



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

SISTEMAS DE REDES SUBTERRÂNEAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

UNDERGROUND SYSTEMS OF ELECTRICAL ENERGY IN BRAZIL

Luiz Cláudio Rego Campos¹; Alessandra de Souza de Macedo²; Diego Meireles Lopes^{3*}

¹Engenheiro Eletricista pelo Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM e Tecnólogo em Sistemas Elétricos pela Universidade Gama Filho – UGF, RJ, Brasil.

²Engenheira Industrial Eletricista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ, RJ, Brasil.

³Doutorando em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ e Professor da Coordenação de Engenharia da Universidade Santa Úrsula - USU, RJ, Brasil.

*diego.lopes@usu.edu.br

ARTIGO INFO.

Recebido em: 09/11/2018

Aprovado em: 14/11/2018

Disponibilizado em: 24/04/2019

PALAVRAS-CHAVE:

Sistema de cabos subterrâneos; Segurança; Impacto Visual; Equipamentos Específicos.

KEYWORDS:

Underground cable System; Security; Visual Impact; Specific Equipment.

Copyright © 2019, Campos et al. Esta obra está sob uma Licença Creative Commons Atribuição-Uso.

*Autor Correspondente: Diego Meireles Lopes

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar o sistema subterrâneo de energia elétrica e as suas principais configurações, assim, determinando a melhor forma de operação dos equipamentos empregados ao longo da extensão da rede elétrica de sistemas de cabos subterrâneos em baixa tensão e em média tensão, de forma a garantir uma maior qualidade de serviço, elevar a segurança e diminuir o impacto visual que as linhas aéreas produzem nos grandes centros urbanos. Na metodologia aplicada foi necessário compreender quais os materiais e as suas características mais para aplicação dos cabos subterrâneos. Em suma, deste

modo é necessário utilizar os métodos aqui apresentados, recorrendo a equipamentos específicos, pois os defeitos em cabos subterrâneos são mais complicados de identificar e de localizar.

ABSTRACT

This article presents the extension of the network of underground cable systems in low voltage and medium voltage, noting that energy demand has increased, in order to ensure a higher quality of service, increase security and reduce the visual impact that airlines produce. To this end, it is necessary to understand what materials and its characteristics more suitable for the underground cables. Despite the faults in underground cables are less frequent than in the airlines, they become more difficult to identify and locate, since usually they are not visible. Thus it is necessary to use several methods, using specific equipment.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC.

INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição de energia é aquele que se confunde com a própria topografia das cidades, ramificado ao longo de ruas e avenidas para conectar fisicamente o sistema de transmissão, ou mesmo unidades geradoras de médio e pequeno porte, aos consumidores finais da energia elétrica. (BIBIANO, 2014)

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADDEE, a conexão, o atendimento e a entrega efetiva de energia elétrica ao consumidor do ambiente regulado acontecem por parte das distribuidoras de energia. A energia distribuída, portanto, é a energia efetivamente entregue aos consumidores interligados à rede elétrica de uma alguma empresa de distribuição, podendo ser rede de tipo aérea (suportada por postes) ou de tipo subterrânea (com cabos ou fios localizados sob o solo, dentro de dutos subterrâneos).

Do total da energia distribuída no Brasil, dentre as Distribuidoras associadas à ABRADDEE, o setor privado é responsável pela distribuição de, aproximadamente, 60% da energia, enquanto as empresas públicas se responsabilizam por, aproximadamente, 40%. (ABRADDEE, 2014).

Assim como ocorre com o sistema de transmissão, a distribuição é também composta por fios condutores, transformadores e equipamentos diversos de medição, controle e proteção das redes elétricas. Entretanto, de forma bastante distinta do sistema de transmissão, o sistema de distribuição é muito mais extenso e ramificado, pois deve chegar aos domicílios e endereços de todos os seus consumidores (ABRADDEE, 2014).

As redes de distribuição são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão. Apesar de algumas transmissoras também possuírem linhas com tensão abaixo de 230 kV, as chamadas Demais Instalações da Transmissão (DIT), grande parte das linhas de transmissão com tensão entre 69 kV e 138 kV são de responsabilidade das empresas distribuidoras. Essas linhas são também conhecidas no setor como linhas de subtransmissão (ABRADDEE, 2014).

Além das redes de subtransmissão, as distribuidoras operam linhas de média e baixa tensão, também chamadas de redes primária e secundária, respectivamente. As linhas de média tensão são aquelas com tensão elétrica entre 2,3 kV e 44 kV, e são muito fáceis de serem vistas em ruas e avenidas das grandes cidades, frequentemente compostas por 3 fios aéreos sustentados por cruzetas de madeira em postes de concreto. (ABRADDEE, 2014).

As redes de baixa tensão, com tensão elétrica que pode variar entre 110 e 440 V, são aquelas que, também afixadas nos mesmos postes de concreto que sustentam as redes de média tensão, localizam-se a uma altura inferior. As redes de baixa tensão levam energia elétrica até



as residências e pequenos comércios/indústrias por meio dos chamados ramais de ligação. Os supermercados, comércios e indústrias de médio porte adquirem energia elétrica diretamente das redes de média tensão, devendo transformá-la internamente para níveis de tensão menores, sob sua responsabilidade (ABRADEE, 2014).

Este trabalho tem como objetivo apresentar o sistema subterrâneo de energia elétrica e as suas principais configurações, provenientes das concessionárias de energia elétrica, assim, determinando a melhor forma de operação dos equipamentos empregados ao longo da extensão da rede elétrica de sistemas de cabos subterrâneos em baixa tensão e em média tensão, de forma a garantir uma maior qualidade de serviço, maior confiabilidade e diminuir o impacto visual que as linhas aéreas produzem nos grandes centros urbanos.

