

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



AIRTON COUTINHO NETO PELISSARI

ESTUDO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2014

AIRTON COUTINHO NETO PELISSARI

ESTUDO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Airton Coutinho Neto Pelissari**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz

Coorientador: Eng. Thiago Zambom Picoli

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2014

AIRTON COUTINHO NETO PELISSARI

ESTUDO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Airton Coutinho Neto Pelissari**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 18 de Dezembro de 2014.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Eng. Thiago Zambom Picoli
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador

Prof. Dr. Lucas Frizera Encarnação
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Eng. Stefani Vanussi Silva de Melo
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

À minha família, por sempre acreditar em mim.
Mãe, seu cuidado e incentivo foram essenciais para que eu
seguisse firme na realização dos meus sonhos.

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades enfrentadas. Aos meus amigos pelos momentos de descontração e apoio. Ao Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz pelo apoio na elaboração deste trabalho e pela excelência como professor. Ao meu coorientador Thiago Zambom Picoli pela constante boa vontade em ajudar. Aos meus pais pelo incentivo incondicional. A todos que fizeram parte da minha formação, diretamente ou indiretamente, o meu muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho consiste num estudo da rede de distribuição subterrânea baseado em estudos existentes e no levantamento de dados da concessionária de energia elétrica do Espírito Santo, EDP Escelsa. De um modo generalizado, visa apresentar as principais vantagens e desvantagens desta em detrimento da rede aérea convencional, além de explicar e detalhar a estrutura da rede subterrânea e caracterizar os tipos de sistemas adotados pela concessionária. A proposta ainda abrange um estudo de caso da rede subterrânea da Av. Fernando Ferrari, situada no bairro Goiabeiras, Vitória (ES), com foco na apresentação dos aspectos construtivos da rede e dos problemas práticos encontrados durante a sua instalação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nova Iorque nos finais de 1800	14
Figura 2 - Rede aérea convencional (primário e secundário)	19
Figura 3 - Rede aérea compacta.....	22
Figura 4 - Rede aérea protegida (baixa tensão)	24
Figura 5 - Caixa de passagem de uma rede subterrânea de distribuição	25
Figura 6 - Circuito radial simples alimentado por um único transformador	28
Figura 7 - Circuito radial com recurso alimentado por um circuito aéreo.....	29
Figura 8 - Circuito radial com recurso alimentado por dois circuitos aéreos.....	30
Figura 9 - Circuito de média tensão no sistema aéreo e circuito de baixa tensão em rede subterrânea.....	31
Figura 10 - Circuito de média tensão no sistema aéreo (lado externo do empreendimento) e circuito de baixa tensão em rede subterrânea	32
Figura 11 - Saída subterrânea dos alimentadores da SD Bento Ferreira	33
Figura 12 - Saída dos alimentadores aéreos da SD Praia	34
Figura 13 - Exemplo de banco de dutos não envelopados em concreto.....	36
Figura 14 – Mini poço de inspeção.....	37
Figura 15 - Tranformador em pedestal	38
Figura 16 - Esquema do cabo isolado de média tensão	40
Figura 17 – Linhas de campo elétrico em um cabo isolado com camada semicondutora.....	41
Figura 18– Cabos isolados preparados para emenda.....	52
Figura 19– Retirada da capa externa do cabo.....	52
Figura 20– Dobra efetuada na blindagem do cabo	53
Figura 21– Cabo após a retirada da camada semicondutora.....	53
Figura 22– Retirada de parte da camada isolante	54
Figura 23– Tubos de proteção inseridos no cabo	54
Figura 24– Conector ajustado nos condutores.....	55
Figura 25– Utilização do alicate de pressão para fixação do conector.....	55
Figura 26– Aplicação da fita semicondutora	56
Figura 27– Aplicação do tubo isolador.....	56
Figura 28– Aplicação da fita semicondutora no vão entre a cobertura externa e a isolação..	57
Figura 29– Ajuste da meia metálica sobre a mola de aço.....	57
Figura 30– Aplicação de fita isolante sobre as molas de aço	58

Figura 31– Aplicação da camada externa sobre a meia metálica	58
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Custo estimado de redes de distribuição	13
Quadro 2 – Evolução dos cabos isolados	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Causa e número de falhas antes e depois da substituição da Rede Convencional pela Rede Compacta Protegida.....	21
---	----

SIMBOLOGIA

	-	Circuito aéreo de média tensão
	-	Circuito subterrâneo de média tensão
NA	-	Normalmente aberto
NF	-	Normalmente fechado
	-	Poste
	-	Base Fusível (BF)
	-	Transformador em pedestal

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa Tensão
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DEC	Duração Equivalente de interrupção por unidade Consumidora
EDP	Energias De Portugal
FEC	Frequência Equivalente de interrupção por unidade Consumidora
HPDE	Polietileno de Alta Densidade
LPDE	Polietileno de Baixa Densidade
MT	Média Tensão
PE	Polietileno
PMV	Prefeitura Municipal de Vitória
PVC	Policloreto de Vinila
SD	Subestação de Distribuição
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REDES DE DISTRIBUIÇÃO	17
2.1	Rede aérea convencional	17
2.2	Redes aéreas compactas	20
2.3	Redes aéreas isoladas	23
2.4	Redes subterrâneas	24
3	TIPOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA.....	26
3.1	Rede de média tensão subterrânea em sistema radial com recurso	27
3.2	Rede de média tensão subterrânea em sistema radial sem recurso	Erro! Indicador não definido.
3.3	Rede mista	30
3.4	Saída de subestação de transformação em rede subterrânea	32
3.5	Travessia de trechos subterrâneos nas redes de distribuição aéreas.....	34
4	INFRAESTRUTURA CIVIL	35
4.1	Rede aérea	35
4.2	Rede subterrânea	35
5	CABOS ISOLADOS.....	39
5.1	História	39
5.2	Estrutura de um cabo isolado de média tensão.....	40
5.3	Isolações poliméricas.....	42
5.3.1	Isolações termoplásticas	42
5.3.1.1	Policloreto de vinila (PVC)	42
5.3.1.2	Polietileno (PE)	43
5.3.2	Isolações termofixas	43
5.3.2.1	Polietileno reticulado (XLPE)	44
5.3.2.2	Borracha etileno-propileno (EPR).....	45
6	NOÇÕES DE PROJETO DE REDE SUBTERRÂNEA.....	46
7	ESTUDO DE CASO	49
7.1	Processo de emenda em cabos unipolares	51
8	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

As redes subterrâneas são as que proporcionam o maior nível de confiabilidade e também o melhor resultado estético, dado que ficam enterradas. No entanto, elas são bem mais caras que as demais soluções, sendo comuns apenas em regiões muito densas ou onde há restrições para a instalação das redes aéreas (ABRADEE, 19--?). O Quadro 1 apresenta o valor médio por quilometragem das redes de distribuição segundo a área de Planejamento de Redes de Distribuição da EDP Escelsa.

Quadro 1 - Custo estimado de redes de distribuição

Rede	Estimativa de Custo (R\$/km)
Convencional Aérea Urbana (MT)	60 mil
Convencional Aérea Rural (MT)	37,7 mil
Protegida (MT)	66 mil
Subterrânea (MT)	1 milhão
Isolada (BT)	21,7 mil

Fonte: Produção do próprio autor.

Diferentemente das redes aéreas convencionais, as redes subterrâneas não estão sujeitas a algumas influências do ambiente (como ventos, raios e a própria arborização local) que podem afetar a continuidade do fornecimento de energia elétrica e por isso são menos susceptíveis a ocorrência de faltas. Os cabos nela utilizados são protegidos de forma a resistir às influências do ambiente as quais eles podem ficar sujeitos, a exemplo dos alagamentos. Outro fator que pode afetar a continuidade do fornecimento da energia elétrica é o risco de acidentes automobilísticos que envolvam a rede aérea, danificando a sua estrutura e comprometendo o seu funcionamento.

Motivos como estes explicam a tendência de crescimento da sua utilização e, conseqüentemente, a evolução das tecnologias nela utilizadas. O aperfeiçoamento das tecnologias empregadas na rede subterrânea gera uma redução do seu custo de implantação, promovendo maior segurança no sistema de distribuição por um preço menor. Pode-se constatar que atualmente seu custo de implantação é aproximadamente seis vezes menor do que há 10 anos (COPEL, 2010).

A evolução dos materiais isolantes permitiu o desenvolvimento dos cabos isolados, possibilitando assim o surgimento das redes subterrâneas. Em 1880, Nova Iorque já era uma cidade parcialmente ocupada por postes que sustentavam as estruturas elétricas e cabos de telecomunicações, situação ilustrada na Figura 1. Em 1884, uma lei estabeleceu a obrigatoriedade do enterramento de toda a fiação de telégrafos, telefonia e energia elétrica na cidade, instituindo o início da larga utilização das redes subterrâneas. Outro exemplo onde ocorreu essa larga utilização foi a Holanda, onde todas as redes de média e baixa tensão já são subterrâneas (BRUNHEROTTO; OLIVEIRA, 2013).

Figura 1 - Nova Iorque nos finais de 1800



Fonte: BRUNHEROTTO; OLIVEIRA, (2013).

No Brasil, o início da sua utilização se deu na cidade de São Paulo, em 1902, sob a concessão de distribuição de energia elétrica pela Brazilian Traction, Light and Power (precursora da Light). Essa rede, que formava um sistema radial com três câmaras e operava em 2,2 kV, passou a operar em 3,8 kV em 1928. Atualmente as redes subterrâneas não representam nem 1% do total das redes existentes no Brasil, mas observando somente a região sudeste esses números se tornam mais relevantes: a Eletropaulo (SP) apresenta cerca de 7% da sua extensão de linhas enterradas e a Light (RJ) aproximadamente 11% de toda a região (BRUNHEROTTO; OLIVEIRA, 2013).

Apesar dos dados apresentados, diversas cidades no Brasil possuem extensões – avenidas, praças, locais históricos – com redes subterrâneas. Buscando a valorização dos imóveis e até mesmo o aumento do comércio, muitos condomínios residenciais e comerciais também as utilizam no ponto de entrega de energia elétrica do empreendimento (BRUNHEROTTO; OLIVEIRA, 2013).

Devido à procura cada vez maior por altos índices de confiabilidade, redução dos impactos ambientais e dos custos operacionais, a rede subterrânea tem sido amplamente estudada e cada vez mais difundida no Brasil por todas as concessionárias de distribuição de energia elétrica. Os benefícios da sua utilização podem ser visualizados na comparação entre a qualidade de operação da rede subterrânea em detrimento da rede convencional aérea, e faz dela uma forte ferramenta na melhoria dos indicadores DEC e FEC. É importante lembrar que esses fatores devem estar adequados de modo a atender as exigências mínimas da ANEEL.

Todas as informações apresentadas anteriormente apontam as diversas vantagens da rede subterrânea. Elas são as principais justificativas para a busca de um conhecimento mais detalhado sobre esse tipo de rede, principalmente quando os livros didáticos abordam esse assunto de uma maneira superficial, trazendo ao aluno apenas uma noção básica sobre o tema. Por esse motivo, este projeto consiste em apresentar um estudo sobre a estrutura e os tipos de redes subterrâneas e uma comparação com as redes convencionais. Visa identificar também as principais informações sobre a prática e as etapas pertinentes ao planejamento e à elaboração um projeto conforme dados fornecidos pela concessionária EDP Escelsa.

