o religador.

Figura 18 – Alimentador modelo com curto-circuito, religador e seccionizador



Fonte: Autoria Própria

Dessa forma o religador realizará sua primeira abertura enquanto o seccionizador irá contar sua primeira operação juntamente com a primeira ausência de carga no lado da fonte, o religador irá reenergizar o trecho sob sua proteção e caso o curto-circuito permaneça abrirá novamente e desenergizará o trecho, de forma a fazer com que o seccionizador conte sua segunda operação, assim realizará sua abertura, e irá isolar o trecho do defeito do religador.

Quando o religador reenergizar pela última tentativa o trecho sob sua proteção não irá mais sentir uma corrente de curto-circuito, visto que a mesma foi isolada pela abertura do seccionizador anteriormente.

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC \text{ int}} DIC(i)}{NUC \text{ alim}} = \frac{CHI}{NUC \text{ alim}} = \frac{400 * 1,5}{1000} = 0,6$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC \text{ int}} FIC(i)}{NUC \text{ alim}} = \frac{CI}{NUC \text{ alim}} = \frac{400}{1000} = 0,4$$

Figura 19 – Alimentador modelo com curto-circuito, religador, seccionizador e chave-fusível



Fonte: Autoria Própria

Por último, é mostrado na figura 19 o esquema do alimentador padrão que conta com um religador ajustado para 3 operações, um seccionalizador ajustado para 2 operações, e uma chave-fusível, no momento em que houver o curto-circuito o equipamento mais próximo ao local do curto será sensibilizado e realizará a abertura do trecho, no caso, a chave-fusível.

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC\ int} DIC(i)}{NUC\ alim} = \frac{CHI}{NUC\ alim} = \frac{200 * 1,5}{1000} = 0,3$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC\ int} FIC(i)}{NUC\ alim} = \frac{CI}{NUC\ alim} = \frac{200}{1000} = 0,2$$

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos dias de hoje, no Brasil, existem algumas concessionárias de distribuição de energia que não se enquadram nos padrões de indicadores de continuidade estipulados pela ANEEL, e mesmo dentre as concessionárias que conseguem atingir o nível de indicador esperado, as mesmas geralmente também possuem regiões dentro de sua área de concessão que não estão dentro do padrão, então o objetivo desse trabalho foi demonstrar uma forma de melhorar o indicador de continuidade das localidades que não se enquadrarem no “padrão ANEEL” de qualidade de fornecimento de energia.

No decorrer do trabalho, foram apresentados o conceito de alimentador, indicadores de continuidade, padrões de falta, foi demonstrado o significado de ANEEL, foi apresentado o que é um curto-circuito, e também foram apresentados os principais equipamentos de proteção, suas funções e formas de funcionamento.

Após a apresentação dos principais conceitos, foi elaborado um alimentador padrão com 1000 clientes, distribuídos entre 5 transformadores, que não possui nenhum equipamento de proteção que não seja o disjuntor em sua saída. Nesse alimentador foi simulado um curto-circuito que desarmou o alimentador por 1 hora e 30 minutos, em posse desses dados foram calculados os indicadores de continuidade gerados a partir da falta.

Foi realizada a mesma simulação de interrupção citada no parágrafo anterior onde foi incluído primeiro um religador no alimentador, dessa forma o experimento foi refeito, depois foi incluído um seccionalizador no alimentador e o experimento foi refeito, por último foi incluído uma chave-fusível no alimentador, onde o esquema padrão de proteção e seletividade nos alimentadores de distribuição foi completo.

A cada configuração adotada foi possível notar a redução nos indicadores de continuidade calculados, no primeiro exemplo os indicadores eram de DEC=1,5 e FEC=1, no

segundo de DEC=0,9 e FEC=0,6, no terceiro de DEC=0,6 e FEC=0,4, no quarto de DEC=0,3 e FEC=0,2. Pode-se então, notar uma redução de 80% para ambos os indicadores, face aos dados expostos, é possível concluir a eficácia do experimento.

Como sugestão para futuros trabalhos, a fim de dar seguimento para este, seria de grande valia que fosse abordado e incluído no estudo de redução de indicadores, a chave-fusível religadora e o esquema de Self-Healing, a inclusão destes dois tópicos iria conferir muito mais robustez a esse tema, tão importante para a qualidade do fornecimento de energia elétrica nos dias de hoje.