DESENVOLVIMENTO

Em 15 de fevereiro de 2011 o então senador Marcelo Crivella elaborou o Projeto de Lei do Senado nº 37, que apresentou, como objetivo:

Altera a Lei nº. 9.427, de 26 de dezembro de 1996, para incluir a obrigatoriedade de as concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica substituírem redes aéreas de distribuição de energia por redes subterrâneas em cidades com mais de 100 mil habitantes e dá outras providências.

Inicialmente, pretende-se demonstrar, sob visão macro, de que forma se estrutura o sistema elétrico de potência – SEP brasileiro. O SEP abrange a geração, assim compreendida a barragem, a saída do gerador e a subestação elevadora; a transmissão, que é composta pelas linhas de transmissão; e a distribuição de energia elétrica, que engloba todas as redes de distribuição existentes nas cidades (LMDM, 2017).

De acordo com o Estudo: A Transformação Das Redes De Distribuição De Energia Aéreas Em Subterrâneas (LMDM, 2017) vários são os tipos existentes de redes de distribuição de energia elétrica. Não raras vezes, tais redes estão estruturadas em circuitos mistos, causando combinações diversas entre redes de média e de baixa tensão, com variação especialmente em relação aos padrões que são adotados pelas distribuidoras de energia elétrica do país, deixando a desejar, também, quanto às condições e necessidades locais específicas.

De um modo geral, é possível subdividir as redes de distribuição de energia elétrica da seguinte forma: aéreas ou subterrâneas. Delas, as aéreas são mais utilizadas no Brasil, sendo, porém, as redes subterrâneas objeto do presente estudo. Ao se fazer uso das redes



subterrâneas de energia elétrica, torna-se possível proporcionar melhor nível de qualidade à população, bem como maior preservação do meio ambiente, que se mostrará, também, livre de poluição visual.

Entretanto, segundo o autor, deve-se considerar que, para a construção de redes subterrâneas, impacta-se, sim, o meio ambiente, devendo ser este fator considerado quando da opção por esse tipo de rede de distribuição de energia elétrica.

Também há a questão econômica, já que a construção de redes subterrâneas demanda maior despendimento de recursos do que com as redes aéreas. Isso tudo, porém, ainda conforme com o Estudo: *A Transformação Das Redes De Distribuição De Energia Aéreas Em Subterrâneas* (LMDM, 2017) é superado com os benefícios que são gerados ao longo do tempo pelo uso de redes subterrâneas, tais como os seguintes:

- a) Significativa diminuição das interrupções pela redução que se proporciona da exposição dos circuitos a agentes externos, contribuindo, desse modo, para incrementar a confiabilidade do serviço que é prestado. Tal benefício não é percebido na rede convencional aérea, que fica desprotegida em relação às influências externas e às situações adversas, o que faz com que ela apresente elevados níveis de falhas, exigindo a realização de podas drásticas nas árvores, tendo em vista que somente o contato de um galho de árvore com um condutor pode causar constrangimentos advindos do desligamento de parte da rede;
- b) Eliminação total dos circuitos aéreos, contribuindo para melhorar a aparência do sistema, ajudando, também, na preservação das árvores. Tudo isso concorre para a promoção de melhorias no aspecto visual das cidades, contribuindo, também, para a preservação do meio ambiente;
- c) Maior segurança para a população, em razão da redução experimentada de risco de acidentes pela ruptura de condutores ou, ainda, por contatos acidentais;
- d) Redução dos custos de manutenção da rede, tais como deslocamento de turmas de emergência e podas de árvores (VELASCO et al., 2003).

2.1 SISTEMA RADIAL COM PRIMÁRIO EM ANEL

No sistema radial é fornecida uma distribuição de energia composta por dois ou mais percursos, de forma que, se um alimentador falhar, toda a carga do mesmo é suprida por

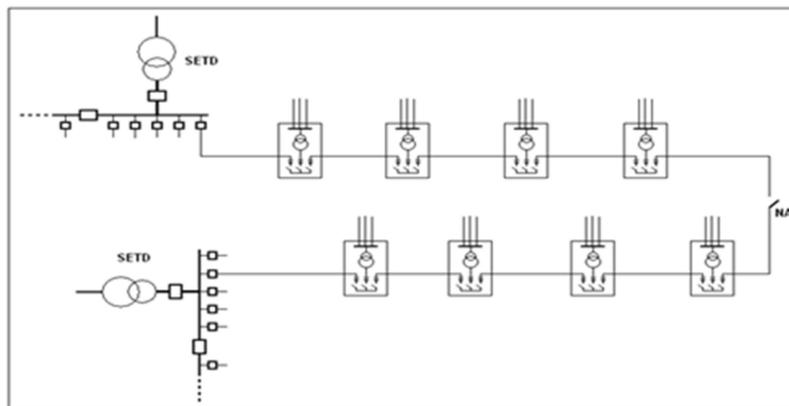


outra, sem interromper qualquer consumidor. Todos os alimentadores desse arranjo devem ter capacidade reserva para alimentar toda a carga do outro, em caso de defeito.

Se aplica ao atendimento de consumidores localizados em regiões de média densidade de carga, pois nesse caso a rede aérea torna-se tecnicamente inviável, devido a fatores como qualidade de serviço, limitações físicas, entre outros. (LIGHT,2012)

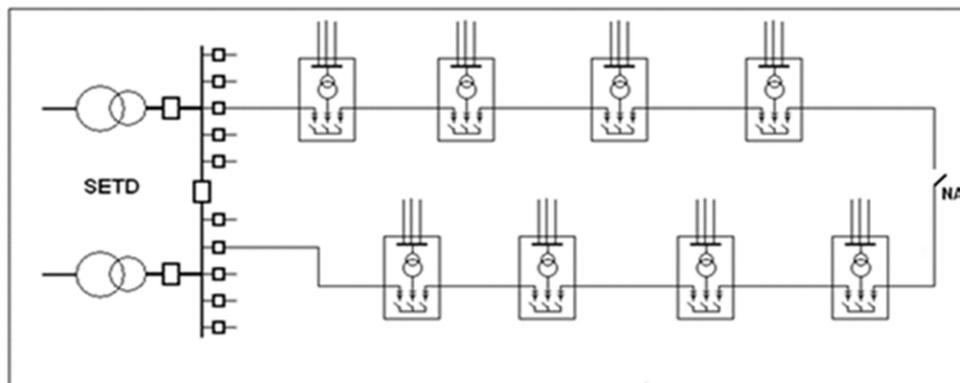
As configurações para o projeto de rede do sistema Radial com Primário em Anel podem ser observadas nas figuras 1,2 e 3.

