

MELHORIAS NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

LIMA, Natalia Almeida¹
Centro Universitário Academia – UniAcademia
NOGUEIRA, Fernando José²
Centro Universitário Academia – UniAcademia

Linha de pesquisa: Sistemas de Energia Elétrica

RESUMO

Os sistemas de distribuição de energia elétrica são complexos e muitas vezes extensos, o que o torna suscetível a muitas falhas. Estes sistemas suprem desde grandes centros urbanos com indústrias, a pequenos consumidores em áreas rurais mais isoladas. Há diversos fatores que podem ocasionar falhas nas redes de distribuição. Descargas atmosféricas, chuvas, queda de árvores e curtos-circuitos são algumas das prováveis causas de interrupções nos sistemas. Para sanar essas perturbações, as companhias de energia elétrica investem e aplicam métodos para diminuir as interrupções, prezando pela economia nos gastos dos seus serviços e pelo melhor atendimento ao seu consumidor final. Equipamentos mais avançados e cabos mais resistentes podem ser a resposta para problemas de interrupções constantes. Este trabalho tem como objetivo a revisão bibliográfica de possíveis soluções para a melhoria nos sistemas de distribuição, tendo como premissa uma evolução na eficiência operacional e um incremento na satisfação da energia elétrica distribuída para seus clientes.

Palavras-chave: Equipamentos. Falhas nas redes. Interrupções nos sistemas. Sistemas de Distribuição.

¹ Graduanda em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade começa a ser produzida no Brasil no final do século XIX. Em 1930 o governo federal criou a primeira regularização do setor elétrico, o Decreto 24.643, de 10 de julho de 1934. A partir da década de 1990, o setor elétrico passou por uma reestruturação no Brasil. O estado estava sem condições de investir no setor e as privatizações se tornam uma das alternativas ideais para a resolução dos problemas (HONAISSER, 2009).

O sistema elétrico de potência, SEP, é constituído pelas usinas geradoras de energia, as linhas de transmissão de alta tensão e o sistema de distribuição com média e baixa tensão, conforme Figura 1.

Figura 1 – Sistema Elétrico de Potência.



Fonte: ABRADÉE, 2019.

As usinas geradoras de energia ficam localizadas próximas aos seus recursos naturais tanto no caso das hidrelétricas, fazendo o aproveitamento dos desníveis e quedas de água, quanto no caso das termelétricas, que estão instaladas próximo das reservas de combustíveis fósseis. Muito embora a construção das usinas esteja longe dos grandes centros urbanos, torna-se mais viável e econômico o transporte da energia através das linhas de transmissão, em detrimento do transporte do combustível fóssil, por exemplo. Além das usinas nucleares, que por questões de segurança, devem ser instaladas em regiões afastadas das regiões com altas taxas de densidade demográfica.

Os maiores responsáveis pela geração de energia elétrica geralmente são as empresas estatais ou as empresas privadas, isto ocorre devido ao expressivo capital investido nesses empreendimentos (ZANETTA, 2006).

As usinas geradoras produzem níveis de tensão que geralmente variam de 6kV a 25kV. Por serem tensões muito baixas, torna inviável o seu transporte em longas distâncias. Deste modo, são utilizados transformadores, localizados em subestações elevadoras, para elevar o nível da tensão que pode variar de 69kV até 765Kv (ABRADEE, 2022).

A condução convencional da transmissão é realizada através de linhas aéreas, que tem por característica condutores nus, conectados nas estruturas por isoladores. A transmissão pode ser feita tanto por corrente alternada quanto por corrente contínua. O sistema mais utilizado é o de corrente alternada pois permite uma tensão mais econômica e segura. A corrente alternada utiliza redes trifásicas com um ou mais subcondutores por fase (MENEZES, 2022).

Nas subestações abaixadoras de distribuição, SE's, são feitas as transformações da alta para a média tensão através de transformadores abaixadores, para que seja realizada a distribuição de energia para os consumidores finais. Na média tensão, MT, as tensões vão de 11,4kV até 34,5kV (ABREDEE, 2022).

As redes primárias atendem os consumidores ligados na média tensão e os transformadores, que são estes os responsáveis por suprir a rede secundária, ou de baixa tensão, BT.

As redes de distribuição têm as seguintes topologias: aéreas convencionais, aéreas protegidas compactas, aéreas isoladas ou subterrâneas isoladas. Sua configuração varia conforme o local, a disponibilidade de recurso, a condição ambiental, entre outros fatores.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é apresentar os recursos que as concessionárias possuem atualmente para um melhor fornecimento de energia no Sistema de Distribuição. Equipamentos, cabos, isoladores, entre outros materiais, apresentam uma maior confiabilidade e durabilidade se comparado com os fabricados em anos anteriores. Será mostrado neste trabalho as vantagens de um sistema de distribuição

mais atualizado, favorecendo não só os consumidores como também as próprias distribuidoras de energia.

2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema de distribuição de energia elétrica é aquele que está situado nas grandes cidades, ramificado ao longo das ruas. É composto por fios condutores, postes e equipamentos diversos.

O sistema de distribuição é composto por média e baixa tensão. A média tensão, chamada de rede primária, são aquelas que a tensão elétrica varia entre 11,4kV e 34,5kV. Na baixa tensão, também denominada como rede secundária, a tensão elétrica pode variar entre 110V e 440V. Em grande escala, são as redes de baixa tensão que efetuam o transporte da energia elétrica até os consumidores por meio dos ramais de ligação. Os grandes centros comerciais em sua maioria atendidos diretamente pela rede de média tensão, sendo de sua responsabilidade transformar a energia para níveis menores de tensão (ABRADEE, 2022).

As especificidades de construções usadas na distribuição variam conforme as características do local, podendo ser elas: aéreas ou subterrâneas.

A rede aérea evidencia um custo mais reduzido, sua construção é mais ágil, e torna-se mais eficiente a identificação de defeitos. Por outro lado, a rede aérea apresenta mais defeitos principalmente por estar exposta aos agentes externos, como árvores, descargas atmosféricas, vandalismo, entre outros. Na construção das redes subterrâneas as maiores vantagens são uma maior confiabilidade e um melhor aspecto estético. Porém tem como desvantagens os custos de construção muito elevados e uma maior dificuldade na identificação e reparos nos defeitos.