O trabalho foi organizado de modo que em um primeiro momento serão abordados os tipos de redes de distribuição existentes e suas principais características construtivas. Em seguida, serão apresentados os tipos de sistemas de distribuição subterrânea adotados pela concessionária EDP Escelsa e a infraestrutura civil das redes aéreas e das redes subterrâneas, enfatizando a peculiaridade das redes subterrâneas utilizadas pela EDP Escelsa em comparação às utilizadas pela maioria das outras concessionárias de energia elétrica do Brasil. Além disso, será apresentada a história da evolução dos cabos isolados, a sua estrutura e função de cada camada, bem como os tipos de isolações existentes, suas características e quais são as mais utilizadas. Por fim, os capítulos finais serão sobre noções de projeto de rede subterrânea, que visa familiarizar o leitor com os dados que são necessários para o

dimensionamento dessa rede e um estudo de caso, cujo principal objetivo é trazer as dificuldades e problemas práticos envolvidos na sua construção.

2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

As redes de distribuição são responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica, recebida do sistema de transmissão, aos consumidores de pequeno, médio e grande porte. Elas são classificadas de acordo com a tensão de operação, a forma de instalação e o isolamento do condutor.

Quanto ao nível de tensão, elas são divididas em redes primárias e secundárias. As redes primárias, ou de média tensão, operam nas classes de tensão de 15 kV e 34,5 kV. Atualmente as tensões nominais de 13,8 kV e 34,5 kV são padronizadas pela ANEEL, mas ainda existem outros valores em operação (como exemplo as redes de 13,2 kV, que foram construídas antes da padronização). As redes secundárias, ou de baixa tensão, operam em 380/220 e 220/127 V em redes trifásicas, ou 440/220 e 254/127 V em redes monofásicas (ANEEL, 2011).

Quanto ao isolamento, os condutores podem ser nus, protegidos ou isolados. O cabo nu é formado apenas pelo condutor, ou seja, não possui nenhuma espécie de cobertura. O cabo protegido possui uma cobertura, que promove maior resistência a curtos circuitos e descargas causadas pelo contato de árvores. Já o cabo isolado possui uma estrutura externa que promove total isolamento elétrico total do mesmo. Quanto a forma de instalação, as redes são classificadas como aéreas (cabos suportados por estrutura em poste) ou subterrâneos (cabos dispostos em eletrodutos enterrados).

Existem quatro tipos de redes de distribuição de energia elétrica que serão abordadas detalhadamente a seguir. São elas:

- Rede aérea convencional;
- Rede aérea compacta;
- Rede aérea protegida;
- Rede subterrânea.

2.1 Rede aérea convencional

A rede aérea convencional é largamente utilizada no Brasil. Nela os condutores são nus, e justamente por isso estão mais susceptíveis à ocorrência de faltas, principalmente pelo contato de galhos de árvores com os condutores elétricos (NAKAGUISHI; HERMES, 2011).

São basicamente formadas por três estruturas: os postes, os isoladores e os condutores, conforme mostra a Figura 2. Os postes dão sustentação aos condutores, que ficam apoiados sobre os isoladores. Estes têm a função de impedir o contato entre poste e condutor, para que a energia elétrica transmitida não seja direcionada para a terra. Os isoladores são dispostos horizontalmente sobre cruzetas para a média tensão, e verticalmente para a baixa tensão.

Os postes podem ter diferentes alturas e materiais de fabricação distintos, onde os mais comuns são madeira e concreto. Atualmente os postes de madeira estão em desuso. Os isoladores são divididos de acordo com o formato (pino ou disco), o tipo de material isolante (vidro ou polimérico) e a capacidade de isolamento, ou seja, níveis de tensão suportados. Os condutores utilizados geralmente são os de alumínio (CA), devido aos pequenos esforços sofridos pelos cabos nos centros urbanos.

As redes de distribuição são compostas por outros equipamentos como pára-raios, transformadores, chaves fusíveis e seccionadoras, bancos de capacitores, iluminação pública e estrutura de comunicações (LIMA, 2011).

Figura 2 - Rede aérea convencional (primário e secundário)



Fonte: Produção do próprio autor.

Essas redes possuem um baixo nível de confiabilidade, já que como os condutores não possuem qualquer tipo de cobertura, qualquer contato com elementos externos ao sistema pode provocar o seu desligamento. Apresentam também riscos mais expressivos à segurança da população em alguns casos práticos como proximidade de edificações em geral ou de andaimes (em casos de reformas de fachadas, instalação de painéis e toldos), rompimento de cabos energizados, contato com pipas e queda de postes com a colisão de veículos (JUNIOR, 2013). Essas situações acarretam possíveis descargas elétricas responsáveis por acidentes muitas vezes fatais.

Como a rede fica totalmente desprotegida contra as influências do ambiente, a taxa de falhas costuma ser alta. Portanto, as intervenções para correção dos problemas costumam ser constantes, tornando-se essencial um investimento em equipes de manutenção.

Uma das principais causas de curto-circuito é o contato de galhos de árvore com a rede, intensificado nos períodos de chuva e fortes ventos. Desse modo, faz-se necessário a poda constante nas árvores próximas aos cabos. Os danos à rede também podem ser causados pela colisão de veículos com os postes, tempestades e fenômenos naturais, pássaros e objetos em geral.

Os casos supracitados sugerem um custo de manutenção elevado por conta da caracterização das ocorrências e da sua frequência. Essa informação foi confirmada pelo Centro de Operação de Distribuição da EDP Escelsa, ou seja, de fato elas têm. Desse modo, ainda que o seu custo de implantação seja menor, as redes aéreas convencionais apresentam uma manutenção que se torna cara por ser frequente. Os prejuízos que surgem são: repetidos desligamentos por curtos-circuitos, queima de transformadores, afrouxamento de conexões que ligam condutores aos demais componentes da rede, queima de aparelhos elétricos, prejuízos decorrentes da falta de energia (restaurantes, açougues, supermercados), transtorno em hospitais e estabelecimentos de utilidade pública, gastos acentuados com manutenções e podas emergenciais.

2.2 Redes aéreas compactas

As redes aéreas compactas surgiram no Brasil na década de 90 e oferecem uma proteção muito maior que as convencionais porque, além dos condutores possuírem uma camada de isolamento, essas redes ocupam um menor espaço físico, resultando em um menor número de perturbações (ABRADEE, 19--?).

A utilização desse tipo de rede foi impulsionada pela necessidade de melhora no padrão de qualidade da energia fornecida pela concessionária, e da redução do número de faltas na rede de distribuição. Para demonstrar essa redução, foi analisada a substituição da Rede Convencional pela Rede Compacta em um bloco do alimentador CIT15 (cidade de Cachoeiro de Itapemirim). A motivação da troca foi o número de faltas causadas pela incidência de pipas na rede. A Tabela 1 mostra as causas e o número de falhas antes e depois do recondutoramento do trecho da rede citada (SEGATTO, 2008).

Tabela 1 - Causa e número de falhas antes e depois da substituição da Rede Convencional pela Rede Compacta Protegida

Causa	Rede Convencional					Rede Protegida				
	2001	2002	2003	Total	Média anual	2005	2006	Total	Média anual	Redução de falhas
Pipa	7	8	19	34	11,33	2		2	1	91,2%
Deterioração de Material	2			2	0,67	1	1	2	1	-50,0%
Falha Humana	2			2	0,67					100,0%
Objeto na rede	1			1	0,33					100,0%
Árvore	1			1	0,33					100,0%
Causa ignorada	1	4	2	7	2,33					100,0%
Abalroamento		1	1	2	0,67					100,0%
Temporal		1	4	5	1,67	2	2	4	2	-20,0%
Animal			1	1	0,33					100,0%
TOTAL	14	14	27	55	18,33	5	3	8	4	78,2%

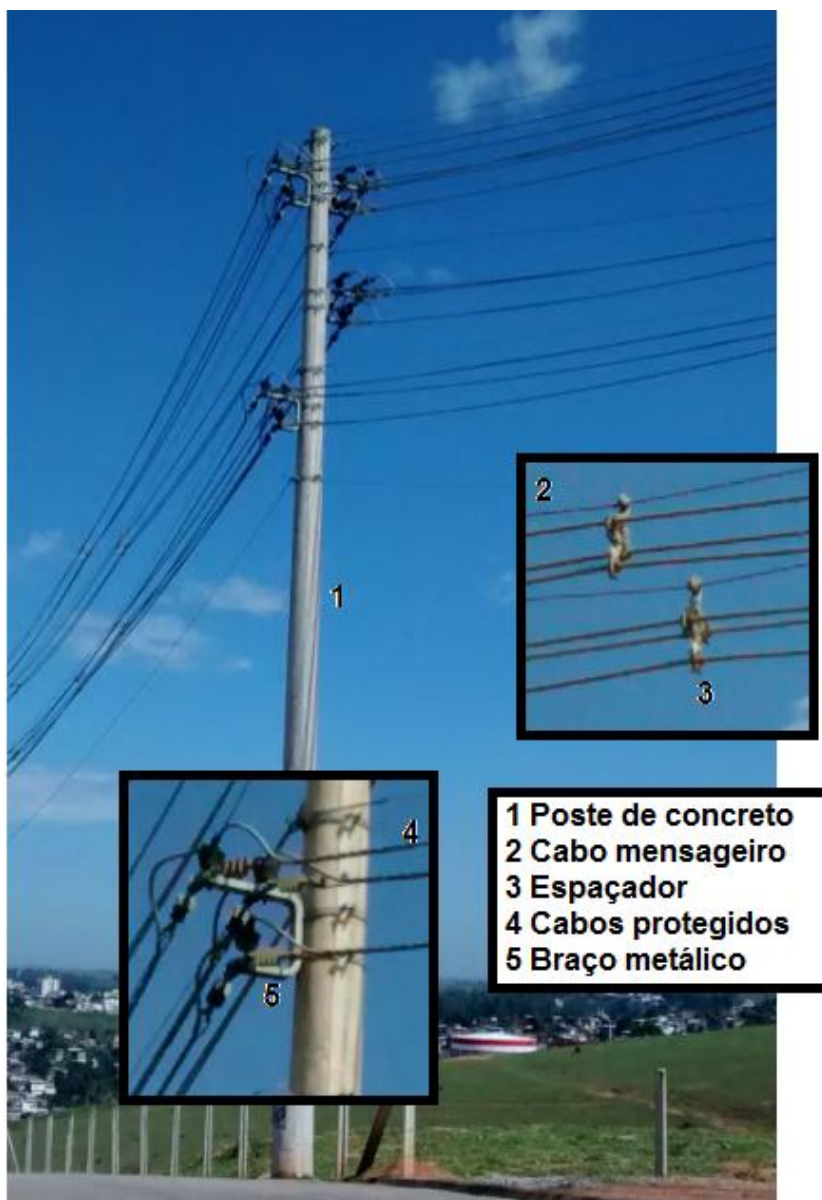
Fonte: SEGATTO, (2008).

Pode-se verificar que houve um aumento do número de faltas relacionadas à deterioração do material com a substituição da rede. A explicação para o fato é o fenômeno chamado trilhamento elétrico, que é a formação de um caminho condutor permanente na superfície do isolante devido aos processos naturais de umidificação, oxidação e contaminação da mesma. Esse fenômeno causa também a deterioração do material isolante presente nos condutores, gerando assim situações de curto-circuito. O local por onde o alimentador passa, próximo ao rio, favoreceu essa situação.