Figura-1: Radial em anel com alimentadores oriundos de SETD's diferentes



Fonte: Adaptado (DUTRA,2012)

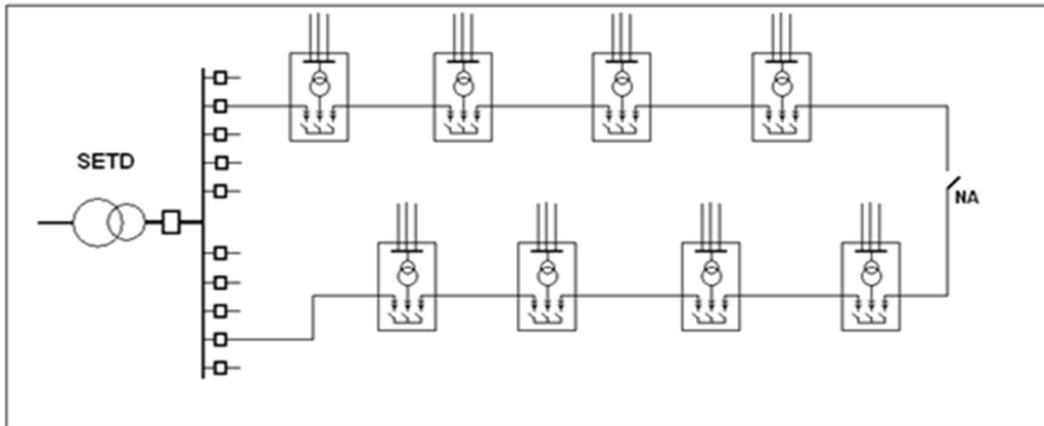
Figura-2: Radial em anel com alimentadores oriundos de transformadores da mesma SETD



Fonte: Adaptado (DUTRA,2012)



Figura 3: Radial em anel com alimentadores oriundos do mesmo transformador da SETD

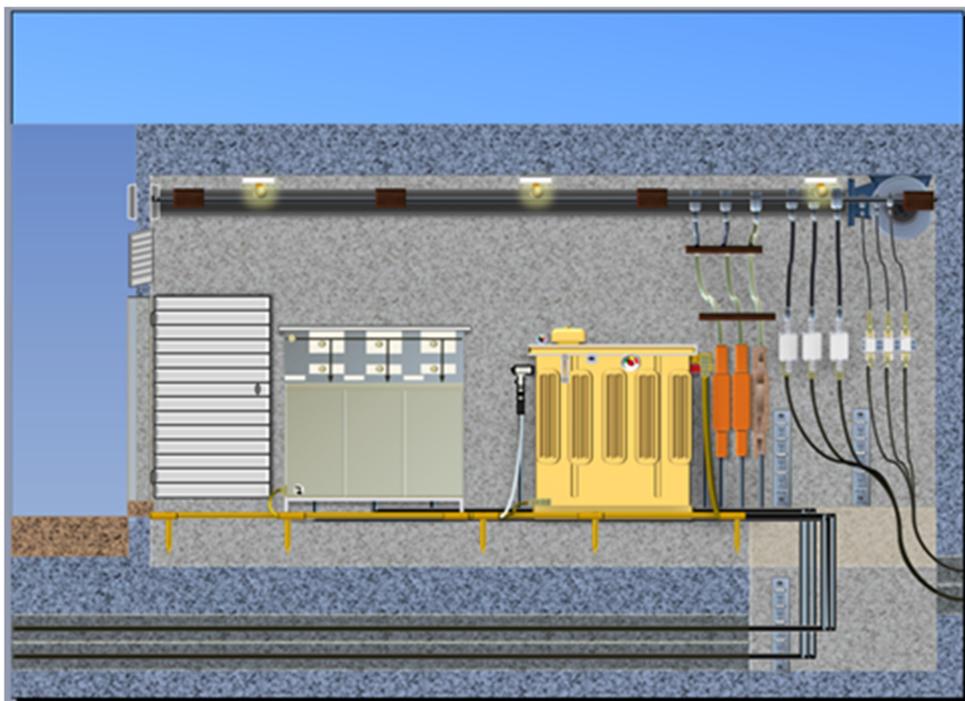


Fonte: Adaptado (DUTRA,2012)

Essas são as três configurações possíveis para esse arranjo, sendo que o mais utilizado é o da figura 2, onde os alimentadores são oriundos de subestações diferentes, apresentando assim uma maior confiabilidade ao sistema.

A seguir está representada uma câmara transformadora subterrânea típica que é utilizada no arranjo radial em anel (figura 4):

Figura 4: Câmara transformadora típica do sistema radial em anel



Fonte: Adaptado (VIANA,2014)

Nota-se pela figura 4 que chega ao circuito de MT através de bancos de linhas de dutos, e vai à chave de três vias que alimenta o transformador e dá a continuidade ao circuito. A alimentação do transformador é realizada em MT através da rede primária e, então, transformada em BT para alimentar o barramento. Desse barramento sai à rede, protegida por fusíveis, novamente através de bancos de dutos para alimentar os consumidores.

Para a construção de um projeto com a configuração do sistema radial com primário em anel, deve-se primeiramente, fazer a avaliação da demanda do sistema para dimensionar os dois alimentadores nas subestações, de forma a assegurar a condução da carga total, em caso de falha de um equipamento ou dos cabos. Na ocorrência de uma falha, a chave que interliga os dois alimentadores deve ser fechada para que um dos alimentadores possa assumir toda a carga, por um determinado tempo até que seja feito a manutenção nos cabos ou no equipamento defeituoso e seja normalizada a situação.