A qualidade e a continuidade da energia fornecida pelas distribuidoras impactam em vários índices que são estabelecidos por leis e por decretos que são regulados pela ANEEL. As concessionárias precisam se manter dentro destes índices para manter sua concessão.

2.1 ANEEL

A Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997 (ANEEL, 2021).

A ANEEL tem por finalidade regular e fiscalizar o sistema elétrico de potência através de resoluções, além de garantir a segurança de todos que atuam no setor de distribuição de energia elétrica. As resoluções elaboradas pela ANEEL, se orientam por leis aprovadas no congresso Nacional e decretos que são estabelecidos pelo Executivo Federal.

Podemos considerar que o setor de distribuição de energia é um dos mais fiscalizados do setor elétrico. A ANEEL edita resoluções, portarias e outras normas para que a distribuição tenha um funcionamento adequado, além de ser muito rigorosa na fiscalização.

Seguindo as normas elaboradas no Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, PRODIST, especificamente o módulo 8 que trata da qualidade do fornecimento da energia elétrica no Brasil, a ANEEL acompanha os serviços prestados pelas distribuidoras através dos indicadores de qualidade. Conforme (PRODIST,2021) estes indicadores são estabelecidos quanto à duração e frequência das interrupções. Sendo eles: DEC, FEC, DIC, FIC E DMIC.

DEC – duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, que indica o intervalo de tempo, em média, em que ocorreu descontinuidade da prestação de serviço em cada unidade consumidora do conjunto considerado, no período de apuração, em horas;

FEC – frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, que indica o número de vezes, em média, em que ocorreu descontinuidade da prestação de serviço em cada unidade consumidora do conjunto considerado, no período de apuração;

DIC – duração de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão de instalações dos demais acessantes, que indica o intervalo de tempo em que ocorreu descontinuidade da prestação de serviço em uma unidade ou instalação, no período de apuração, em horas;

FIC – frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão de instalações dos demais acessantes, que indica o número de vezes em

que ocorreu descontinuidade da prestação de serviço em uma unidade ou instalação, no período de apuração;

DMIC – duração máxima de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão de instalações dos demais acessantes, que indica o intervalo de tempo máximo em que ocorreu descontinuidade da prestação de serviço em uma unidade ou instalação, no período de apuração, em horas.

As concessionárias têm como objetivo manter estes indicadores sempre dentro das metas estabelecidas pela ANEEL, evitando assim multas e o ressarcimento aos consumidores (LEME, 2013).

A continuidade dos serviços deverá ser supervisionada, avaliada e controlada por meio dos indicadores coletivos que expressem os valores vinculados aos conjuntos, concomitante aos indicadores individuais associados a cada unidade consumidora e seus respectivos pontos de conexão. A aferição do DEC e FEC é realizada e apurada anualmente, de forma sistêmica as concessionárias enviam os dados para a ANEEL informando toda as intercorrências de falta de energia com o tempo igual ou superior a três minutos. As estatísticas da continuidade dos serviços são colocadas em um ranking e divulgado anualmente pela ANEEL (MANOEL, 2018).

Os indicadores individuais DIC, FIC e DMIC são aplicáveis a todas as unidades consumidoras. São analisados em um período determinado e caso ocorra a extrapolação dos valores pré-estabelecidos, as distribuidoras devem ressarcir os consumidores, efetuando o crédito nas faturas apresentadas em até dois meses após o período de apuração.

3 TIPOS DE INTERRUPÇÃO

As concessionárias de energia elétrica enfrentam grandes problemas na distribuição de energia. Há muitos problemas que podem impactar no fornecimento de energia elétrica, sendo eles na própria rede, ou defeitos externos como as vegetações.

A qualidade do serviço de distribuição de energia, entendido como a “continuidade de fornecimento”, é considerado pelas interrupções no sistema que podem ser divididas em manutenção corretiva (falhas não previstas no sistema) e manutenção preventiva (atividades de manutenção programadas devido a necessidades de reparos).

Das principais causas das falhas não previstas na interrupção da energia elétrica, destacam-se os temporais, como vendavais, descargas atmosféricas e chuvas, causas estas que não são possíveis prever ou evitar, dificultando a intervenção pela concessionária. A arborização é outra causa para as interrupções de energia, porém é um problema que pode ser evitado sistematicamente com a poda preventiva da vegetação. Além disso, o abalroamento de postes é outro fator rotineiro responsável pelas interrupções de energia, sendo necessário uma análise mais criteriosa da ação a tomar referente a esta questão.

A quebra de isoladores, o apodrecimento de cruzetas, os ninhos de pássaros nos equipamentos, a deterioração dos postes, dentre outros, são fatores que podem acarretar tanto manutenções corretivas como manutenções preventivas.

4 POSSÍVEIS MELHORIAS NOS SISTEMAS

As distribuidoras de energia elétrica estão sendo constantemente pressionadas pela ANEEL no intuito de aprimorar, investir, modernizar e implementar evolução no sistema de distribuição, ademais os consumidores estão cada vez mais exigentes.

Tendo em vista a necessidade da melhoria contínua da qualidade de energia fornecida (Módulo 8 do PRODIST – ANEEL) foram definidas medidas para melhorar os índices de continuidade e confiabilidade do sistema elétrico, resultando ainda em otimização dos recursos de operação e segurança dos equipamentos, pessoal próprio e terceiros (CEMIG DISTRIBUIÇÃO, 2013).

Com alguns estudos de local, disponibilidade, tensão e corrente, entre outros fatores, é possível visar aprimoramentos na rede para sanar ou evitar os desligamentos. Alguns dos aprimoramentos usados possuem um alto custo de investimento inicial, o que dificulta sua implementação, deixando sua utilização para situações específicas. Porém ocorre uma redução drástica nos custos de manutenção programada e manutenção corretiva da rede.

4.1 RELIGADORES

Quando ocorre um curto-circuito, surge uma corrente de elevada intensidade que pode trazer efeitos sobre os equipamentos ligados no circuito. Já as correntes de curto-circuito de baixo valor podem causar danos a pessoas e animais se não interrompidas a tempo. Para minimizar estes efeitos é comum o uso de chaves fusíveis, chaves fusíveis repetidoras e religadores.