A rede compacta é um conjunto formado por um cabo de aço e três condutores cobertos por uma camada de polietileno não reticulado (XLPE), fixados em estruturas de concreto compostas por braços metálicos e espaçadores losangulares (ou separadores de fase) confeccionados em material polimérico. Os condutores e os espaçadores são sustentados pelo cabo de aço aluminizado que é denominado, nesta padronização, como cabo mensageiro. Além disso, funciona indiretamente como cabo pára-raios (uma vez que não é dimensionado para tal função mas é aterrado), oferecendo uma proteção adicional contra descargas atmosféricas. Construtivamente, o apoio do cabo mensageiro para a sustentação da rede aérea é feita através de braços metálicos fixados nos postes. Os espaçadores losangulares são instalados ao longo da rede entre os pontos de fixação, permitindo uma compactação da

estrutura e garantindo o afastamento mínimo entre os condutores fase e o cabo mensageiro, uma vez que os cabos são apenas protegidos, e não isolados. A quantidade de espaçadores a ser utilizada entre duas estruturas depende da distância do vão (m) e do tipo de estrutura de sustentação fixa no poste. (EDP ESCELSA, 2009). Na Figura 3, pode-se observar a estrutura completa dessa rede de distribuição.

Figura 3 - Rede aérea compacta



Fonte: Produção do próprio autor.

As principais vantagens da rede aérea protegida em comparação com a rede aérea convencional são: redução na taxa de faltas, reduzindo também o número de intervenções para manutenção, redução no DEC e FEC, aumento de segurança para eletricitistas e público

geral, redução do nível das podas de árvores, em frequência e intensidade, e melhoria de imagem da empresa distribuidora. Esses motivos resultam, consequentemente, na redução dos custos operacionais da rede.

2.3 Redes aéreas isoladas

A rede aérea isolada é bastante protegida, pois os condutores são encapados com isolamento e blindados, o que permite que eles sejam trançados em torno de um cabo mensageiro que os sustentam. Esta condição a torna mais cara, portanto ela costuma ser utilizada apenas em condições especiais. Segundo informações da área de Planejamento e Construção da EDP Escelsa, existia um trecho de um alimentador de rede aérea convencional, situado na Rodovia do Sol, que apresentava problemas constantes de curto fase-terra. Isso ocorria devido à proximidade dos condutores a terra, que era ocasionada por um grande desnível presente no terreno (consequentemente nos postes) onde estava esse vão da rede. Após a sua substituição pela rede protegida, não houve mais problemas de falta devida a essa situação.

Os condutores são isolados de acordo com sua classe de tensão (MT ou BT) e neles são utilizados acessórios desconectáveis nas conexões e derivações, além das terminações que promovem a interligação entre os condutores isolados e os condutores das redes nuas ou protegidas (VELASCO, 2003). É mais comum encontrar redes secundárias isoladas, pois elas permitem uma convivência menos agressiva entre a rede aérea de distribuição e a arborização, uma vez que a isolamento dos condutores permite contato entre os cabos e outros objetos. A Figura 4 ilustra o uso da rede secundária de distribuição isolada.

Figura 4 - Rede aérea protegida (baixa tensão)



Fonte: Produção do próprio autor.

2.4 Redes subterrâneas

A rede subterrânea é a que proporciona o maior nível de confiabilidade e também o melhor resultado estético, dado que as redes não ficam expostas. No entanto, são bem mais caras que as demais soluções e por isso são normalmente utilizadas em regiões muito densas ou onde há restrições para a instalação das redes aéreas (ABRADEE, 2009). Sua utilização prevê a ausência de faltas, e como exemplo temos as saídas dos alimentadores da subestação e os trechos de rede subterrânea de Bento Ferreira que desde a implantação não apresentaram esses problemas, conforme informações fornecidas pelo Centro Operacional de Distribuição da EDP Escelsa.

Os cabos podem ser diretamente enterrados ou acomodados em eletrodutos protegidos por uma estrutura civil formada por caixas de concreto ou alvenaria, instaladas ao longo da rede. Os equipamentos podem ser abrigados em câmaras ou caixas subterrâneas, sobre o solo em cabines especiais ou até mesmo em postes nas chamadas redes mistas. A estrutura da rede

subterrânea será mais bem definida no decorrer deste trabalho. A Figura 5 ilustra um exemplo de linha de dutos envelopadas em concreto chegando na caixa de passagem.

Figura 5 - Caixa de passagem de uma rede subterrânea de distribuição



Fonte: Produção do próprio autor.

Com um elevado custo de implantação, a justificativa para sua instalação é reduzir a poluição visual em áreas com grande densidade de carga, locais históricos, praças, condomínios fechados e loteamentos específicos, entre outros. As vantagens dessa rede são: maior confiabilidade, menor frequência de interrupções no fornecimento de energia, baixa necessidade de manutenção, maior vida útil, segurança das pessoas e maior arborização.

3 TIPOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA

Esse capítulo tem por objetivo identificar e detalhar os tipos de sistemas de distribuição subterrânea de energia elétrica adotados pela concessionária EDP Escelsa. Dessa maneira, a fonte principal das informações nele contidas é a especificação técnica do Grupo EDP, que estabelece as condições gerais para elaboração de um projeto deste tipo de rede de distribuição (EDP ESCELSA, 2012). Esta norma foi elaborada devido ao crescente interesse dos empreendedores e dos diversos órgãos públicos na implantação de redes subterrâneas.

A especificação técnica apresenta 6 tipos de sistemas de redes subterrâneas, porém, a utilização de um deles é restrita à concessionária EDP Bandeirantes do estado de São Paulo. Logo, as redes de distribuição utilizadas pela concessionária EDP Escelsa poderão ser de 5 tipos, como visto abaixo, que serão abordados de maneira aprofundada a seguir:

- i) Rede de média tensão subterrânea em sistema radial sem recurso;
- ii) Rede de média tensão subterrânea em sistema radial com recurso;
- iii) Rede mista – rede de média tensão aérea, transformador aéreo e rede de baixa tensão subterrânea;
- iv) Saída de subestação de transformação em rede subterrânea;
- v) Travessia de trechos subterrâneos nas redes de distribuição aéreas.

É importante destacar, antes de iniciar o detalhamento dos tipos de sistemas de distribuição subterrânea utilizados pela EDP Escelsa, que eles possuem uma particularidade muito grande quando comparados aos tipos abordados em livros didáticos e até mesmo aos utilizados por outras concessionárias. Essa particularidade está relacionada à ligação de uma rede subterrânea a uma rede aérea, em todos os casos. Ou seja, um alimentador da rede primária sempre terá um trecho aéreo se tiver trecho subterrâneo, enquanto normalmente, em outras concessionárias, os alimentadores são completamente enterrados.

Os estudos de natureza econômico-financeira necessários ao planejamento da expansão do sistema têm por objetivo realizar uma seleção entre alternativas considerando o menor custo global, mas garantindo a segurança, qualidade do produto e serviço, confiabilidade, viabilidade econômica e ambiental (ANEEL, 2013). Este fato é que gera a peculiaridade das redes subterrâneas da EDP Escelsa, uma vez que normalmente esse menor custo global está

associado a uma rede aérea, seja convencional ou protegida. Isso explica a dificuldade de implantação das redes subterrâneas, que normalmente são planejadas e executadas somente quando há um interesse e apoio financeiro da prefeitura local. Nesses casos, é comum que a prefeitura invista o valor diferencial entre o menor custo global e o custo real da rede subterrânea.

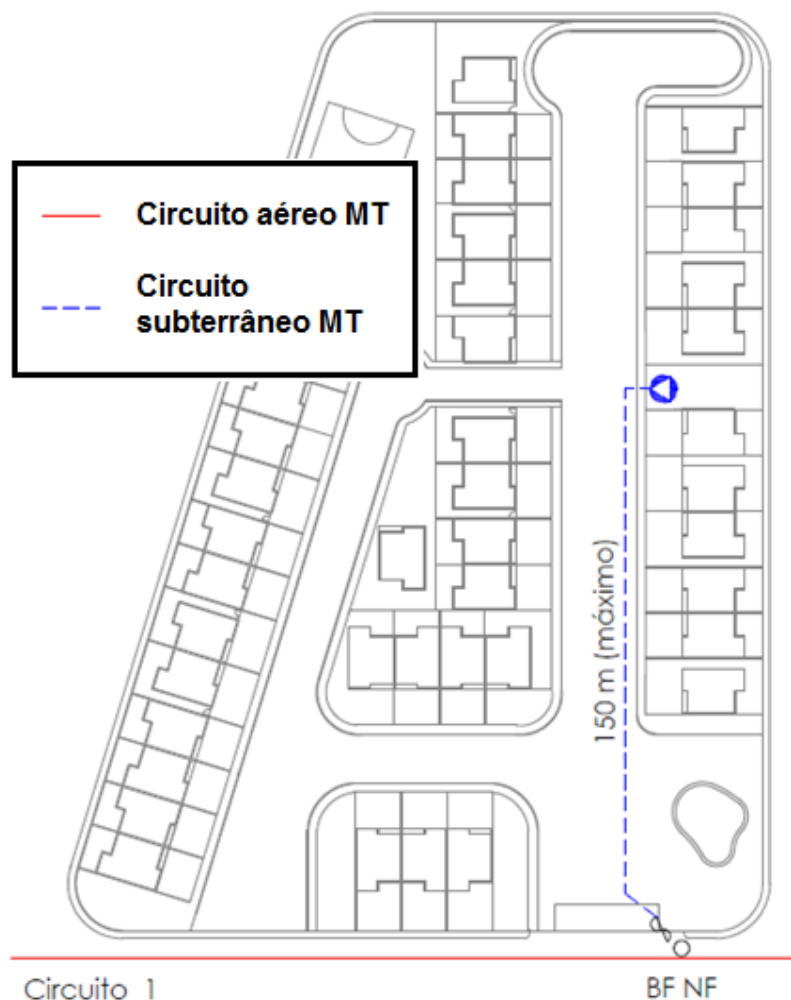
Esse apoio financeiro possibilita que a concessionária não seja prejudicada executando uma obra com um custo maior que o retorno financeiro, uma vez que a ANEEL é quem autoriza o reajuste de tarifas baseada também nos investimentos feitos na rede de distribuição (mais precisamente no menor custo obtido com o planejamento). Ou seja, se a concessionária opta por uma rede subterrânea quando existe a opção de escolher uma rede aérea, que atenda às mínimas condições de operação e segurança estabelecidas por norma, é comum que no reajuste tarifário esse custo maior da rede seja identificado como uma glosa. A glosa significa uma cobrança efetuada que não coincide com acordos e regras firmadas entre o contratado e a contratante.

A seguir serão detalhados os 5 tipos de sistemas de redes subterrâneas utilizadas pela EDP Escelsa, anteriormente citada no início desse capítulo.

3.1 Rede de média tensão subterrânea em sistema radial sem recurso

O circuito de média tensão subterrâneo radial sem recurso é o sistema mais simples de todos, que consiste em uma linha radial subterrânea formada a partir da derivação de um ponto de rede aérea. A distância desse circuito radial não poderá ultrapassar 150 metros do ponto de derivação, conforme Figura 6, e o empreendimento atendido deve possuir apenas um transformador.

Figura 6 - Circuito radial simples alimentado por um único transformador



Fonte: EDP ESCELSA, (2012).