A seguir, é analisada a rede primária do arranjo que vai desde o alimentador até as UT's. Nessa rede podem ser utilizados condutores de cobre ou de alumínio, com seções especificadas pelas concessionárias de energia de acordo com o dimensionamento feito pelas mesmas para garantir que, quando um dos alimentadores assumirem a carga total do sistema, a capacidade térmica dos cabos não atinja a temperatura de emergência. (LIGHT,2012)

Em relação às UT's elas podem ser de rede ou dedicadas. Às UT's de rede são ligadas as redes que interligam vários consumidores, enquanto que as UT's dedicadas são exclusivas para um determinado consumidor. Nas UT's são instalados equipamentos como transformadores e chaves. (LIGHT,2012)

As chaves nesse arranjo normalmente são de três vias, uma para a chegada do cabo em MT, outra para alimentar o transformador e a outra para dar continuidade ao circuito que mais adiante será visto com mais detalhes. Os transformadores normalmente são trifásicos ligados em delta estrela, com tensões primárias mais usuais de 13,8 kV e 13,2 kV e tensão secundária mais usada de 220/ 127 V com potências geralmente de 150 kVA, 300 kVA, 500 kVA e 1000 kVA. (LIGHT,2012). As UT's apresentadas nas configurações acima possuem um único transformador, mas nelas podem existir mais de um transformador formando assim os



módulos típicos do arranjo. Os módulos podem conter, por exemplo, dois transformadores de 150 kVA ou três de 500 kVA, desde que as potências dos transformadores sejam as mesmas.

Após a análise da rede primária e especificada as UT's a serem utilizadas, com os transformadores e as chaves pertinentes, deve ser analisada a rede secundária que vai desde o secundário do transformador até o ponto de entrega, onde são derivados ramais de ligação para o consumidor. (LIGHT,2012).

Na rede secundária também são utilizados condutores de cobre ou de alumínio, com seções também especificadas pelas concessionárias de acordo com o dimensionamento feito pelos mesmos, mas com uma condição: quando há previsão para a transformação em sistema reticulado no futuro, não se pode utilizar alumínio, pois no sistema reticulado se utiliza o condutor de cobre com seção de 120 mm² que funciona como fusível através da queima livre, rompimento do condutor, pelo mesmo ser auto extingüível, onde a corrente de curto circuito no ponto deverá ser no mínimo de 2kA. (LIGHT,2012).

No funcionamento do sistema radial com primário em anel devem ser consideradas possíveis falhas que possam vir a acontecer. Nesse sentido, é instalado o sistema de proteção para interromper os circuitos em caso de ocorrência de falhas. Nesse arranjo a proteção para a rede primária utiliza disjuntores nas subestações e na rede secundária são utilizados fusíveis que garantem a proteção contra sobrecorrentes. (LIGHT,2012)

Além de considerar as falhas no arranjo, também são consideradas as manobras e seccionamentos que podem ser feitas nas redes, tanto para manutenção como para substituição de equipamentos e cabos, daí a necessidade do aterramento para garantir que quando houver alguém trabalhando na rede ela não possa sofrer nenhum tipo de dano físico. Portanto, esse arranjo deve possuir uma malha de aterramento que interliga todas as partes metálicas energizadas ou não que esteja sujeito a toque de terceiros. (LIGHT,2012).

2.2 SISTEMA DISTRIBUIÇÃO RESIDENCIAL SUBTERRÂNEA (D.R.S)

O sistema D.R.S é uma simplificação do sistema underground Residential Distribution (onde a alimentação dos transformadores é subterrânea).

Nesses sistemas o arranjo é do tipo primário em anel, que se estende conectando-se através dos transformadores ligados no sistema. Os alimentadores geralmente são conectados com um

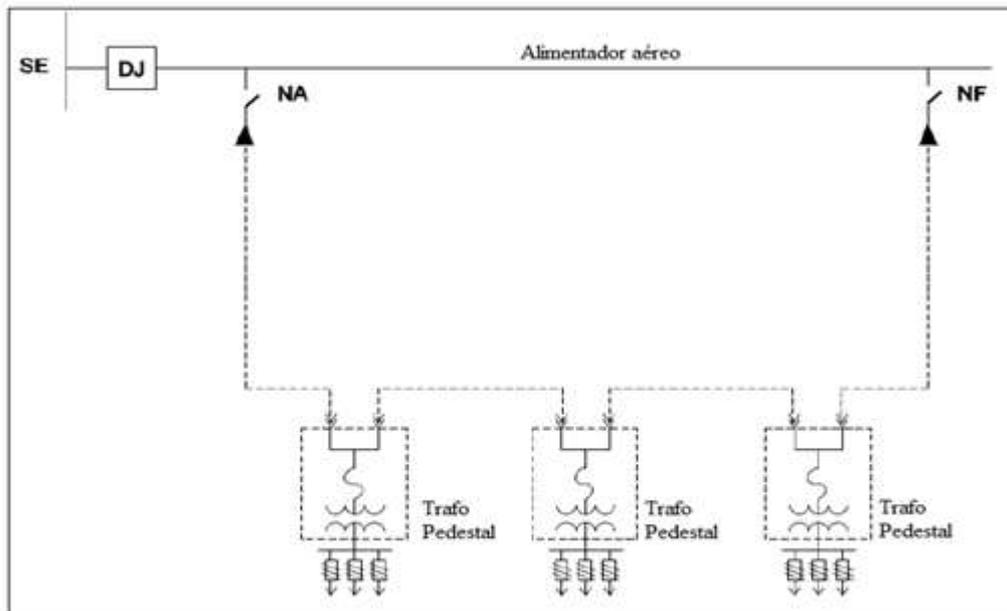


único alimentador aéreo, o qual não oferece uma grande confiabilidade ao sistema. (AZEVEDO,2010; NAKAGUISHI,2011)

A aplicação desse sistema é em regiões residenciais com baixa densidade de carga, para o atendimento de loteamentos de alto nível, onde o uso de redes subterrâneas é imposto por razões de estética ou legislação municipal. (LIGHT,2012)

A configuração para o projeto de rede do sistema de Distribuição Residencial Subterrânea está representada abaixo (figura 5):

Figura 5: Configuração do sistema residencial subterrâneo



Fonte: Adaptado (DUTRA,2012)

Para a construção de um projeto com a configuração do sistema de distribuição residencial subterrânea deve-se, primeiramente, fazer a avaliação da demanda do sistema para dimensionar o alimentador a fim de atender às cargas de dois pontos diferentes da alimentação primária. Na ocorrência de falha em um transformador ou em um trecho de cabo o sistema deve permitir a realimentação dos demais componentes em condições de funcionamento.