A chave fusível (Figura 2) é um dispositivo constituído por um porta-fusível e por um elo fusível. O elo fusível é uma peça facilmente substituível que funciona como um corta-circuito quando ocorre um curto-circuito ou uma sobrecarga. Utilizando a chave fusível como o equipamento de proteção tem-se a abertura total e definitiva do circuito no caso de uma falha na rede, sendo necessário o religamento manual do equipamento (LEME, 2013).

Figura 2 – Chave fusível.

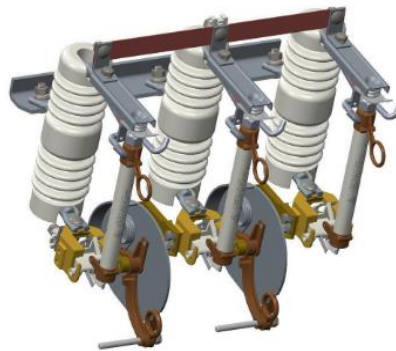


Fonte: MAURIZIO, 2017.

A chave repetidora (Figura 3) tem o mesmo princípio de funcionamento da chave fusível comum, porém ela possui três operações. A carga fica em um dos porta-fusíveis da chave, quando ocorre uma falha na rede e o elo se rompe, a carga é transferida automaticamente para o outro porta-fusível. Caso o problema seja de origem transitória, não ocorre o desligamento daquele circuito. Porém, mesmo com as vantagens da chave repetidora, se ocorrerem três falhas no circuito a chave não consegue atuar, gerando assim o desligamento da rede, e sendo necessário o religamento manual.

O religador é um dispositivo automático interruptor que abre e fecha seus contatos em um número predeterminado de vezes na eventualidade de uma falha. É um equipamento de proteção a sobrecorrentes, operando quando detecta correntes de curto-circuito. Os contatos são mantidos abertos durante seu tempo de religamento, e após fecham automaticamente para a reenergização da linha.

Figura 3 – Chave fusível repetidora.



Fonte: MAURIZIO, 2017.

Segundo (PARREIRA, 2016) as falhas / defeitos na rede, podem ser divididos em três condições:

- 1) Defeitos fugitivos - Estes defeitos provocam a atuação das funções de proteção e a sua eliminação não necessita de nenhuma intervenção no local. São eliminados com uma religação rápida;
- 2) Defeitos semipermanentes - São defeitos que provocam a atuação das funções de proteção, cuja supressão não necessita de nenhuma intervenção no local. Incidem no mesmo local com intervalos de tempo curtos e sob o efeito da mesma causa. Este defeito é eliminado por uma sequência de religações lentas;
- 3) Defeitos permanentes - Provocam a atuação das funções de proteção e para ser eliminados requerem a intervenção no local do defeito. Este defeito origina o disparo definitivo após uma sequência de religações lentas.

Segundo (SOUZA, 2019), as operações de um religador podem ser combinadas nas seguintes sequências ajustadas a seguir:

- Uma rápida e três retardadas;
- Duas rápidas e duas retardadas;
- Três rápidas e uma retardada;
- Todas rápidas;
- Todas retardadas.

Para o estudo da coordenação de um sistema, deve-se considerar uma série de fatores que influenciarão no critério a ser adotado. Os mais relevantes são: a carga instalada e a demanda do sistema, o meio onde se situa o sistema elétrico, a coordenação com outros dispositivos instalados, critérios econômicos e condições de segurança (SOUZA, 2019).

Os religadores podem ser classificados quanto ao número de fases em monofásico e trifásico. Atualmente os religadores monofásicos mais utilizados são os chamados *Trip Saver* (Figura 4). Este tipo de religador é autoalimentado, controlado eletronicamente, com interruptor a vácuo. Tem até três operações de religamento antes de desarmar com posição aberta visível. É configurável em centro de serviços e pode reconfigurar sua sequência de operação (SILVA, 2017).

Figura 4 – Religador monofásico *Trip Saver*.



Fonte: S&C Eletric Company, 2020.

No trifásico são utilizados religados automáticos telecomandados (conforme Figura 5), que podem ser comandados remotamente. São instalados ao longo do alimentador na rede primária para proteção e execução de manobras.

Figura 5 – Religador trifásico.



Fonte: Adolpho Eletricista, 2021.

4.2 REGULADOR

São comuns alimentadores extensos com carga concentrada nas extremidades, principalmente alimentadores rurais. Neste caso, a concessionária de energia precisa de uma solução para manter os níveis de tensão dentro dos valores prescritos. A utilização de reguladores de tensão é uma prática usual para este controle. O regulador de tensão, RT, é um equipamento destinado a manter uma determinada faixa de tensão em sua saída mesmo quando submetido a uma tensão de entrada variável, desde que esta variação esteja em uma faixa aceitável (MADRUGA, 2011).

O regulador de tensão (Figura 6), tem o funcionamento de um autotransformador com muitos TAP's, podendo operar tanto como elevador de tensão, quanto como abaixador de tensão. O TAP varia a relação entre o número de enrolamentos primários e secundários através de uma chave. Pode ser operado manual ou automaticamente. O controle acontece de acordo com o nível de tensão na entrada visando manter uma saída constante (MADRUGA, 2011).

Figura 6 – Banco de regulador.

Fonte: AUTOR, 2022.

Em redes trifásicas geralmente são usados banco de reguladores, que são três reguladores monofásicos que trabalham por fase, individualmente e são controlados por um relé. É recomendado a instalação de três banco de reguladores, no máximo, no mesmo alimentador.

Em alimentadores que possuem dupla alimentação, os reguladores conseguem atuar nos dois fluxos. Este monitoramento é realizado tomando como parâmetro os ajustes de tensão pré-estabelecidos pela área de planejamento das concessionárias. Eles possuem a capacidade de melhorar o nível de tensão no circuito em até 10% do valor nominal da tensão de alimentação. Esse supervisor de tomada de decisão é realizado por um relé que pode ser individual por equipamento ou através do relé único assimétrico, ou seja, que controla os três reguladores ao mesmo tempo. Em regra, as concessionárias adotam um valor de referência e condiciona a atuação dos reguladores quando há a extrapolação destes valores da tensão.

4.3 REDE DE MÉDIA TENSÃO PROTEGIDA

A conversão da rede aérea nu convencional para a compacta protegida (Figura 7) é uma solução viável para alguns dos problemas que causam as falhas no fornecimento de energia.