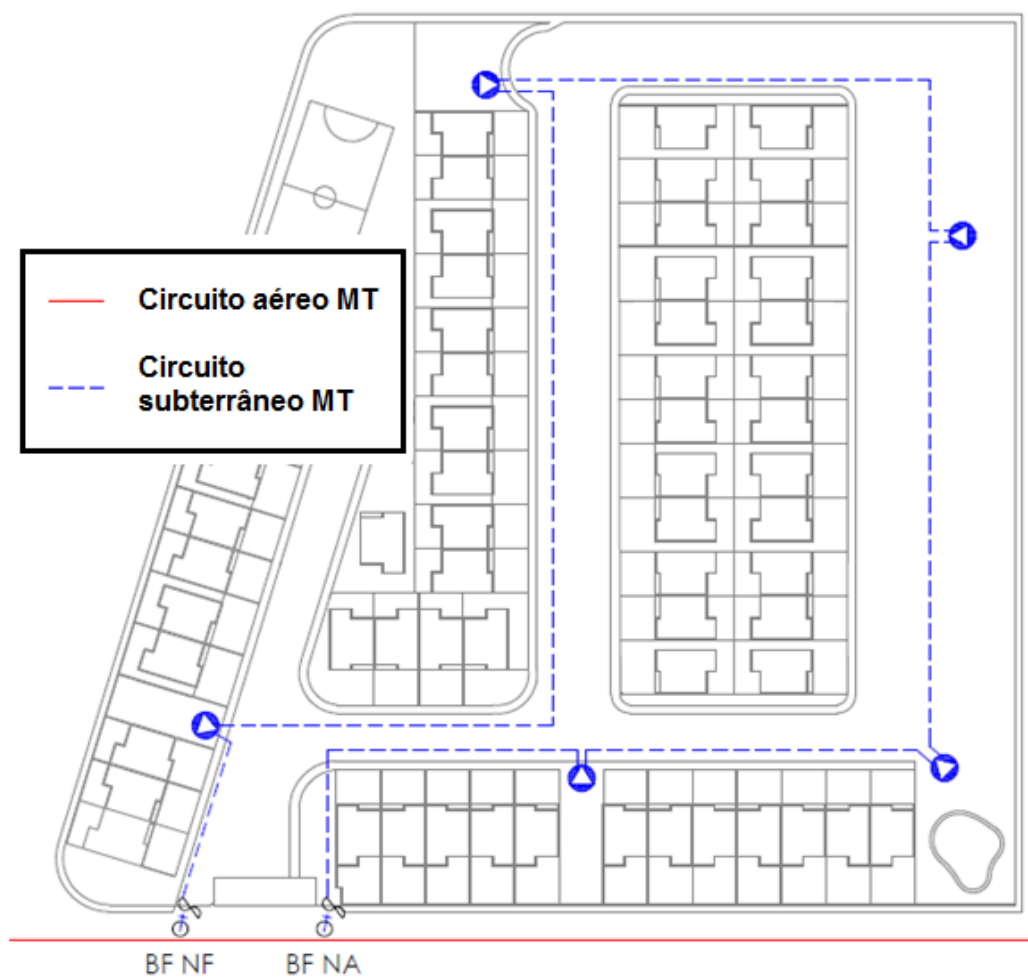
3.2 Rede de média tensão subterrânea em sistema radial com recurso

Os circuitos de média tensão subterrâneos devem ser trifásicos com neutro. O sistema radial com recurso é aquele que possui dois pontos de transição da rede aérea para a rede subterrânea. Esses pontos podem ser do mesmo circuito da rede aérea, conforme Figura 6, ou de redes aéreas distintas, conforme Figura 7. No caso onde as derivações são feitas no mesmo circuito, os pontos de transição poderão ou não estar situados no mesmo poste.

Nos ramais de derivação do circuito de média tensão subterrâneo poderá ser utilizado apenas um circuito (sem recurso), desde que a distância não ultrapasse 150 metros do circuito principal (EDP ESCELSA, 2012). Se em alguma derivação esses 150 metros fossem ser

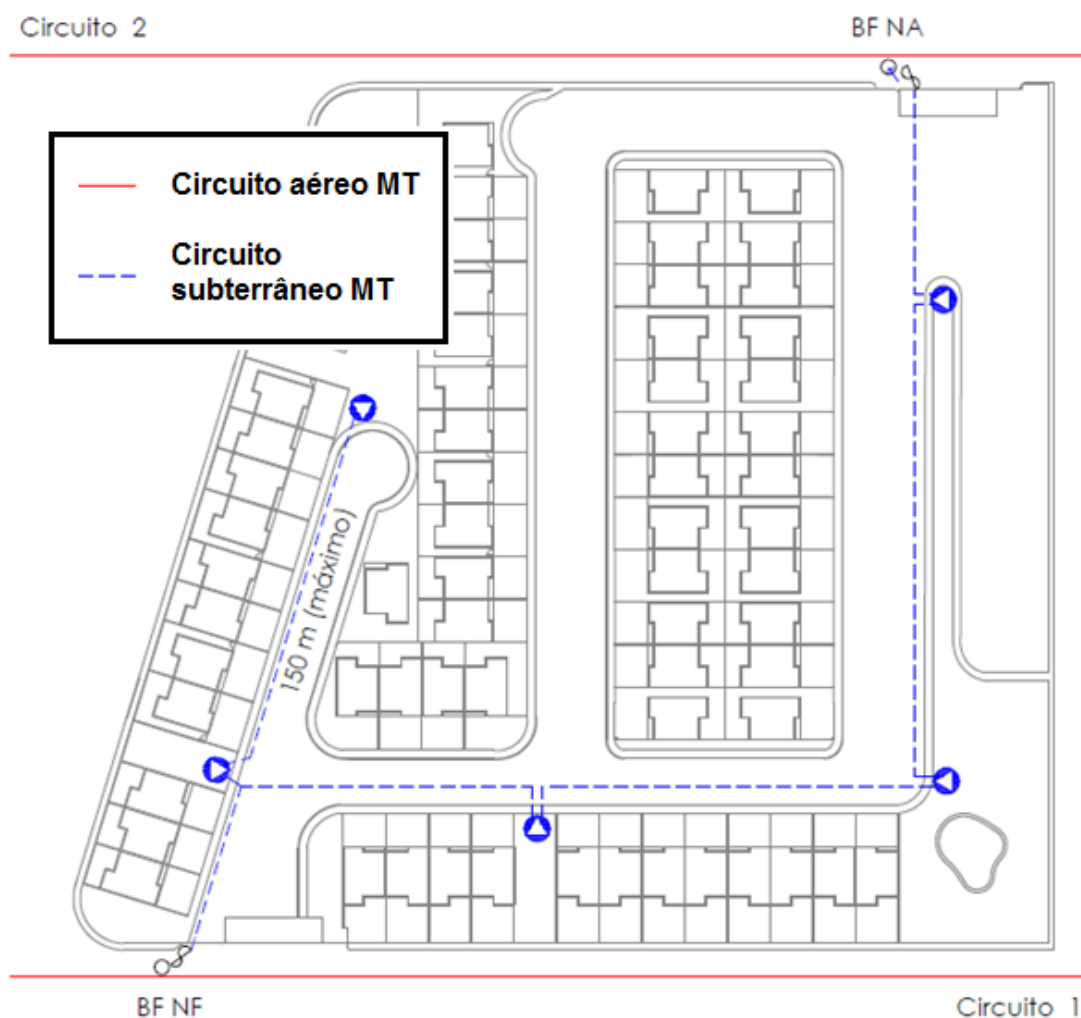
ultrapassados, é necessário que a rede principal seja reposicionada para que o mesmo não ocorra.

Figura 7 - Circuito radial com recurso alimentado por um circuito aéreo



Fonte: EDP ESCELSA, (2012).

Figura 8 - Circuito radial com recurso alimentado por dois circuitos aéreos

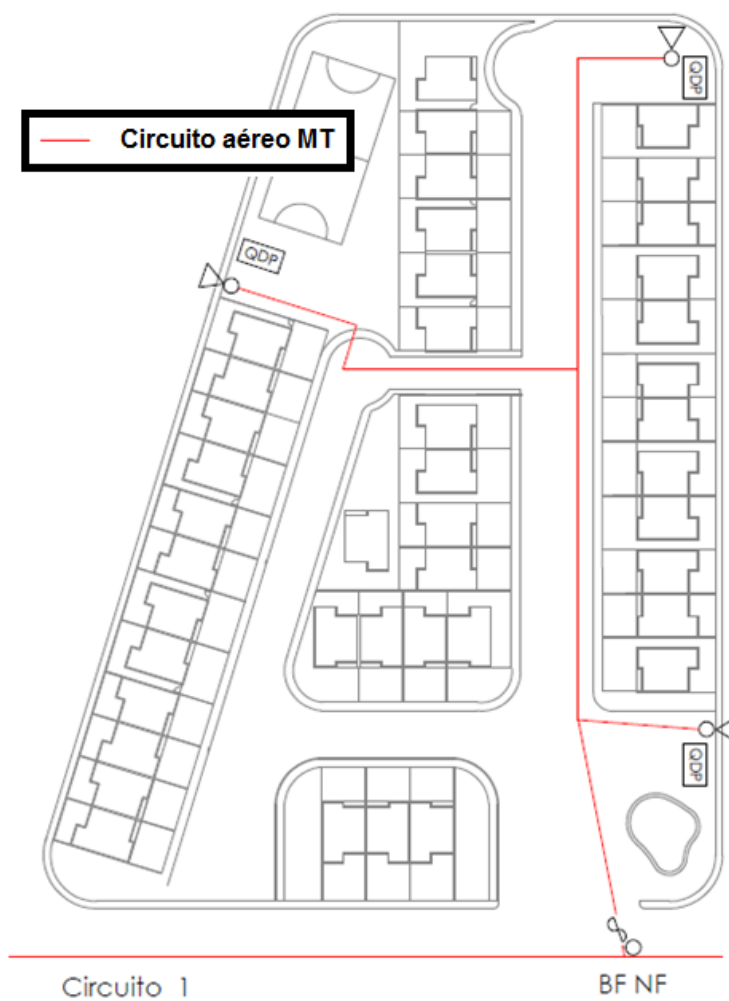


Fonte: EDP ESCELSA, (2012).

3.3 Rede mista

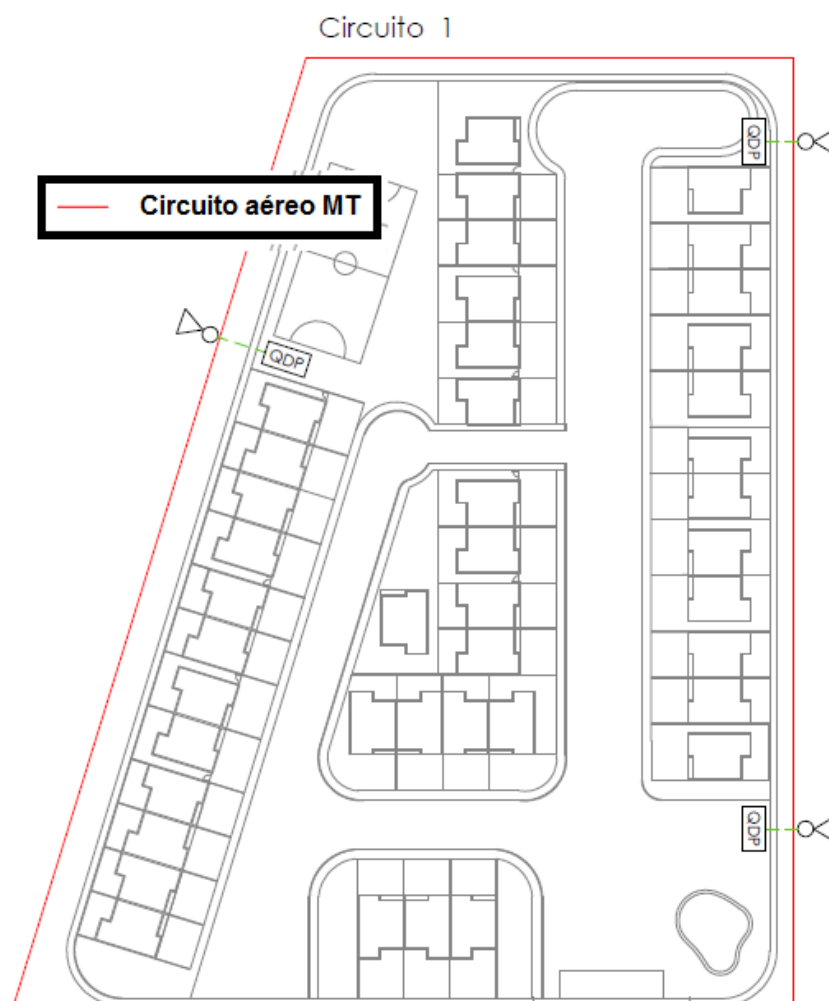
A rede mista consiste em circuitos de média tensão e transformadores aéreos alimentando vários circuitos de baixa tensão subterrâneos. Neste tipo de rede existem duas possibilidades: os transformadores aéreos podem estar em postes localizados dentro do empreendimento (Figura 9), ou do lado externo do mesmo (Figura 10). No segundo caso, deverão ser instalados quadros de distribuição em pedestal (QDP) do lado interno e os transformadores deverão pertencer ao mesmo circuito de média tensão. Os circuitos de baixa tensão subterrâneos, tanto na Figura 9 quanto na Figura 10, não estão representados, mas saem do QDP em direção ao quadro de distribuição individual de cada local que será atendido.