Essa manobra é feita por uma chave normalmente fechada em um dos pontos da alimentação e a outra chave normalmente aberta num outro ponto. Em seguida, a rede primária do arranjo é analisada desde o alimentador até as UT's simplificadas. (LIGHT,2012)



Nessa rede podem ser utilizados condutores de cobre ou de alumínio isolados com seções especificadas pelas concessionárias de energia para garantir a alimentação do sistema por dois pontos diferentes da rede. As UT's simplificadas são localizadas ao nível do solo, onde são instalados os transformadores pedestais. (LIGHT,2012)

Os transformadores pedestais normalmente são trifásicos, ligados em delta-estrela, com tensões primárias mais usuais de 13,8 kV e 13,2 kV e tensão secundária mais usada de 220 / 127 V com potências geralmente de 75 kVA, 150 kVA, 300 kVA e 500 kVA. Após a análise da rede primária e especificada as UT's simplificadas a serem utilizadas, com o transformador e as chaves pertinentes, deve ser analisada a rede secundária que vai desde o secundário do transformador pedestal até o ponto de entrega, onde são derivados ramais de ligação para o consumidor. Na rede secundária são utilizados condutores de cobre ou de alumínio isolados, que são diretamente enterrados, sendo chamado de cabos armados e com seções especificadas pelas concessionárias. (LIGHT,2012).

No funcionamento do sistema de distribuição residencial subterrânea também devem ser consideradas as falhas que possa vir a acontecer, nesse sentido, é instalado o sistema de proteção para interromper os circuitos em caso de ocorrência de falhas. Nesse arranjo as proteções utilizadas para a rede primária são disjuntores nas subestações e seccionadores nas redes. Na rede secundária são utilizados fusíveis que garantem a proteção contra sobrecorrentes. (LIGHT,2012).

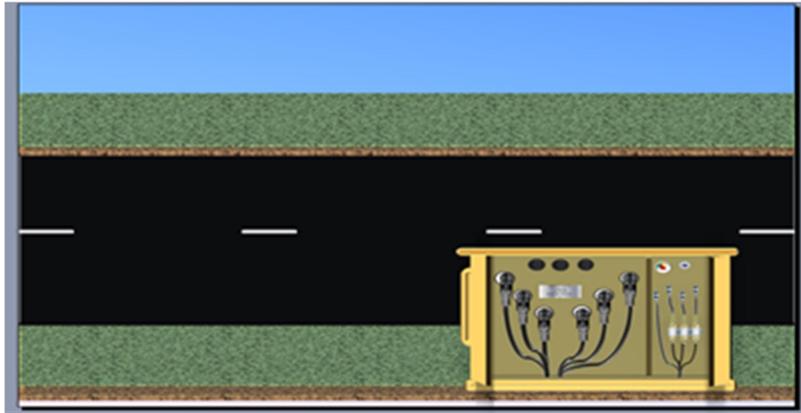
Além de considerar as falhas no arranjo, também são consideradas as manobras e seccionamentos que podem ser feitos nas redes, tanto para manutenção como para substituição de equipamentos e cabos, daí a necessidade do aterramento para garantir que caso haja alguém trabalhando na rede ou ocorra toque de terceiros aos equipamentos e cabos não possa ocorrer nenhum tipo de dano físico. (LIGHT,2012).

Portanto esse arranjo deve possuir uma malha de aterramento que interliga todas as partes metálicas energizadas ou não que esteja sujeito a toque de terceiros. (LIGHT,2012).

A seguir, está representada um transformador pedestal típico que é utilizada no arranjo residencial subterrânea, conforme figura 6:



Figura 6: Transformador Pedestal



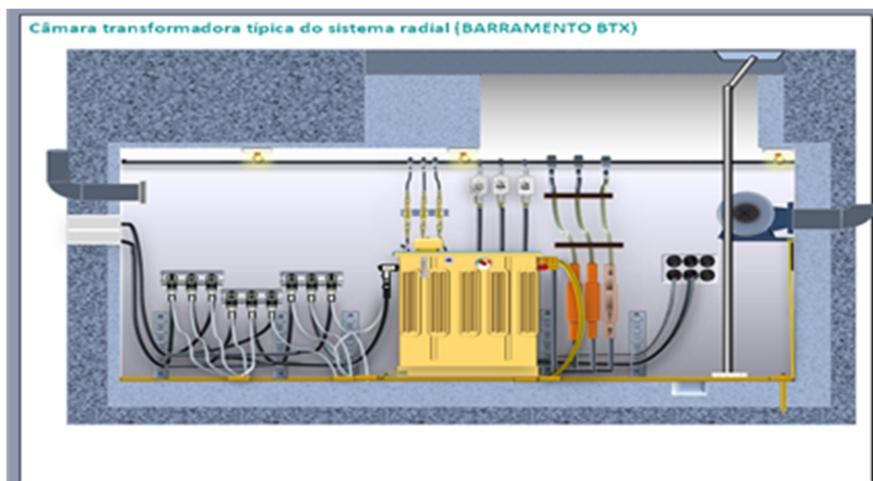
Fonte: Adaptado (VIANA,2014)

Os circuitos da rede primária que chegam diretamente enterrados, vão à chave de três vias que alimenta o transformador pedestal e dá continuidade ao circuito. Os transformadores pedestais são instalados ao tempo em bases de concreto com compartimentos blindados para conectar cabos de baixa e média tensão. (CPFL,2007)

A alimentação do transformador é em MT e então transformada em BT para alimentar o barramento pedestal. Deste barramento pedestal sai à rede, protegida por fusíveis, através de cabos diretamente enterrados para alimentar os consumidores.