Figura 7 – Rede protegida compacta.



Fonte: AUTOR, 2022.

Este tipo de rede é apropriado para regiões arborizadas, tanto em áreas urbanas como áreas rurais, que estão sujeitas a toques eventuais de vegetação ou animais, os quais provocam falhas temporárias na isolação do sistema elétrico de redes nuas, causando curto-circuito e consequente atuação das proteções elétricas acarretando o desligamento de um ramal ou no pior dos casos, de um circuito alimentador, porém da mesma forma que a rede convencional, a rede protegida também é vulnerável a descargas atmosféricas e tensões induzidas. Enterrar o condutor mensageiro pode melhorar o desempenho neste caso (CELEST, 2020).

A rede de distribuição protegida é construída por cabos cobertos que são sustentados por um cabo mensageiro, separados por espaçadores, e apoiados em isoladores poliméricos. Os cabos cobertos são dotados de uma cobertura de polietileno o que reduz a necessidade de espaçamento entre os condutores. O cabo mensageiro é utilizado para a sustentação dos espaçadores. Já os espaçadores, além da função de sustentação, têm a função de manter o distanciamento entre os cabos.

A rede compacta utiliza cabos cobertos com polietileno reticulado (XLPE 90°C), com condutores fase em alumínio e mensageiro de aço AR (alta resistência) nas seguintes formações:

Circuitos trifásicos (4 fios):

- 3#50+9,5 mm,
- 3#150+9,5 mm.

Circuitos monofásicos (2 fios):

- 1#50+9,5 mm (CEMIG ND 2.7, 2016).

Cabe destacar, ainda, que as redes aéreas compactas protegidas causam menor impacto no meio ambiente, tendo em vista que convivem de maneira harmoniosa com a arborização e minimizam os fatores de risco aos seres humanos. Apesar de conviverem melhor com a arborização, os cabos de RDP não podem ter contato permanente com a vegetação, pois podem sofrer danos na sua proteção (FINK, 2013).

4.4 REDE DE MÉDIA TENSÃO ISOLADA

A rede isolada, sendo aérea ou subterrânea, é uma das melhores soluções para os problemas que ocorrem na rede de distribuição. Porém, em ambas as construções, o custo é muito elevado se comparado com a rede convencional NU.

Este tipo de rede é apropriado para regiões arborizadas, tanto em áreas urbanas como áreas rurais, pois são imunes a contatos de vegetação ou animais, mesmo que permanentes, ou até mesmo a objetos lançados à rede, desde que não danifique sua isolamento. Devido a isso, não há custos com podas periódicas de vegetação, o que minimiza os custos operacionais de manutenção e por consequência traz benefícios ao meio ambiente (CELEST, 2020).

A rede primária isolada aérea (Figura 8) utiliza cabos multiplexados, com condutores fase em alumínio isolados em polietileno reticulado (XLPE-90°C) e mensageiro nu em aço (HS) ou aço aluminizado, com diâmetro de 3/8 pol., nas seguintes formações:

- Circuitos trifásicos (4 fios);
- 3x1x50+3/8P;
- 3x1x120+3/8P;
- 3x1x185+3/8P (CEMIG ND 2.7, 2016).

A rede primária isolada subterrânea utiliza cabos isolados, com condutores fase em alumínio isolados em polietileno reticulado (XLPE-90°C) e neutro nu 70mm de cobre, nas seguintes formações:

- Circuitos trifásicos (4 fios);
- 3#50+70(cobre);
- 3#120+70(cobre);
- 3#185+70(cobre) (CEMIG ND 2.7, 2016).

Figura 8 – Rede isolada aérea em local arborizado.



Fonte: AUTOR, 2022.

O custo da rede isolada subterrânea pode ser até 10 vezes maior quando comparado a rede convencional e grande parte do seu custo está atribuído a construção civil. A abertura de valas, recomposição de passeios e vias e demais obras são em torno de 75% a 85% do custo total de sua implementação (VELASCO, 2003).

Este tipo de rede não possui custo de podas de vegetação por ser subterrâneo, além de não sofrer problemas com as descargas atmosféricas. Quanto aos problemas com animais, a rede subterrânea sofre com a atuação dos ratos que roem o isolamento do cabo.

Locais muito arborizados, área próximo de aeroporto, condomínios, travessias e locais com muita poluição são aplicações viáveis para a instalação da rede isolada subterrânea. Entretanto, este tipo de rede só é utilizado em área urbana.

4.5 PODAS

A convivência entre a rede de distribuição elétrica e a vegetação na rua é uma das principais causas de falhas na rede. Uma possível solução para esta questão são as podas (Figura 9). Em um primeiro instante as podas são as soluções para os desligamentos, porém com o tempo as árvores retornam seu estágio e a atingir novamente os fios. Em locais com rede convencional nu, as podas precisam ser feitas periodicamente para que não voltem a atingir a rede (CEMIG,2011).

Figura 9 – Poda de árvores.



Fonte: CEMIG, 2011.