Figura 9 - Circuito de média tensão no sistema aéreo e circuito de baixa tensão em rede subterrânea



Fonte: EDP ESCELSA, (2012).

Figura 10 - Circuito de média tensão no sistema aéreo (lado externo do empreendimento) e circuito de baixa tensão em rede subterrânea



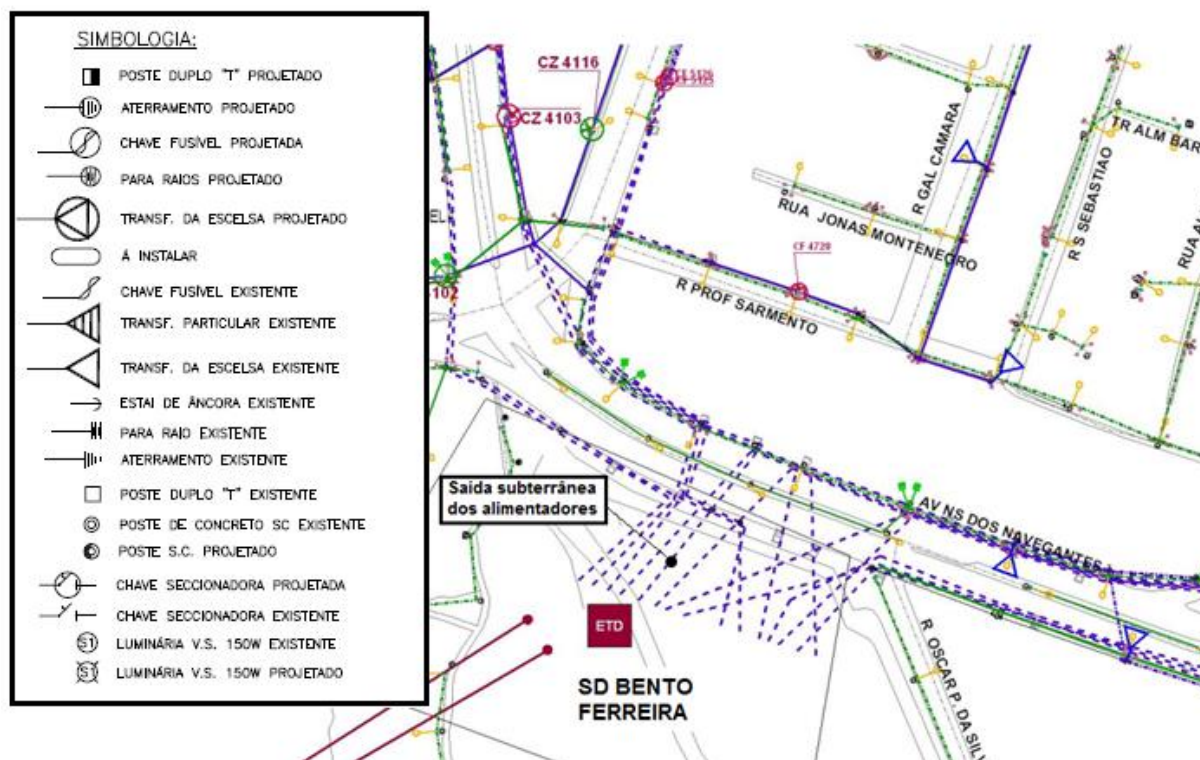
Fonte: EDP ESCELSA, (2012).

3.4 Saída de subestação de transformação em rede subterrânea

Em algumas subestações de distribuição é mais interessante construir as saídas dos alimentadores em redes subterrâneas para viabilizar as condições técnicas, tais como o arranjo dos primeiros postes dos circuitos na calçada da subestação quando existe um grande número de alimentadores aéreos. Além de a rede subterrânea facilitar essa tarefa, ela elimina a poluição visual provocada nesses casos. Como exemplo tem-se a SD Bento Ferreira, programada para ter 24 alimentadores (atualmente com 15), cujo projeto e construção de saída em rede subterrânea foram praticamente financiados pela PMV uma vez que a legislação não obriga as concessionárias executarem obras de distribuição, necessárias para a ampliação do sistema elétrico, com redes subterrâneas. A rede aérea atenderia este caso, mas poluiria

visualmente o ambiente. A Figura 11 mostra o arranjo da saída da subestação em rede subterrânea, que foi retirado do software utilizado pela EDP Escelsa, o Smallworld Design Manager.

Figura 11 - Saída subterrânea dos alimentadores da SD Bento Ferreira



Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 12 mostra um exemplo de subestação de distribuição que apresenta muitos alimentadores com saída aérea, a SD Praia, gerando uma poluição visual no local. Nesses casos de número expressivo de postes, até mesmo a movimentação dos pedestres e usuários de cadeira de rodas pode ser prejudicada caso a calçada não devidamente projetada para o local.

Figura 12 - Saída dos alimentadores aéreos da SD Praia



Fonte: Produção do próprio autor.

3.5 Travessia de trechos subterrâneos nas redes de distribuição aéreas

Nas redes de distribuição aérea existem locais em que, por conta das condições físicas, há necessidade da construção de trechos de rede subterrânea. Esses locais normalmente são: travessia de linha férrea, rodovia, ponte, viaduto, linhas de transmissão e outros obstáculos. Neste caso, o exemplo é a travessia da Av. Fernando Ferrari, que foi solicitada e financiada pela PMV. O projeto consistiu na transformação de 2 circuitos de 34,5 kV e circuitos de 15 kV de aéreo para subterrâneo, com objetivo de eliminar o impacto visual que ocorreria na nova Ponte da Passagem.

4 INFRAESTRUTURA CIVIL

4.1 Rede aérea

A estrutura das redes aéreas é, em resumo, um conjunto de postes, utilidades, condutores e equipamentos elétricos utilizados para a distribuição da energia elétrica. No planejamento de redes para atendimento de novas áreas, contempla-se um estudo básico que envolve levantamento da condição local, grau de urbanização, arborização, dimensões de lotes e características da área que será atendida. Tudo isso é levado em conta, principalmente na decisão do tipo de isolamento do condutor (CEMIG, 2005).

A locação dos postes deve ser determinada atendendo a requisitos como: espaçamento, segurança e iluminação pública requerida. O dimensionamento dos postes é totalmente dependente das características elétricas dos cabos e transformadores, responsáveis por parte do esforço mecânico que os mesmos sofrem.

Existem diversas possibilidades para o traçado de uma rede, e o planejamento serve exatamente para que seja escolhido o que apresente melhores aspectos técnico-econômicos. Deve ser levado em conta evitar o desmatamento, alocar os postes em divisas de lotes sempre que possível, prever futuras extensões para que haja menor modificação possível na rede existente e o cruzamento de redes.

Os condutores utilizados para alimentação da iluminação pública, de equipamentos de controle dos religadores e de bancos de capacitores automáticos e das unidades consumidoras possuem seções específicas para cada utilidade, e podem ser feitos de cobre ou alumínio. Os transformadores devem ser localizados o mais próximo possível dos centros de cargas (industriais, comerciais e residenciais).

4.2 Rede subterrânea

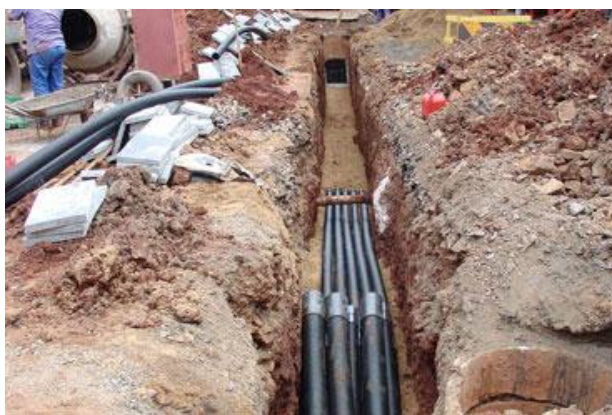
Existe uma larga variedade de padrões construtivos e configurações utilizadas na infraestrutura dessas redes no Brasil. Muitas delas possuem elevada complexidade de instalações e equipamentos. A seguir, será feita uma abordagem detalhada do modelo civil comumente utilizado pela concessionária EDP Escelsa.

Como citado no capítulo anterior, as redes subterrâneas de média tensão sempre estão associadas às redes aéreas e, portanto, diversas partes da estrutura civil, ainda que estejam definidas em norma, não são utilizadas na prática. Como exemplo, tem-se a Câmara Transformadora Submersível, uma vez que a transformação MT/BT dessas redes é feita em transformadores instalados nos postes.

Os cabos utilizados, diferentemente dos encontrados nas redes aéreas em geral, possuem uma blindagem que fornece uma isolação plena e, por isso, garantem uma menor taxa de falhas na operação. Os materiais que possuem bom desempenho e são mais utilizados na isolação dos cabos são o polietileno reticulado (XLPE) e a borracha etileno-propileno (EPR). A diferença principal entre os dois é que o EPR tem maior resistência à umidade. Entretanto, o XLPE tem um menor custo e as suas características atendem a necessidade da rede, sendo ele então mais utilizado.

Uma das maiores dificuldades no projeto de redes subterrâneas é o enterramento dos condutores em um solo recheado de tubulações de serviços essenciais (rede de esgoto, água, galerias pluviais) e de outras concessionárias como de telefonia, TV a cabo e fibra óptica. Dessa forma, há um enorme cruzamento de redes que diminui os espaços no subsolo e gera contratempos de execução de projeto, o que reflete em uma elevação dos custos de instalação (COPEL, 2010). Todos os condutores dos circuitos de média tensão devem ser instalados em dutos, e a utilização do chamado banco de dutos, que podem ou não serem envelopados em concreto, amenizam o problema de cruzamento de redes (EDP ESCELSA, 2009). Na Figura 13 temos um exemplo de banco de dutos.

Figura 13 - Exemplo de banco de dutos não envelopados em concreto



Fonte: COPEL, (2010).

Ao longo da rede, existem as caixas de passagem feitas de concreto ou alvenaria, com tampa de ferro, utilizadas para facilitar a instalação dos condutores. Essas caixas são normalmente usadas quando há mudança na direção do banco de dutos, em pontos onde serão instalados acessórios para emenda/derivações e no final de linhas de dutos. A norma da EDP Escelsa adota uma distância máxima de 100 metros entre caixas de passagens consecutivas, mas na prática a concessionária adota o valor máximo de 50 metros (EDP ESCELSA, 2012).