No sistema D.R.S também pode ser utilizado como opção a câmara transformadora subterrânea. Segue abaixo um modelo dessas CTS (figura 7).

Figura 7: Câmara transformadora típica do sistema D.R.S (Barramento BTX)



Fonte: Adaptado (VIANA,2014)



Na prática, é utilizada essa CTS quando por questão de estética o consumidor não aceita a construção de CTC.

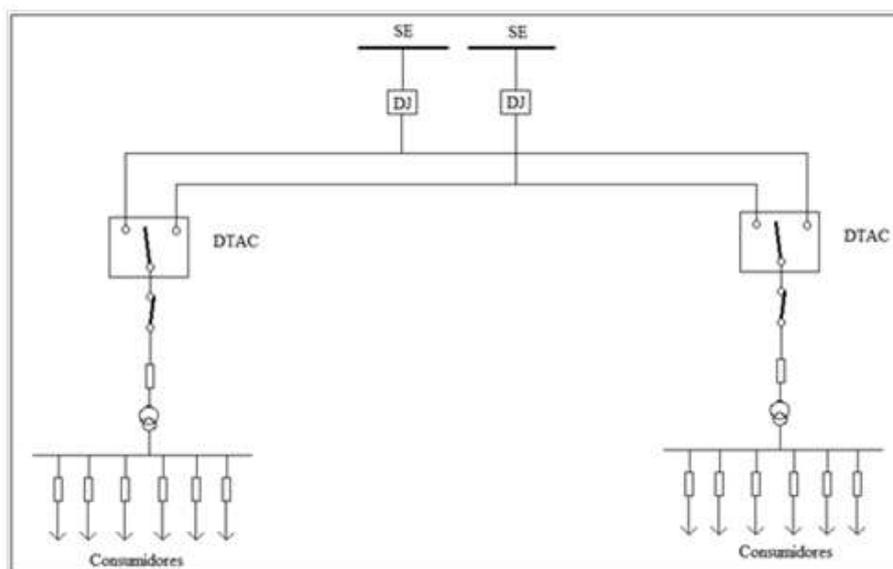
2.3 SISTEMA RADIAL COM PRIMÁRIO SELETIVO

O sistema radial com primário seletivo é um sistema de distribuição com uma configuração composta por dois alimentadores radiais. Estes são denominados, alimentador preferencial e alimentador reserva que são projetados para atendimento da carga por um ou por outro em tempo integral. É aplicado em regiões de atendimento de consumidores primários, onde a densidade de carga é elevada, exigindo assim um alto grau de importância na continuidade e qualidade de serviço. (AZEVEDO,2010)

Esse projeto apresenta algumas modalidades de atendimento e em função das características da carga envolvida, pode ser adotado o arranjo Primário Seletivo Exclusivo ou o Primário Seletivo Generalizado. (LIGHT,2012; AZEVEDO,2010)

O arranjo primário seletivo exclusivo é adequado ao atendimento a grandes blocos de cargas concentradas (shopping, grandes prédios comerciais ou mistos etc.), enquanto que o arranjo primário seletivo generalizado é utilizado no atendimento de cargas espaçadas onde não seja justificada, técnico-economicamente, a adoção do arranjo exclusivo. (LIGHT,2012; AZEVEDO,2010). A configuração a seguir (figura 8) apresenta um arranjo típico do sistema radial com primário seletivo.

Figura 8: Configuração típica do sistema radial com primário seletivo



Fonte: Adaptado (DUTRA,2012)

A figura 8 apresenta o sistema sendo alimentado por dois alimentadores um preferencial e outro reserva sendo que os dois têm condições suficientes para assegurar a carga por tempo indeterminado, mas além desses dois podem ser utilizados também outros alimentadores. (DUTRA,2012)

Para a construção de um projeto do sistema de distribuição radial com primário seletivo, deve-se, primeiramente, realizar a avaliação da demanda do sistema para dimensionar os alimentadores nas subestações, de forma assegurar a carga total em tempo indeterminado, no caso de falha de um equipamento ou dos cabos. Pois nesse sistema na ocorrência de uma falha a chave de transferência automática de carga (DTAC) transfere automaticamente a carga do alimentador onde ocorreu a falha para outro. Portanto, mesmo na perda de um alimentador (1ª contingência) é garantida a continuidade do serviço. (LIGHT,2012)

A seguir, é analisada a rede primaria do arranjo que vai desde o alimentador até as UT's. Nessa rede podem ser utilizados condutores de cobre ou de alumínio. Em relação às UT's elas podem ser de rede ou dedicada. Elas podem ser do tipo dedicado no caso do arranjo primário seletivo, e de rede no caso do arranjo primário generalizado, que é onde são instalados os equipamentos como transformadores e chaves. (LIGHT,2012).