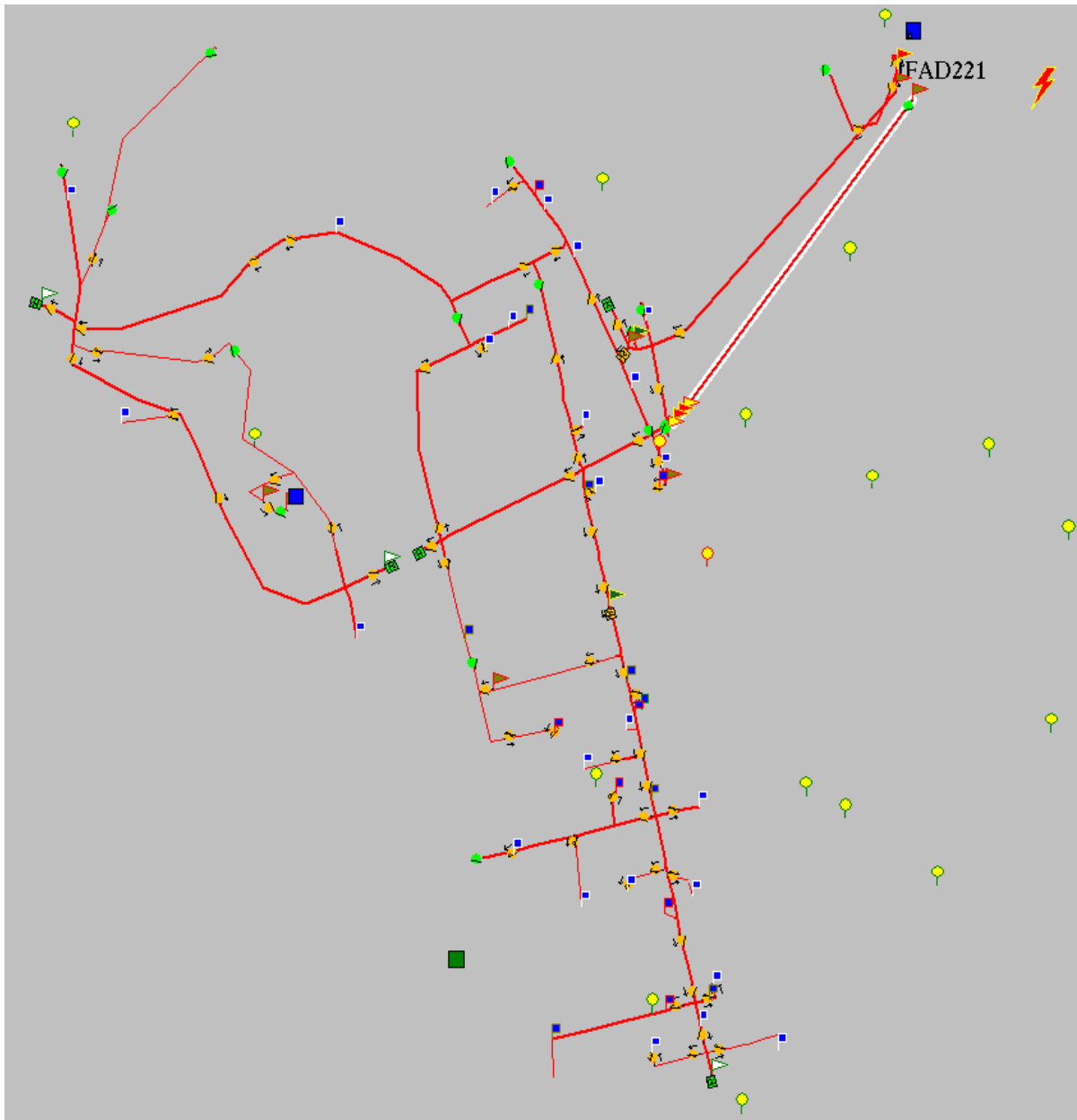
Na concepção dos novos projetos de construção é necessário priorizar tipos de rede que causam um menor impacto ambiental e que reduzem a quantidade / área de poda. Cada tipo de rede deve manter uma distância da vegetação para que não ocorra problemas no fornecimento de energia. Em casos extremos, o uso da rede isolada aérea é a melhor opção para que não ocorra problemas na rede, visto que, possui um condutor que permite ter um contato direto com a vegetação (VELASCO, 2003).

Caso a substituição do condutor não seja o suficiente para resolver o problema, deve ser feita a realocação da rede para outro ponto. Somente quando a árvore oferece risco de queda sobre a rede elétrica que pode ser feita a supressão dela.

4.6 ALIMENTADOR

Das subestações de distribuição provém os subsistemas, conhecidos como alimentadores. É chamado de alimentador (Figura 10) todo o circuito primário que sai de uma subestação e vai até o consumidor final (CEMIG, 1985).

Figura 10 – Alimentador JFAD221.



Fonte: CEMIG, 2022.

O tronco do alimentador é a parte que transporta a parcela principal da carga total do circuito. Do tronco saem as chamadas ramificações, que são circuitos trifásicos ou monofásicos que atendem os clientes finais (CEMIG, 1985). Desde a saída da subestação até o final do alimentador, é necessário um investimento de grande porte. O investimento em proteção e em interligações precisa ser alto devido ao número de consumidores conectados a aquele circuito. Além disso, é importante investir em equipamentos tecnológicos para uma recuperação rápida dos clientes em

casos de falhas. Na saída dos alimentadores deve sempre ser planejado o cabo de maior bitola padronizado por tipo de rede.

A criação de novos alimentadores influencia diretamente na melhoria do atendimento aos clientes. As redes novas têm menos propensão a desligamentos e com a construção paralela a um alimentador já existente gera a possibilidade de interligação entre ambos os alimentadores, deixando uma segunda opção de religamento dos clientes.

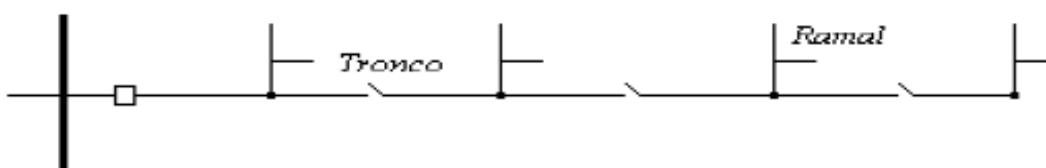
Em alimentadores já existentes, o recondutoramento da rede é uma opção para evitar ou resolver os desligamentos. O recondutoramento é a troca dos cabos já existentes para outros de maior bitola, conseqüentemente de maior resistência. Este serviço ocasiona um custo maior em materiais e mão de obra pela necessidade da troca dos materiais de sustentação como postes, cruzetas, isoladores, entre outros.

4.7 INTERLIGAÇÃO

Uma outra solução para evitar os longos desligamentos dos clientes é a configuração radial com recurso, ou também conhecida como interligação. A Cemig distribuição S.A de Juiz de Fora tem feito um trabalho árduo para construir as interligações nos locais onde é possível este feito.

No sistema radial simples (Figura 11) a alimentação é feita apenas por uma extremidade. Geralmente é uma configuração muito encontrada no rural, visto que, em alguns casos não possui outro alimentador em suas proximidades para possibilitar uma interligação. Uma desvantagem desse sistema, é que, quando ocorre uma falha, é demandado um maior tempo para restabelecer a energia, fazendo com que todo o circuito, ou uma parte dele fique desligado.