Existe também o poço de inspeção, que é uma estrutura em concreto ou alvenaria, presente nas saídas das subestações para possibilitar a passagem dos condutores e montagem dos equipamentos subterrâneos (chaves e medidores). O mini poço de inspeção, conforme Figura 14, é análogo a este, com a diferença de que é instalado ao longo da rede. Suas dimensões devem possibilitar a movimentação interna de pessoas para a execução de serviços e facilitar a realização de manutenções (COPEL, 2010).

Figura 14 – Mini poço de inspeção



Fonte: COPEL, (2010).

As estruturas apresentadas caracterizam a estrutura da rede subterrânea adotada pela EDP Escelsa. Nas outras concessionárias do Brasil, a exemplo da COPEL, a rede subterrânea normalmente não está associada a trechos aéreos. Por isso, existem estruturas que são utilizadas apenas por essas concessionárias como a caixa de transformação subterrânea e até mesmo o transformador em pedestal, que também caracteriza uma rede parcialmente enterrada apesar de não estar associado à rede aérea.

O transformador em pedestal (Figura 15) é selado, podendo ser utilizado ao tempo ou dentro de construções, com compartimentos blindados para conexão de condutores de média e baixa tensão. Esse tipo de transformador tem sido amplamente utilizado em condomínios fechados, que por questões estéticas optam pela rede subterrânea e que possuem área externa suficiente para a disposição destas estruturas (COPEL, 2010).

Figura 15 - Transformador em pedestal



Fonte: NAKAGUISHI; HERMES, (2011).

5 CABOS ISOLADOS

5.1 História

“Criados inicialmente para a transmissão de dados telegráficos, os fios e cabos evoluíram graças às descobertas de materiais mais eficientes para sua isolação, tornando os condutores cada vez mais seguros” (GOEKING, 2009). A história das redes de distribuição subterrâneas se confunde com a própria história do surgimento dos cabos isolados, dado que a evolução dos materiais isolantes permitiu o surgimento da distribuição de energia por instalações subterrâneas (BRUNHEROTTO; OLIVEIRA, 2013).

O início do emprego de cabos isolados enterrados se deu em 1816 com a linha telegráfica. Em 1879, Thomas Edison desenvolveu um sistema de iluminação incandescente para a cidade de Nova Iorque, onde os cabos subterrâneos eram cobertos de juta (fibra têxtil vegetal) untada em betume (destilado do petróleo, popularmente conhecido como piche). Em 1880, começou a ser utilizada a borracha vulcanizada.

Os primeiros cabos utilizados na distribuição subterrânea de energia eram isolados com borracha não vulcanizada cobertos com chumbo. Nessa época, estavam em fase de testes os cabos isolados com papel, cuja utilização era condicionada pela sua propriedade higroscópica (propriedade de absorção de água). A impregnação do papel com óleo quente foi uma solução encontrada para esse problema, cujo objetivo era a retirada da umidade (evaporação) e do ar (expansão). No ano de 1895 ocorreu o marco da utilização de cabos isolados com papel impregnado em óleo. No Quadro 2, tem-se uma espécie de linha do tempo que mostra qual era o principal isolante utilizado em cada época e o principal resultado da sua aplicação. Com a evolução da tecnologia, os cabos de média tensão, que inicialmente eram impregnados com papel e óleo, passaram a ser isolados com compostos chamados de poliméricos, que dominam o atual mercado.

Quadro 2 – Evolução dos cabos isolados

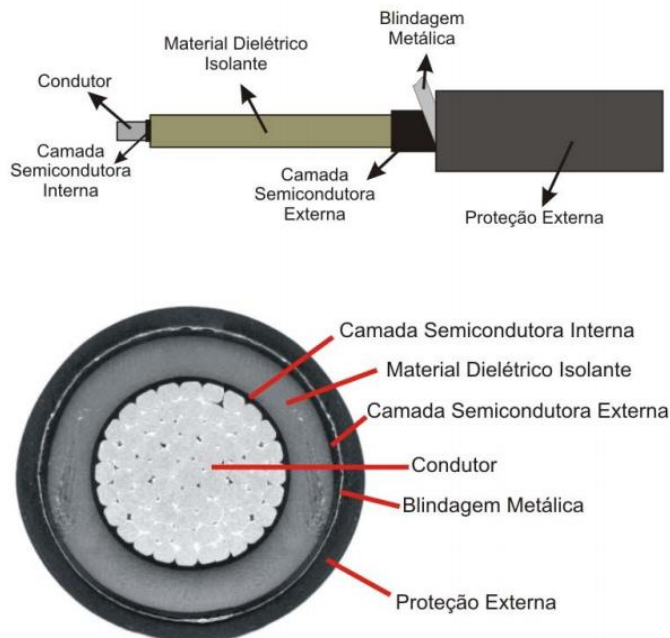
Ano	Isolação	Resultado
1860	Borracha vulcanizada	Iluminação – Baixa tensão
1862	Juta e betume	Maior tensão – Até 2 kV
1890	Papel em óleo	Maior tensão – Até 10 kV
1914	Blindagem	Acima de 10 kV
1925	Óleo fluido	Acima de 69 kV
1947	Polietileno – PE	Menor espessura
1959	XLPE/EPR	Melhor isolação

Fonte: BRUNHEROTTO; OLIVEIRA, (2013).

5.2 Estrutura de um cabo isolado de média tensão

Com relação à estrutura, os cabos isolados de média tensão apresentam os seguintes elementos: condutor, camada semicondutora interna e externa, isolação, blindagem metálica e proteção externa (TEIXEIRA JR, 2004). A disposição destes pode ser observada na Figura 16.

Figura 16 - Esquema do cabo isolado de média tensão

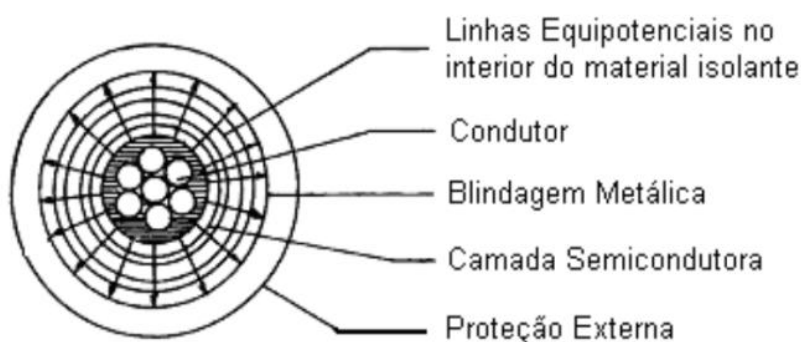


Fonte: BRESSAN, (2006).

O condutor, elemento de transporte da energia elétrica, pode ser de cobre ou alumínio e é formado por fios encordoados, normalmente compactados (PAULA, 2009). A camada semicondutora interna, também chamada de blindagem do condutor, tem como função

uniformizar o campo elétrico radial, conforme mostra a Figura 17, fazendo com que o isolamento seja solicitado igualmente para mesmas distâncias do condutor. Além disso, a propriedade semicondutora é responsável por praticamente eliminar a possibilidade de formação de bolhas nas interfaces com o material dielétrico, evitando que ocorram descargas parciais (BARTNIKAS; SRIVASTAVA, 2000).

Figura 17 – Linhas de campo elétrico em um cabo isolado com camada semicondutora



Fonte: MAMEDE FILHO, (1994).

O material dielétrico isolante é responsável pela isolação elétrica do condutor. Ele fica sujeito ao campo elétrico gerado entre o condutor e a blindagem da isolação, devido à diferença de potencial gerado entre estes. Suas características são os principais fatores determinantes da vida útil do cabo (pode ser reduzida se suas características como estabilidade térmica não forem respeitadas na operação), por isso é provavelmente um dos elementos mais importantes do cabo isolado.

A camada semicondutora externa tem as mesmas funções da camada interna, além de servir de acolchoamento para a blindagem metálica. A blindagem metálica tem como função confinar o campo elétrico, evitando interferências eletromagnéticas externas. Quando aterrada, fornece segurança durante a operação do cabo, uma vez que passa ser o caminho para correntes de curto-circuito. O conjunto desses dois elementos é conhecido como blindagem da isolação (PAULA, 2009).

A proteção externa tem a finalidade de proteger mecanicamente (esforços mecânicos surgidos no lançamento dos cabos) e quimicamente (penetração de água e demais agentes externos) os

demais elementos. A seguir, serão abordados com detalhes os tipos de isolações mais utilizados e suas principais características.

5.3 Isolações poliméricas

As isolações poliméricas são materiais compostos por macromoléculas de uma unidade molecular que se repete; o monômero. Tomando como base o seu comportamento termomecânico, os polímeros podem ser divididos em termoplásticos e termofixos (TEIXEIRA JR, 2004).

5.3.1 Isolações termoplásticas

Os polímeros termoplásticos, se sujeitos a um aumento gradativo de temperatura, conseguem manter seu estado sólido até 105°C/130°C. Ultrapassado esse ponto de operação, o material perde suas propriedades mecânicas e se torna líquido. Na prática, existe uma limitação das temperaturas de regime normal e transitório, para que não haja perda significativa de suas propriedades mecânicas. As principais isolações termoplásticas atualmente em uso para cabos de energia são o policloreto de vinila (PVC) e o polietileno (PE).

5.3.1.1 Policloreto de vinila (PVC)

Os compostos de PVC têm se mostrado adequados para utilização como isolação de cabos com tensão de isolamento de até 3,6/6 kV. Suas altas perdas dielétricas limitam sua utilização para tensões de isolamento superiores. Têm uma ótima resistência mecânica, estabilidade perante agentes químicos e propriedade de não propagar chamas. Por isso, é constantemente aplicado como isolante de cabos para tensão de isolamento de 750 V e 1 kV. A utilização de cabos com isolação em PVC vem encontrando restrições em instalações localizadas onde há grande afluência de público, pelo fato de liberar gases tóxicos e ácidos em condições de incêndio, além de produzir grande quantidade de fumaça escura durante sua queima.

5.3.1.2 Polietileno (PE)

Basicamente existem dois tipos de polietileno utilizados na isolação de cabos de energia: polietileno de baixa densidade (LDPE) e polietileno de alta densidade (HDPE). Ambos são obtidos a partir da polimerização do etileno; o LDPE a partir de uma reação sob alta pressão e temperatura, e o HDPE a partir de uma reação de baixa pressão e temperatura moderada.

Na França são encontradas aplicações de LDPE para tensões de até 400 kV e HDPE até 225 kV. No Brasil, o polietileno tem sido utilizado como isolação de cabos de controle 750 V e 1 kV. Até o final dos anos 80, o polietileno foi utilizado como isolação de cabos de média tensão em instalações industriais para interligações de pequena distância. A partir de 1995, as Normas Brasileiras (ABNT, 2012) passaram a não prever o uso do polietileno termoplástico para cabos de média tensão acima de 3,6/6 kV. A modernização dos processos de fabricação no Brasil ficou restrita às isolações termofixas.

5.3.2 Isolações termofixas

Os dielétricos termofixos conseguem manter seu estado físico mesmo em altas temperaturas, uma vez que quando ela se eleva além do limite admissível, o material se carboniza sem se tornar líquido. Independentemente do tipo de isolação e do seu estado físico após uma operação em altas temperaturas, o material isolante deve ser analisado por meio de inspeções visuais e ensaios, uma vez que essas condições de temperaturas podem danificar sua propriedade isolante. Um exemplo de ensaio feito para testar a isolação do condutor é utilizando o instrumento Hi Pot, que aplica gradativamente tensão no cabo (até a nominal) e analisa o comportamento da corrente de fuga que surge. Normalmente essa corrente, em variações abruptas, indica a perda da característica isolante do material e inviabiliza a utilização do cabo.