REFERÊNCIAS

- ABRADEE. **A Distribuição de Energia**. 2022. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia/>. Acesso em: 26 maio 2022.
- AECWEB. **Religador - Série U, série N, série W**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/produto/religador-serie-u-serie-n-serie-w/30053>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **0049/2011**: Dia Crítico. Rio de Janeiro, 2011.
- ANEEL. Ministério de Minas e Energia. **Ranking da Continuidade**. 2022. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/ranking-da-continuidade>. Acesso em: 04 set. 2022.
- BARROS, Haroldo de. **Proteção Contra Sobrecorrentes em Circuitos de Distribuição**. Rio de Janeiro: Blue Chip Gráfica e Comunicação, 1998. 300 p.
- BRASIL. Aneel. Ministério de Minas e Energia. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- CARDOSO JUNIOR, Ghendy. **Proteção de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Seccionalizador**. 2022. Disponível em: <https://docplayer.com.br/77161078-12-seccionalizador-protecao-de-sistemas-de-distribuicao-de-energia-eletrica-notas-de-aula-prof-ghendy-cardoso-jr-ufsm-desp.html>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- CELSA. **Seccionalizador digital**. 2022. Disponível em: <https://www.celsa.com.co/es/proteccion-y-maniobra/73-seccionalizador-digital.html>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- CIDE, Prof.. **O que é Elo-Fusível?** 2022. Disponível em: <http://profcide.blogspot.com/2012/07/o-que-e-elo-fusivel.html>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- CPFL. **Proteção de Redes Aéreas de Distribuição: sobrecorrente**. São Paulo, 2016.

ELÉTRICA, Ag. **Disjuntores de Media Tensão**. 2022. Disponível em: <http://ageletrica.com.br/produto.php?idPdt=115>. Acesso em: 17 nov. 2022.

ELETRICISTA, Adolpho. **Saiba o Que é Religadora Automática e como funciona**. 2022. Disponível em: <https://www.adolphoeletricista.com.br/religadora-automatica/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

ELÉTRICOS, Judy Materiais. **Chave Fusível Distribuição**. 2022. Disponível em: <http://judycabos.com.br/produto/chave-fusivel-distribuicao-porcelana15kv-100a-10ka-c-ferragem-rpc/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

ENERGÊS (org.). **Diferença entre linha de distribuição e transmissão**. 2021. Disponível em: <https://energes.com.br/diferenca-entre-linha-de-distribuicao-e-transmissao/>. Acesso em: 17 nov. 2022

ENERGIA, Ministério de Minas e. **ANEEL divulga desempenho e ranking das distribuidoras sobre fornecimento de energia em 2021**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-divulga-desempenho-e-ranking-das-distribuidoras-sobre-fornecimento-de-energia-em-2021>. Acesso em: 21 jun. 2022.

ESFERABLOG. **O que é a ANEEL?**: entenda o trabalho e as funções da agência. Entenda o trabalho e as funções da agência. 2021. Disponível em: <https://esferaenergia.com.br/mercado-livre-energia/o-que-e-aneel/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

FGV. **Questões de Concursos**. 2018. Disponível em: <https://www.qconcursos.com/questoes-de-concursos/questoes/2d756439-91>. Acesso em: 17 nov. 2022.

LEME, Daniel Maciel et al. **Sistema de Proteção da Rede de Distribuição de Energia Elétrica**. 2013. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco, Itatiba, 2013.

MACIULEVICIUS, Paula (org.). **Vento derruba árvore e causa curto-circuito em rede elétrica no Coronel Antonino**. 2012. Campo Grande News. Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/cidades/capital/vento-derruba-arvore-e-causa-curto-circuito-em-rede-eletrica-no-coronel-antonino>. Acesso em: 17 nov. 2022.

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Rio de Janeiro: Gen, 2020. 572 p.
PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL. **MÓDULO 8: Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 2021.

SILVEIRA, Francisco Tavares; GALVANI, Gustavo Tadeu de A.; SOUZA, Euzébio D. de. **Coordenação entre religador e seccionizador em redes de distribuição**. Belo Horizonte: Unibh, 2011. 7 p.