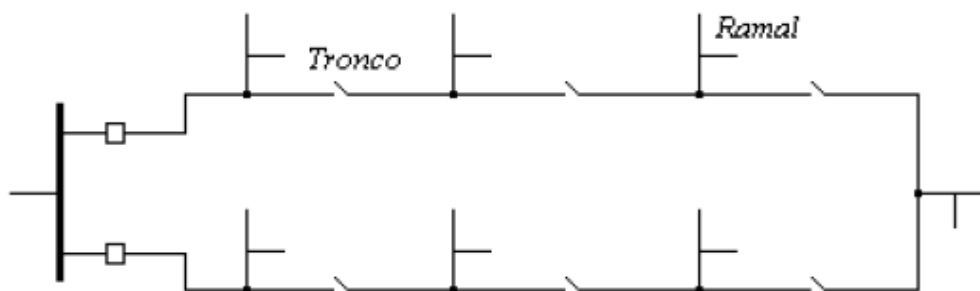
Figura 11 – Sistema radial simples.



Fonte: CEMIG, 2013.

Já o sistema radial com recurso (Figura 12) tem uma configuração de fácil operação e expansão. Este sistema oferece um recurso extra para o restabelecimento de energia, podendo atender os ramais que não foram afetados diretamente pela interrupção. Além disso, em algumas situações ele permite que o defeito na rede seja corrigido em um prazo maior, visto que, muitos dos clientes afetados já estão restabelecidos.

Figura 12 – Sistema radial com recurso.



Fonte: CEMIG, 2013.

As interligações (conforme Figura 13) são utilizadas preferencialmente em área urbana, são feitas ligando dois circuitos de rede de MT de alimentadores diferentes ou de um mesmo alimentador conectando pontos distintos. A ideia da interligação é ter uma segunda opção de alimentação para o consumidor caso ocorra algum problema na alimentação principal. São usadas chaves NA (normalmente aberta) separando os circuitos e possibilitando a transferência de carga dos alimentadores. Quando ocorre o problema na alimentação principal, a chave é fechada realimentando uma parte ou todos os clientes que ficaram desligados. Nas interligações podem ser usadas chaves faca e/ou religadores.

A seguir, a Tabela 1 mostra um comparativo dos valores em reais de alguns serviços executados pela Cemig Distribuição de Juiz de Fora. Os valores sofrem alterações com o tempo, principalmente o valor dos materiais, porém é possível ter uma base comparativa com alguns serviços executados entre os anos de 2019 até 2022.

Tabela 1 – Tabela de valores.

Nota	Serviço	Data execução	US	Valor total em R\$	Observações
NSPR 58076182	Substituir religador trifásico	23/01/2022	0,6	32.530,48	Valor do equipamento R\$25.860,99.
NSPR 58024217	Substituir banco de regulador	14/02/2022	2,04	104.092,26	Valor dos 3 equipamentos R\$96.442,50.
NSPR 58121516	Conversão para rede de MT protegida	07/04/2022	11,2	51.673,87	Substituição de 11 vãos, 540 metros. Valor dos cabos 50mm e 9,5mm são R\$20.392,39
NSPR 57902552	Poda de árvores	16/06/2021	4,38	7.302,12	73 podas realizadas em 540 metros.
NSPR 56929372	Conversão para rede de MT isolada	02/12/2019	4,9	10.932,56	Substituição de 2 vãos, 40 metros. Valor do cabo R\$2.900,43
NS 1145299839	Construção de rede de MT subterrânea	15/12/2021	7,65	34.481,77	Instalação de 114 metros de rede subterrânea.
NSPR 57914445	Interligação	04/02/2022	5,812	38.343,45	Extensão de 3 vãos de rede protegida, 83 metros e troca de dois postes.
NS 2000023638	Melhoria no alimentador	25/11/2021	87,054	336.143,74	Melhoria no alimentador UHJS008. Substituição de 17 vãos, 3km.

Fonte: CEMIG, 2022.

Os serviços de podas e de substituição de rede para cabo protegido citados na Tabela 1, foram realizados após a chave fusível trifásica 57039. Este equipamento tinha um alto índice de reincidências (desligamentos não previstos), sendo em sua grande maioria motivado por árvores tocando nos cabos. Neste caso, além da melhoria na entrega de energia elétrica ao cliente e da economia com as podas no trecho, houve também uma redução com os serviços de primeiro atendimento.

Nos anos de 2021 e 2022 ocorreram 20 reincidências no equipamento 57039, em 15 destas reincidências foram informados causa árvore (conforme Figura 14). O último desligamento citado na chave é referente a substituição para rede protegida, o que confirma a confiabilidade da rede quanto a vegetação.

Figura 14 – Reincidências no equipamento 57039.