Na prática, a temperatura de regime permanente recomendável é de 90°C ou 105°C, sendo que, em situações de sobrecarga, se permite atingir 105°C, 130°C ou 140°C. Durante transitórios, provenientes de curto-circuitos, podem operar em até 250°C. Os limites térmicos vão depender do material e da aplicação a que o cabo será submetido.

A excelente estabilidade térmica destes materiais permite maior transferência de potência para uma mesma seção de condutor que o similar com isolamento termoplástico. Além disso, apresenta uma economia global em sistemas onde se tem alto nível de curto-circuito. As principais isolações termofixas utilizadas em cabos de energia são: o polietileno reticulado (XLPE) e a borracha etileno-propileno (EPR).

5.3.2.1 Polietileno reticulado (XLPE)

O polietileno reticulado (XLPE) é obtido a partir da modificação da estrutura do polietileno termoplástico (LDPE), proporcionando uma melhor estabilidade térmica ao polímero. Ele possui essencialmente todas as propriedades elétricas do LDPE, mas com melhores propriedades físicas e melhor retenção destas propriedades com o aumento da temperatura. Por ser um material termofixo, possui maior resistência a deformação nas temperaturas de operação.

O XLPE tem tido aplicações em todo o mundo como isolamento de cabos para baixa, média e alta tensão. Principalmente na Europa e no Japão, tem sido utilizado de forma geral em sistemas de 245 kV e 275 kV. Na Alemanha e na Dinamarca se encontram aplicações em sistemas de transmissão em 400 kV. No Japão existem aplicações em 500 kV. No Brasil, o XLPE é largamente utilizado como isolamento de cabos de baixa tensão e média tensão.

Em casos de aplicações especiais utiliza-se o TR-XLPE (adição de um ingrediente polar *tree retardant* na base polimérica do XLPE) com o objetivo de minimizar os defeitos provocados pela ocorrência de *water trees*, melhorando a vida útil dos cabos. O fenômeno *water tree* ocorre quando há um rompimento na proteção externa do cabo e a água atinge a isolação. A experiência prática e testes em cabos modelo comprovam que a água tem um efeito prejudicial às isolações poliméricas, em particular ao LDPE e XLPE. Experimentos em cabos isolados com LDPE removidos de serviço, onde houve penetração de água pelo condutor e pela blindagem, confirmam os resultados de envelhecimento acelerado e mostram uma degradação na rigidez dielétrica do material.

5.3.2.2 Borracha etileno-propileno (EPR)

O termo borracha etileno-propileno (EPR) pode fazer referência a duas variedades de borracha: os copolímeros e os terpolímeros. Os copolímeros são geralmente referidos como borrachas “EPM” e os terpolímeros como borrachas “EPDM”, onde as letras “E” e “P” significam respectivamente, etileno e propileno, enquanto que a letra “M” significa que a borracha tem uma cadeia saturada do tipo polietileno. A letra “D”, presente no “EPDM”, indica a presença de um dieno (GOMES, 20--?). Esses compostos são obtidos de formulações projetadas para aplicações específicas como: altas temperaturas, resistência à chama, alta tensão entre outros.

No composto a base de EPR, o EPR em si constitui apenas 45% a 50% em peso o total do composto. O peso restante é de outros ingredientes que conferem características específicas aos compostos. A borracha etileno-propileno tem tido as mais diversas aplicações como isolamento de cabos de baixa, média e alta tensão até 150 kV. Sua limitação em tensão tem sido causada pelas suas perdas dielétricas relativamente mais altas do que as do LDPE e XLPE.

Sua ótima estabilidade térmica permite sua utilização em cabos de média tensão com temperatura de até 105°C em regime permanente, e em cabos lides de motores (condutor elétrico com isolamento de EPR que podem suportar temperaturas de até 130°C).

6 NOÇÕES DE PROJETO DE REDE SUBTERRÂNEA

Nesse capítulo serão abordadas as etapas que devem ser observadas em um projeto de rede subterrânea. Um projeto de rede de distribuição é basicamente dividido em estudos e atividades preliminares, suprimentos, serviços de campo, projeto executivo e construção. Essas etapas serão apresentadas a seguir de forma mais estratificada, devido às particularidades encontradas no projeto desse tipo de rede e objetivando facilitar o entendimento do leitor. São elas:

- Estudos preliminares e pesquisas de mercado;
- Estimativa da demanda total e projeto elétrico;
- Planejamento da futura iluminação pública;
- Planejamento das calçadas e estudo da acessibilidade a pessoas portadoras de necessidades especiais;
- Planejamento do trânsito;
- Planejamento da infraestrutura urbana;
- Análise de projetos já existentes e compatibilização de todos os projetos;
- Estudo do possível enterramento das redes de energia e demais equipamentos;
- Execução do projeto;
- Fiscalização e gerenciamento das obras.

O estudo preliminar envolve análise de viabilidade técnica e econômica da construção da rede de distribuição. Consiste em uma verificação de recursos disponíveis, estudos geológicos e geotécnicos preliminares e coleta de informações topográficas de traçados alternativos. A partir do estudo das alternativas selecionadas, é definido um traçado. Outras diversas condicionantes são trabalhadas nesse planejamento inicial, e para o caso das redes subterrâneas a definição do tipo de consumidor e taxa de crescimento de consumidores do local são fatores expressivos para sua escolha.

A estimativa da demanda total e o preparo do projeto elétrico básico também fazem parte do estudo preliminar, permitindo o avanço para as próximas etapas. É importante lembrar que a estimativa de demanda total deve levar em consideração o crescimento do consumo de energia local em determinado tempo definido pela concessionária. No caso do sistema de

distribuição de média tensão, análogo ao de alta tensão, os estudos de planejamento de curto e médio prazo planejam a expansão, ampliação e reforços para o horizonte de cinco anos (ANEEL, 2013).

O planejamento da futura iluminação pública, das calçadas e o estudo da acessibilidade a pessoas portadoras de necessidades especiais são essenciais tanto para o trecho aéreo quanto para o trecho subterrâneo do circuito. Na parte aérea é importante atentar-se à localização dos postes, de modo a não prejudicar a acessibilidade dos pedestres em geral, e também aos pontos de iluminação da via. O planejamento do trânsito torna-se importante nos casos de enterramento de redes aéreas e de manutenção de redes subterrâneas existentes. As caixas de passagem e poços de inspeção devem ser localizadas em pontos estratégicos, para que haja menor interferência no trânsito local em uma eventual necessidade de acesso as mesmas.

A análise de projetos já existentes é que determina a possibilidade ou não do enterramento das redes de energia, e é a etapa mais importante para realização do projeto executivo das redes subterrâneas. O projeto executivo, ou projeto de detalhamento, é aonde se processa a elaboração dos desenhos de detalhamento, especificações e instruções necessárias à execução da obra e montagem dos equipamentos, ou seja, a construção da rede de distribuição (FURNAS, 2009). Caso seja possível o enterramento da rede, é nessa etapa que são feitos os ajustes finais do que foi definido no planejamento básico, como por exemplo, o traçado do circuito. Ou seja, a localização dos bancos de dutos da rede subterrânea é definida de acordo com a localização das redes de água, esgoto, telecomunicação e dados, gás e outras existentes. Também é importante a análise da interferência da rede no local, de modo a evitar problemas futuros.

Com o projeto de detalhamento pronto, inicia-se a etapa de execução. A equipe responsável pela construção da rede é mobilizada para campo para realização do serviço e a obra deverá ser fiscalizada por profissionais especializados para que as etapas práticas sigam o que foi definido no planejamento em papel. Existe a possibilidade de em campo ser identificado algum passo do projeto que seja impossibilitado de ser executado, como exemplo encontrar algum obstáculo não identificado anteriormente. Nesses casos, ele é ajustado de forma que a atividade se torne possível e então ela é executada. O gerenciamento de obras é imprescindível para identificar esses problemas na etapa de construção, adequar à situação da melhor maneira possível e, principalmente, fazer uma estimativa do tempo necessário para

que se finalize o projeto. Terminada a obra, as pranchas de projeto devem ser modificadas de acordo com as mudanças ocorridas em campo, gerando o documento conhecido como *As built*. Ou seja, o projeto final que vai ser executado em campo na maioria das vezes sofre modificações e, portanto, deve ser atualizado.

7 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso contido neste capítulo é sobre o trecho subterrâneo da rede de distribuição da Av. Fernando Ferrari, situada no bairro Goiabeiras em Vitória (ES). O seu objetivo principal é detalhar as etapas e processos reais do projeto, bem como os contratempos que ocorreram e fugiram do escopo do planejamento feito para construção dessa rede.

O projeto de rede subterrânea da Av. Fernando Ferrari consistiu no enterramento de trechos da sua rede aérea existente. Foram 2 circuitos de 34,5 kV, onde cada fase é composta por 2 condutores isolados de 630mm², e 2 circuitos de classe 15 kV, onde cada fase é composta por 2 condutores de 500mm². Como já citado, a motivação do enterramento da rede foi o interesse da PMV em eliminar a poluição visual que os cabos e estruturas das redes aéreas anteriores causariam sobre a nova Ponte da Passagem.

A primeira etapa do projeto teve início em 2008 com a ampliação da Avenida Fernando Ferrari. Posteriormente, em 2012, houve a construção da ponte juntamente com a execução do projeto e instalação dos bancos de dutos para a passagem dos cabos sob a mesma. Isso possibilitou a execução da terceira etapa, que consistia no lançamento dos cabos isolados, iniciado logo após o término das obras em 2012. Todas essas etapas foram financiadas pela PMV.

O planejamento da rede foi feito mantendo-se a capacidade dos circuitos de 15 kV e 34,5 kV existentes e com previsão, se necessário, do lançamento futuro de mais dois alimentadores de 15 kV. O dimensionamento dos condutores foi feito pela Prysmian Cabos e Sistemas, a partir dos dados fornecidos pela concessionária EDP Escelsa, que foram:

- Temperatura ambiente (30°C);
- Número de cabos (12);
- Número de cabos diferentes (2);
- Resistência térmica do solo (1,2 °C.m/W);
- Frequência fundamental de operação (60 Hz);
- Altura e comprimento do banco de dutos (1,05 e 1,4 metros, respectivamente);
- Distância do solo até o centro do banco de dutos (0,7 metros);
- Resistência térmica do banco de dutos (1 °C.m/W);

- Corrente de projeto dos condutores (343 e 227 Ampères);
- Fator de carregamento dos condutores (1).

O software utilizado fornece, utilizando métodos iterativos para o cálculo, o resultado (34,5 kV e 15 kV, respectivamente):

- Secção do condutor e neutro (630 e 500 mm²);
- Material (cobre);
- Revestimento (polietileno - PE);
- Diâmetro interno e externo dos dutos (0,15240 e 0,17240 metros);
- Temperatura de operação (variável para cada cabo, no máximo 90°C);
- Resistência por metro do cabo, em CA e CC (variável para cada cabo);
- Perdas totais nos cabos (em W/m, variável para cada cabo).