As chaves no arranjo primário seletivo normalmente possuem várias vias para que haja recurso para o alimentador em melhores condições de receber a carga, no caso da perda de um alimentador. Os transformadores normalmente são trifásicos ligadas em delta estrela, com tensões primárias mais usuais de 13,8 kV e 13,2 kV e tensão secundária mais usada de 220/127 V com potências geralmente de 75 kVA, 150 kVA, 300 kVA, 500 kVA e 1000 kVA. (LIGHT,2012)

No arranjo primário seletivo podem ser usados os módulos típicos das UT's, formados por mais de um transformador que contém, por exemplo, dois transformadores de 300 kVA ou três de 1000 kVA. (LIGHT,2012)

Após a análise da rede primária e especificadas as UT's a serem utilizadas com os transformadores e as chaves pertinentes, deve ser analisada a rede secundaria, que vai desde o secundário do transformador até o ponto de entrega. Na rede secundária podem ser utilizados condutores de cobre ou de alumínio, de acordo com os critérios de projeto e as características do sistema elétrico. Já funcionamento do sistema radial com primário seletivo também são



consideradas possíveis falhas que possa vir a acontecer, nesse sentido, é instalado o sistema de proteção. No arranjo primário seletivo a proteção utilizada para a rede primária são disjuntores e na rede secundária são utilizados fusíveis para garantir a proteção contra sobrecorrentes. (LIGHT,2012)

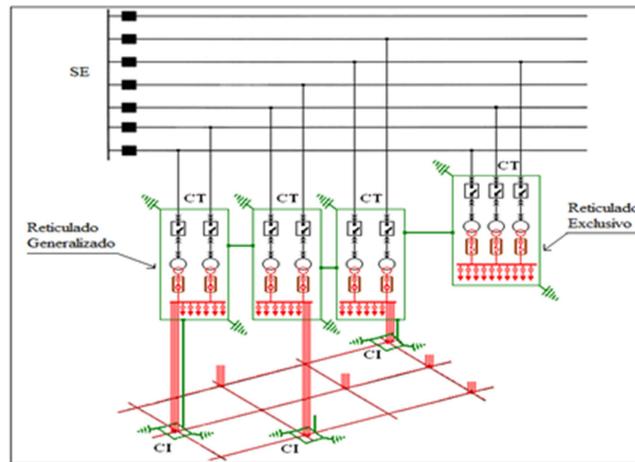
Além da ocorrência de falhas, o sistema está sujeito a manobras e seccionamentos, tanto para manutenção como para substituição de equipamentos e cabos, daí a necessidade da instalação do sistema de aterramento nas CTS nas CI's e nas CP's onde são feitas essas manobras e seccionamentos para evitar acidente como o pessoal de manutenção. Pela configuração da rede apresentada no projeto de rede nota-se que a alimentação do sistema é feita por dois alimentadores diferentes de subestações diferentes e que deles saem os circuitos de MT de rede primária com condutores em bancos de linhas de dutos até as câmaras transformadoras subterrâneas.

2.3 SISTEMA RETICULADO

Segundo BARRETO (2010), o sistema reticulado é o mais importante em termos de confiabilidade que todos os outros sistemas de distribuição, não só em relação à continuidade do fornecimento, mas também em relação à estabilidade da tensão de fornecimento, oferecendo assim um alto nível de qualidade. Esse sistema é projetado para suportar a perda de até dois alimentadores de média tensão sem interrupção no fornecimento de energia para os consumidores ligados na baixa tensão. Quando ocorre a perda de dois alimentadores diz-se que a subestação está operando em segunda contingência. Este sistema é aplicado em regiões com elevada densidade de carga, onde um alto nível de qualidade de serviço é exigido. A configuração para o projeto de rede do sistema reticulado está apresentada abaixo pela fig. 9.

Figura 9: Configuração típica do sistema reticulado





Fonte: Adaptado (DUTRA,2012)

Nota-se pela configuração da figura 9 que nesse sistema existem dois arranjos, o arranjo reticulado generalizado (Network) e o arranjo reticulado exclusivo (Spot network). O arranjo reticulado generalizado é utilizado para atendimento de cargas distribuídas e elevadas. Esse arranjo consiste de um determinado número de transformadores, carregados em condições normais de funcionamento, de 30% a 40% (nenhuma contingência) para garantir que quando da ocorrência de perda de um transformador (primeira contingência) ou de dois transformadores (segunda contingência) ainda atenda condições de fornecimento adequado, ou seja, sem ultrapassar 100% da capacidade nominal. (DUTRA,2012)

Quanto ao arranjo reticulado exclusivo é recomendado ao atendimento de cargas pontuais elevadas onde é exigida uma tensão secundária maior por interesse do consumidor. Esse arranjo também consiste de um determinado número de transformadores ligados de forma que quando da perda de até dois alimentadores (segunda contingência) não haja interrupção no serviço e que a qualidade no fornecimento seja mantida. (DUTRA,2012)

Para a construção de um projeto do sistema reticulado deve primeiramente, realizar a avaliação da demanda, pois em função desta demanda é definido o número de alimentadores a serem utilizados de modo a garantir o funcionamento e a operação do sistema mesmo na falta de dois alimentadores (segunda contingência). A seguir, é analisada a rede primária do arranjo que vai desde o alimentador até as UT's.

Nessa rede podem ser utilizados condutores de cobre ou de alumínio. Em relação às UT's elas podem ser de rede ou dedicada, sendo que as UT's de rede são construídas quando da instalação do sistema reticulado generalizado enquanto que as UT's dedicadas são construídas



quando da instalação do arranjo reticulado exclusivo e é onde são instalados equipamentos como transformadores cabos e chaves.

As chaves utilizadas são de uma via, pois o fluxo de potência é num único sentido. Os transformadores utilizados nesse sistema normalmente são trifásicos ligados em delta estrela, com tensões primárias mais usuais de 13,8 kV e 13,2 kV e tensão secundária mais usada de 216,5 V/ 125 V com potências geralmente de 500 e 1000 kVA. (LIGHT,2012)

Esses transformadores devem ser alimentados por circuitos de alimentadores primários independentes de modo que na falha de um alimentador não haja interrupção de consumidores, pois outros transformadores assumirão a carga. (BARRETO,2010)

As cargas de toda uma região do sistema reticulado é atendida por uma grande malha secundária de distribuição alimentada por vários transformadores equipados com os protetores network que interrompem o circuito quando da inversão de fluxo de potência.

Dessa malha secundária de distribuição sai à alimentação para os consumidores que deve ser através de condutores de cobre com seção de 120 mm², pois o condutor de cobre com essa seção possui uma particularidade, funciona como fusível através da queima livre, que é o rompimento do condutor, para proteger a rede secundária, desde a corrente de curto circuito no ponto seja de no mínimo 2kA.