Exibir Anomalia												
Tipo Anom.: Reincidência		Anomalia: 351627		Tipo Equip.: Ch. Fus. Deriv.		Nº Disp.: 57039						
Local: Juiz De Fora			Alim.: JFAD216			Rede: RDU						
Cons. Prim: 0			Cons. Sec: 1			Cons. Rur: 0						
Valor de Compensação: 0,00					Cli X Hora: 5							
Data Base: 20/09/2021			Data de Emissão: 21/09/2021			Prazo: 30						
Data Análise: 07/01/2022			Data Últ. Reincidência: 05/03/2022			Data Finalização: 00/00/0000						
Histórico												
2 interrupções originaram a Anomalia: 185536902,185735071												
Após o dia 20/09/2021 houve mais 9 reincidências antes do encerramento da Anomalia: 185850690,186110856,187665447,188108854,188551236,189530315,189581320,18963												
Após o dia 00/00/0000 houve mais 0 recidivas após o encerramento da Anomalia:												
Nº Doc.	Local	Nº Interrup.	Início	Término	Duração	Nº Cons.	Cli x Hora	DEC - local	DEC - conj	Causa	Freq?	
1	191181531	81113	16042138	07/04/2022 10:40:55	07/04/2022 17:59:55	439.08	1	7,3		2.3 - P - Manutencao	1	
2	190681005	81113	15967508	05/03/2022 19:00:00	05/03/2022 21:48:00	168.00	1	2,8		4.3 - MA - Arvore	1	
3	189630191	81113	15870013	01/02/2022 14:28:00	01/02/2022 17:17:00	169.00	1	2,8		4.3 - MA - Arvore	1	
4	189581320	81113	15865527	31/01/2022 11:41:00	31/01/2022 14:10:00	149.00	1	2,5		3.2 - FN - Descarga Atmosferica	1	
5	189530315	81113	15860099	29/01/2022 14:30:00	29/01/2022 16:54:00	144.00	1	2,4		3.2 - FN - Descarga Atmosferica	1	
6	189473335	81113	15854013	27/01/2022 12:27:00	27/01/2022 13:37:00	70.00	1	1,2		4.7 - MA - Def Int Nao Afet Outra Uc	1	
7	188620052	81113	15803440	30/12/2021 09:20:00	30/12/2021 10:37:00	77.00	1	1,3		4.3 - MA - Arvore	1	
8	188551236	81113	15766000	28/12/2021 08:46:00	28/12/2021 15:01:00	375.00	1	6,3		4.3 - MA - Arvore	1	
9	188108854	81113	15730762	13/12/2021 07:45:00	13/12/2021 09:11:00	86.00	1	1,4		4.3 - MA - Arvore	1	
10	187665447	81113	15692229	29/11/2021 09:17:00	29/11/2021 12:33:00	196.00	1	3,3		4.3 - MA - Arvore	1	
11	186110856	81113	15540810	04/10/2021 11:11:00	04/10/2021 11:34:00	23.28	1	0,4		4.3 - MA - Arvore	1	
12	185850690	81113	15514539	23/09/2021 09:04:00	23/09/2021 12:44:00	220.00	1	3,7		4.3 - MA - Arvore	1	
13	185735071	81113	15508082	20/09/2021 07:28:00	20/09/2021 08:52:00	84.00	1	1,4		4.3 - MA - Arvore	1	
14	185536902	81113	15494994	12/09/2021 08:39:00	12/09/2021 13:14:00	275.00	1	4,6		4.3 - MA - Arvore	1	
15	183123283	81113	15347967	16/06/2021 09:00:00	16/06/2021 11:57:00	177.00	1	3,0		2.5 - P - Poda De Arvore	1	
16	183252125	81113	15319200	01/06/2021 08:09:00	01/06/2021 11:02:00	173.00	1	2,9		4.3 - MA - Arvore	1	
17	183040678	81113	15305781	24/05/2021 11:52:00	24/05/2021 14:18:00	146.00	1	2,4		4.3 - MA - Arvore	1	
18	181267319	81113	15168255	14/03/2021 14:05:00	14/03/2021 15:44:00	99.00	1	1,7		3.2 - FN - Descarga Atmosferica	1	
19	181149112	81113	15155577	09/03/2021 16:01:00	09/03/2021 18:10:00	129.00	1	2,2		4.3 - MA - Arvore	1	
20	180652835	81113	15105557	18/02/2021 18:02:00	19/02/2021 10:15:00	973.00	1	16,2		4.3 - MA - Arvore	1	

Fonte: CEMIG, 2022.

6 RESULTADOS

Todas as melhorias realizadas na rede de distribuição, visam não somente um bom atendimento ao consumidor, como também um bom resultado nos índices das distribuidoras.

Essas melhorias trazem como consequência uma menor ocorrência de desligamentos não previstos na rede, o que reduz os deslocamentos das equipes que fazem o religamento dos equipamentos e das equipes que atendem o serviço emergencial, diminuindo o gasto com mão de obra. Além disso, faz com que os indicadores das concessionárias tenham um melhor índice, evitando multas e ressarcimentos.

É necessário a implementação de uma metodologia de gestão padrão dos investimentos feitos pelas distribuidoras a fim de proporcionar o correto reconhecimento destes quando da homologação da revisão tarifária que reconhecerá efetivamente estes investimentos e dará à concessionária a oportunidade de garantir o retorno adequado de seus investimentos.

Sendo assim, é proposto que cada distribuidora tenha ferramentas de gestão sobre seus custos e sobre seus investimentos, de forma a otimizar seu fluxo de caixa e programar seus investimentos de forma prudente visto que a classificação como “não prudente” faz com que os valores investidos não sejam reconhecidos (DOMAREDZKY, 2012).

Serviços de instalação de equipamentos e conversões de rede, são investimentos que irão trazer retorno a concessionária. Os investimentos melhoram a qualidade do fornecimento de energia em termos de redução da taxa de frequência das interrupções e de redução da taxa de frequência de reclamações dos consumidores (MAESTRI, 2019).

7 CONCLUSÃO

A melhoria na qualidade dos serviços prestados pelas distribuidoras gera economia em vários setores, principalmente nos serviços que não trazem retorno.

Os investimentos podem e devem ser feitos, com estudos de necessidades e prioridades, dentro das condições de cada distribuidora. Se as modificações forem realizadas com cautela e planejamento, após um período de tempo teremos redes de

distribuição mais confiáveis, menos propícias a desligamentos não previstos e serviços emergenciais.

Por fim, conclui-se que, as concessionárias estão buscando inovações para fornecerem uma melhor energia aos seus clientes e diminuir seus gastos com despesas que não trazem retorno. Desta forma, cada vez mais as redes estarão mais confiáveis e menos propícias a danos.

ABSTRACT

The complexity and extensity of the electric power distribution systems compel them to be susceptible to many failures. The purveyance of these systems reaches industrial urban centers as well as small consumers in isolated rural areas. Several factors can cause failures in distribution networks, for instance: atmospheric discharges, rain, falling trees and short circuits. These can be seen as some of the probable causes of interruptions in the systems. To remedy these disturbances, electric power companies invest and apply methods to reduce interruptions focusing on savings and the costs of their services, resulting in a better service to their final consumer. To illustrate this point, more advanced equipment and stronger cables can be the sources of resolving constant interruptions. This study aims to review the literature on possible solutions for improving distribution systems, based on evolution in operational efficiency and an increase in the satisfaction of the electricity distributed to its customers.

Keywords: Distribution Systems. Equipment. Network failures. System interruptions.

REFERÊNCIAS

ABRADEE. **A Distribuição de Energia**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia/>>. Acesso em: 08 mar. 2022.

ADOLPHO ELETRICISTA, **Saiba o Que é Religadora Automática e como Funciona**, 2021. Disponível em: <<https://www.adolpoeletricista.com.br/religadora-automatica/>>. Acesso em: 25 abr. 2022.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Órgãos. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/orgaos/agencia-nacional-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 09 mar. 2022.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/a-aneel>>. Acesso em: 04 abr. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília, 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427compilada.htm>. Acesso em: 09 mar. 2022.