Em relação à rede primária a proteção contra sobre correntes é garantida pelos relés e disjuntores instalados nas subestações e contemplada pelos protetores network, instalados no secundário dos transformadores de distribuição, para impedir que falha no primário seja alimentada pela rede secundária. (BARRETO,2010) Nos sistemas SPOT, quando são utilizadas tensões de até 220/127 V, eventuais falhas fase-terra são automaticamente eliminadas quando do cessamento da respectiva causa.

Quando do emprego de tensões superiores ao referido valor, após o rompimento do dielétrico do ar, a eliminação da causa da falha pode não implicar na extinção do arco provocado. Essa falha autossustentada caracterizada por baixos valores de corrente é que se denomina, arco a terra.

Então é utilizado um relé de sobre corrente para proteger a rede. O aterramento do sistema reticulado deve ser efetivo, portanto a malha de aterramento é toda interligada de modo que quando da ocorrência de falha monofásica no lado de MT envolvendo o neutro da BT, os potenciais transferidos não ultrapassem os limites toleráveis pelo corpo humano.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de distribuição subterrânea de energia elétrica realmente são bem mais confiáveis que os sistemas de distribuição aérea, pois como foi visto ao longo desse trabalho, esses sistemas possuem muitos recursos quando da ocorrência de falha. Mas justamente por serem mais confiáveis esses sistemas exigem estruturas mais complexas e, portanto, os custos são bem mais elevados no mercado nacional.

Dentre os sistemas descritos nesse trabalho, destaca-se o sistema Reticulado por apresentar algumas características próprias, de como alimentar os consumidores através da malha de baixa tensão, utilizar protetor de rede para evitar inversão de fluxo, funcionar adequadamente mesmo na perda de até dois alimentadores (segunda contingência) e utilizar condutores de cobre com espessura de 120 mm² que funcionam como fusíveis através da queima livre.

Em linhas gerais o presente trabalho desmistifica uma típica instalação dos sistemas de distribuição subterrânea empregada pelas concessionárias de distribuidora do sistema elétrico brasileiro especificamente da LIGHT (Concessionária Light SESA).

Apresentada de forma sucinta que atendem a uma estrutura preparada para o futuro potencial energético de cada região com folga razoável na expansão do potencial elétrico de consumo, comercializado hoje, mas que a cada dia vai se aproximando do limite de sua capacidade.

Em suma, o presente trabalho é de relevante importância técnica para demonstrar as características principais de um sistema subterrâneo de distribuição de energia elétrica e as suas típicas configurações, assim, de forma a garantir uma maior qualidade de serviço de distribuição de energia e diminuir o impacto visual que as linhas aéreas produzem nas grandes cidades do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, A Distribuição De Energia, 2014, disponível em: <http://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia/> pesquisado em 30/12/2014.

AZEVEDO, Fernando Araújo de. Dissertação: Otimização de rede de distribuição de energia elétrica subterrânea reticulada através de Algoritmos Genéticos. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Mestrado em Engenharia Elétrica, 2010.



BARRETO, Gustavo de Andrade. Dissertação: Estudo de viabilidade de um sistema de monitoramento de baixo custo para os sistemas de distribuição reticulados subterrâneos. São Paulo: Universidade de São Paulo. Pós-Graduação em Energia, 2010.

BIBIANO, R. M., PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA CONTROLE DE TENSÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, Monografia submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2014.

DUTRA, Jorge, Norma de Projetos para redes de distribuição subterrânea. Gerência de Engenharia da Distribuição, Rio de Janeiro: Light, 2012.

GAUCHE, Edward; ANDRADE, Fabiano F.; COELHO, Jorge; et al. “Monitoração de Redes Subterrâneas para a Melhoria da Qualidade na Distribuição”. VII CBQEE – Conferência Brasileira Sobre Qualidade da Energia Elétrica. Santos, 2007.

GERÊNCIA DE ENGENHARIA DA DISTRIBUIÇÃO, PTL 0307, Instalação, Operação e Manutenção de Chaves à Gás SF₆, da Rede de Distribuição Subterrânea, LIGHT, 1999.

GERÊNCIA DE ENGENHARIA DA DISTRIBUIÇÃO. Norma de projeto para redes subterrâneas de distribuição até 13,8 kV. Rio de Janeiro: LIGHT, Revisão 2012.

GERÊNCIA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO CENTRO-SUL, PTL 0301, Instalação e Manutenção de Transformadores de Distribuição Subterrânea, LIGHT, 1999.

GERÊNCIA DE REDES SUBTERRÂNEAS, PTL 0303, Instalação, Operação e Manutenção Preventiva de Chaves de Manobras à Óleo da Rede de Distribuição Subterrânea, LIGHT, 2011.

GERÊNCIA DE REDES SUBTERRÂNEAS, PTL 0368, Inspeção e Reparos em Câmaras Transformadoras da Distribuição, LIGHT, 2011.

L.M.D.M, Estudo: A Transformação Das Redes De Distribuição De Energia Aéreas Em Subterrâneas, disponível em: <http://www.lmdm.com.br/wp-content/uploads/2014/10/Estudo-Redes-A%C3%A9reas-x-Subterr%C3%A2neas.pdf>, pesquisado em 16/04/2017.

NAKAGUISHI, Marcos Issao; HERMES, Paulo Diego. Projeto de conclusão de curso: Estudo comparativo técnico/financeiro para implantação de redes de distribuição subterrânea. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Graduação em engenharia elétrica, 2011.

VELASCO, G.D.N. Arborização Viária x Sistemas de Distribuição de Energia



Elétrica: Avaliação dos Custos, Estudo das Podas e Levantamento de Problemas

Fitotécnicos. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de São

Paulo, São Paulo, 2003.

VIANA, FILLIPE RAMOS. Projeto de conclusão de curso: Sistemas de Distribuição Subterrânea de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, Universidade Veiga de Almeida, 2014.