CELESC. **Manual de Procedimentos – Critérios para utilização de redes de distribuição**. 2020. Disponível em: <<https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-tecnica/l3130021.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO SA, Instrução de Operação. **Critérios para Elaboração de Estudos de Proteção e Planejamento Operativo de Redes de Distribuição de Média Tensão**. Belo Horizonte, 2013.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Manual de arborização**. Belo Horizonte: Cemig / Fundação Biodiversitas, 2011.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO SA, Norma Técnica de Distribuição, ND 1.1. **Diretrizes Básicas para o Planejamento Elétrico de Distribuição em Média e Baixa Tensão**. Belo Horizonte, 2013.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO SA, Norma Técnica de Distribuição, ND 2.7. **Instalações Básicas de Redes de Distribuição Aéreas Isoladas**. Belo Horizonte, 2016.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO SA, Norma Técnica de Distribuição, ND 2.9. **Instalações Básicas de Redes de Distribuição Compactas**. Belo Horizonte, 2016.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO SA, Norma Técnica de Distribuição, ND 3.2. **Projetos de Redes de Distribuição Aéreas Rurais**. Belo Horizonte, 1985.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO SA, Norma Técnica de Distribuição, ND 4.15. **Proteção de Sobrecorrentes do Sistema de Distribuição de Média Tensão da Cemig**. Belo Horizonte, 2017.

DOMAREDZKY, Leandro Delvan. **A importância da gestão de investimentos em distribuidoras de energia elétrica com foco estratégico na base de remuneração regulatória para fins de Revisão Tarifária Periódica**. 2012.

Disponível em:

<<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44404/R%20-%20E%20-%20LEANDRO%20DELVAN%20DOMAREDZKY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 13 maio 2022.

EXTERKOETTER, Glaicon; ROSENDO CESCNETO, Matheus. **Utilização de religadores monofásicos em redes de distribuição de energia elétrica e impactos nos indicadores de continuidade da Celesc**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17821/1/ARTIGO_FINAL.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

FINK, Adriano. **Viabilidade das redes compactas protegidas na distribuição de energia elétrica**. 2013. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/2241/ADRIANO_Tcc_CORRIGIDO_-_14.01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 mar. 2022.

HONAISSER, Thais Medeiros Pereira. ORIGEM E EVOLUÇÃO DO DIREITO AMBIENTAL. **ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498**, v. 5, n. 5, 2009. Disponível em: <<http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/2601>>. Acesso em: 16 maio 2022.

KAGAN, Nelson; DE OLIVEIRA, Carlos César Barioni; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. Editora Blucher, 2005.

LEME, Daniel Maciel et al. Sistema de Proteção da Rede de Distribuição de Energia Elétrica. **Monografia de Graduação. Universidade São Francisco. Itatiba**, 2013. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2587.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

MADRUGA, Ederson Pereira et al. **Otimização de níveis de tensão nas redes de distribuição considerando a alocação de bancos de capacitores e reguladores de tensão**. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8499/MADRUGA%2c%20EDERSON%20PEREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MAESTRI, Cláudia Olímpia Neves Mamede; ANDRADE, Maria Elisabeth Moreira Carvalho. Indicadores de qualidade do fornecimento de energia no Brasil. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 8, n. 1, p. 40-61, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/9123/6078#>>. Acesso em: 16 maio 2022.

MANOEL, Caio Augusto Silva et al. **A importância da ANEEL na prestação dos serviços de energia elétrica no Brasil**. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 7, p. e377276-e377276, 2018. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/276/251>>. Acesso em: 17 mar. 2022.

MAURIZIO, **Produtos para Rede de Distribuição Elétrica**. Disponível em: <<http://www.maurizio.com.br/categorias/1/Distribuicao>>. Acesso em: 25 abr. 2022.

MENEZES, Victor Prangiel de. Linhas de transmissão de energia elétrica aspectos técnicos, orçamentários e construtivos. **Rio de Janeiro**, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015383.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2022.

MIRANDA, Sabina Adelina Neiva de. **Distribuição de Energia Elétrica Proteção de Sistema Aéreo de Distribuição 2B**. 2016. Disponível em:

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/2b_protecao_de_sistema_aereo_de_distribuicao.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

PARREIRA, João Belmiro Gomes. **Interrupções breves na rede de distribuição-Otimização do processo de localização de causas**. 2016. Disponível em:

<<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/82751/2/119243.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2022.

PRODIST. Anexo VIII da Resolução Normativa N° 956, de 7 de dezembro de 2021. **Módulo 8 – Qualidade do fornecimento de Energia Elétrica**. Disponível em:

<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2022.

PUERTAS, Hilton; NOGUEIRA, Carlos Alberto Mayon. AS DIMENSÕES DA OFERTA...-Sistemas de distribuição de energia elétrica. **Revista do Serviço Público**, v. 43, p. 49-53, 1987. Disponível em:

<<https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/view/1951/911>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

SALVI, Carlos Eduardo. **Controle de tensão primário de uma rede de distribuição rural com uso de reguladores de tensão**. 2021. Disponível em:

<<https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-tecnica/l3130021.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

S&C Electric Company, **Religador Montado em Chave fusível TripSaver II**, 2020.

Disponível em: <<https://www.scelectric.biz/globalassets/sac-electric/documents/sharepoint/documents---all-documents/folha-de-instrucoes-461-502p.pdf?dt=637865026340170375>>. Acesso em: 25 abr. 2022.

SILVA, Antonio Carlos da. **Metodologia para aplicação de religadores**

monofásicos em redes de distribuição de energia rural. 2017. Disponível em:

<<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/4830/Antonio%20Carlos%20da%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 31 mar. 2022.

SOUZA, Tadeu Pereira de; BRAGA JÚNIOR, Mozart Ferreira. **Estudo de Proteção e Coordenação em Redes de Distribuição em Alimentadores com Característica Mista**. 2019. Disponível em:

<<https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/2164>>. Acesso em: 04 mar. 2022.

VELASCO, Giuliana Del Nero. **Arborização viária X sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-10092003-152108/publico/giuliana.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2022.



ZANETTA JR, Luiz Cera. **Fundamentos de sistemas elétricos de potência.**
Editora Livraria da Física, 2006.