Com a engenharia básica do projeto pronta, passou para a etapa elaboração do projeto executivo. Para caracterizar um problema prático, a explicação de projeto executivo fará referência à rede subterrânea de Bento Ferreira. Seu projeto foi elaborado por uma empresa terceirizada, a Petra Engenharia, que ficou responsável por fornecer o detalhamento do projeto e das etapas de execução. Segundo informações dos participantes dessa etapa, foram identificadas as dificuldades encontradas na mesma. Para o detalhamento da rede, é preciso saber a real localização dos demais dutos presentes na avenida. Na época, os dutos de telecomunicações não estavam corretamente identificados no documento *As built* das empresas responsáveis por eles, de modo que a situação constada em projeto divergia da real situação em campo. Essa diferença exigiu que a equipe da empresa terceirizada fizesse um levantamento de campo, com a pretensão de identificar a real localização desses dutos. Só assim seria possível definir a localização das caixas de passagens da rede de distribuição subterrânea. A divergência encontrada entre os projetos e a situação real não era algo esperado, o que demandou mais trabalho e, conseqüentemente, um aumento do custo do projeto executivo.

No caso da Av. Fernando Ferrari, o projeto executivo não apresentou os mesmos problemas que o de Bento Ferreira. O projeto executivo foi planejado por outra terceirizada, e as obras

foram finalizadas em 2012 por equipes da própria EDP Escelsa, possibilitando a realização do lançamento dos cabos subterrâneos.

Os cabos tinham sido lançados, mas ainda restavam algumas etapas para o término da execução do projeto como a instalação das muflas nos pontos onde os cabos subterrâneos eram conectados aos cabos aéreos em postes de concreto, voltando a ser rede aérea. Nesse processo de finalização, as tampas das caixas de passagem foram danificadas, abertas e os cabos subterrâneos serrados e furtados. Essa situação não só impossibilitou o término da obra, como gerou novos custos.

Mediante ao problema, a equipe da EngCabos Serviços e Manutenção, empresa de prestação de serviços em média e alta tensão com sede na cidade de Ribeirão Pires (SP), foi contratada para reparar a rede. Para que o reparo fosse executado, foi necessário um novo levantamento de campo para identificação das caixas onde os cabos encontravam-se danificados, e a partir desse ponto, identificar quais as partes dos cabos poderiam ser reutilizadas. Nesse processo, foi traçada uma estratégia de novos lançamentos de cabos para que as emendas pudessem ser produzidas. A seguir, será abordado como é feita a emenda dos cabos, utilizando registros fotográficos e conhecimentos adquiridos com o acompanhamento do trabalho da equipe da EngCabos.

7.1 Processo de emenda em cabos unipolares

Para iniciar o processo de emenda dos cabos, os mesmos devem estar devidamente lançados nos eletrodutos com a folga suficiente para o procedimento. O tipo de emenda utilizado, e que será apresentado neste tópico, é a contrátil a frio. O material para a emenda dos cabos na Av. Fernando Ferrari foi da marca 3M, e a explicação deste “tópico” foi baseada na experiência prática adquirida durante o acompanhamento do reparo da rede.

A preparação do cabo consiste na remoção de parte da capa, da blindagem metálica, da camada semicondutora externa e da isolação na extremidade do cabo, respectivamente. Os trechos expostos são mostrados na Figura 18.

Figura 18 – Cabos isolados preparados para emenda



Fonte: Produção do próprio autor.

Pode-se observar que as distâncias do condutor, do isolante e da camada semicondutora exposta têm um valor padronizado para a emenda, e ela é fornecida pelo manual de instalação do cabo de acordo com as suas dimensões (cobertura, isolação e secção) e do conector utilizado (diâmetro e comprimento). Para o condutor, a distância exposta deve ser igual ao comprimento do conector terminal a ser utilizado. Para a isolação, 19 centímetros e para a camada semicondutora, 45 milímetros.

Inicialmente, remove-se a capa externa do cabo, conforme Figura 19. Em seguida, dobra-se a blindagem de cobre por cima da cobertura externa do cabo, conforme Figura 20, e cortam-se os fios, envolvendo suas extremidades com duas camadas de fita isolante.

Figura 19 – Retirada da capa externa do cabo



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 20 – Dobra efetuada na blindagem do cabo



Fonte: Produção do próprio autor.

Retira-se parte da camada semicondutora, deixando a mostra parte da camada isolante, conforme Figura 21. Mais próximo da extremidade do cabo retira-se parte da camada isolante, deixando a mostra parte do condutor conforme Figura 22.

Figura 21 – Cabo após a retirada da camada semicondutora



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 22 – Retirada de parte da camada isolante



Fonte: Produção do próprio autor.

Com as extremidades dos cabos preparadas, é necessário que seja inserido os tubos de proteção de diâmetro menor e diâmetro maior e a meia metálica de cobre estanhada antes que seja feita a conexão dos condutores. Na Figura 23, pode-se observar os tubos de proteção. A meia metálica foi inserida no outro cabo que foi emendado. O conector de liga de alumínio tem a função de conectar cabos de alumínio ou cobre e ele é inserido logo após a preparação anterior, conforme Figura 24, e sua fixação é feita com o uso do alicate de compressão, conforme Figura 25.

Figura 23 – Tubos de proteção inseridos no cabo



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 24 – Conector ajustado nos condutores



Fonte: Produção do próprio autor.

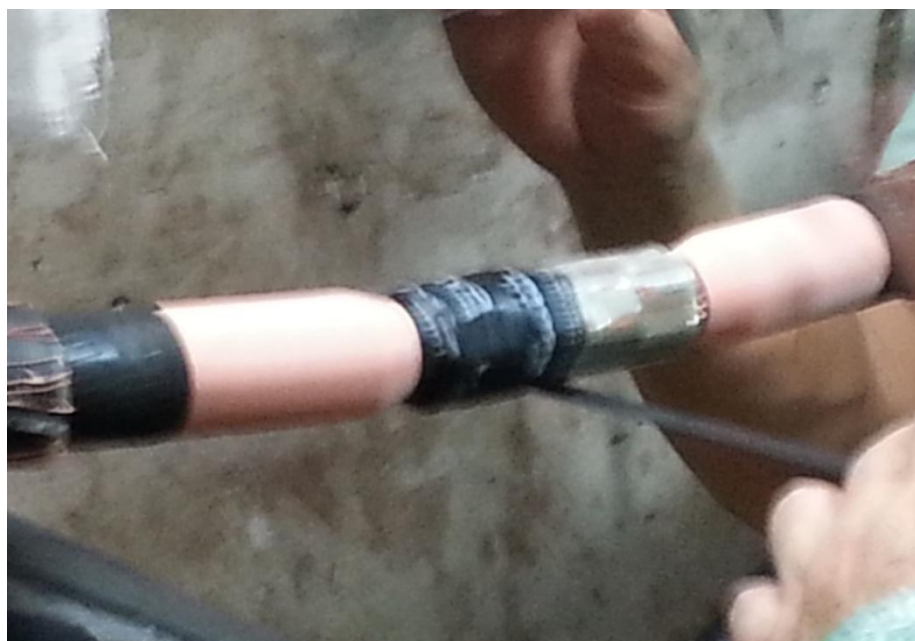
Figura 25 – Utilização do alicate de pressão para fixação do conector



Fonte: Produção do próprio autor.

É feita uma limpeza da isolação e do conector com uma lixa especial para retirar os resíduos semicondutores presentes. Como mostra a Figura 26, são adicionadas camadas de fitas semicondutoras para preencher toda a região exposta do condutor e conector, até sobrepor a isolação do cabo (no mínimo o mesmo diâmetro, ou então 15mm a mais). É adicionado um lubrificante nas isolações e na camada semicondutora dos cabos e região do conector (onde foi preenchido com a fita semicondutora).

Figura 26 – Aplicação da fita semicondutora



Fonte: Produção do próprio autor.

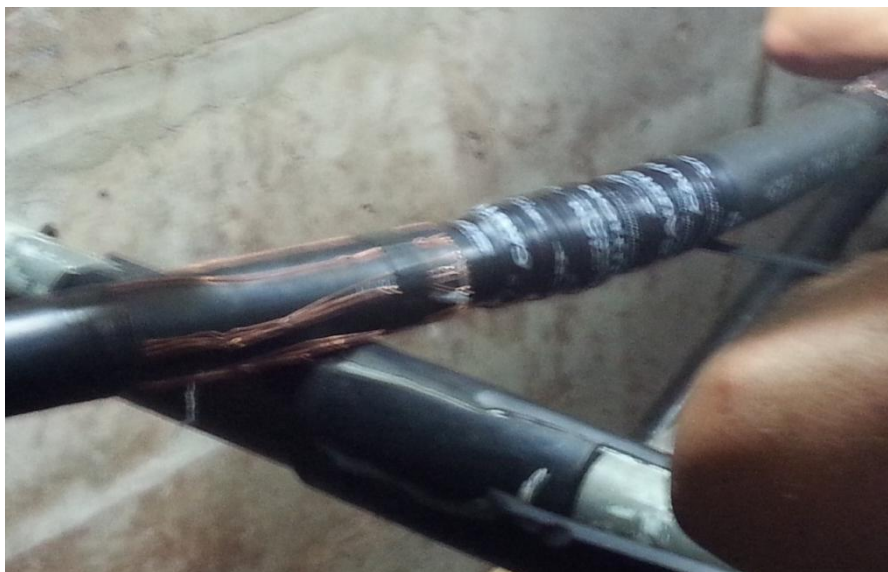
Posiciona-se o tubo isolador contrátil a frio, como mostra a Figura 27, mantendo sua extremidade sobre parte da camada semicondutora do cabo. Os vãos entre o corpo da emenda e a cobertura dos cabos são preenchidos com a fita semicondutora, conforme Figura 28. A fita deve alcançar a espessura da cobertura dos cabos.

Figura 27 – Aplicação do tubo isolador



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 28 – Aplicação da fita semicondutora no vão entre a cobertura externa e a isolamento



Fonte: Produção do próprio autor.

A meia metálica é deslocada sobre o corpo da emenda e interliga-se com a blindagem do cabo através das molas de aço de pressão constante, vide Figura 29. Essa mola é coberta com fita isolante, e a fita semicondutora novamente é aplicada sobre as extremidades, cobrindo parte da capa externa do cabo e da fita isolante sobre a mola, conforme Figura 30. Para finalizar a emenda é instalada a cobertura externa sobre a fita semicondutora presente dos dois lados dos cabos, como mostra a Figura 31.

Figura 29 – Ajuste da meia metálica sobre a mola de aço



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 30 – Aplicação de fita isolante sobre as molas de aço



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 31 – Aplicação da camada externa sobre a meia metálica



Fonte: Produção do próprio autor.

8 CONCLUSÃO

A grande frequência de falhas no sistema elétrico brasileiro é motivo de preocupação para o setor elétrico. As concessionárias de distribuição têm uma preocupação constante em promover a melhoria da qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica e no caso da EDP Escelsa criou-se uma política de estímulo para a redução dos índices DEC e FEC globais da concessionária, visando atender às exigências da ANEEL.

O problema é que, para reduzir esses índices, é preciso que haja investimento em redes confiáveis pelas concessionárias. Porém, falta incentivo e conscientização da própria ANEEL de que bons investimentos e obras bem planejadas garantem menor prejuízo futuro e maior qualidade de serviço ao longo dos anos, ainda que haja um maior custo inicial. A privatização das empresas afetou o volume de investimento nessas obras de maior confiabilidade e custo. Isso porque a quantia investida deve respeitar um Planejamento Orçamentário Anual (POA), que leva em consideração a rede que apresenta menor custo e condições mínimas de confiabilidade (as aéreas). Portanto, a escolha de uma opção de rede que propõe melhores índices de operação não justificaria o pedido de reajuste tarifário baseado neste seu custo, o que implicaria em um reembolso inadequado, gerando um balanço negativo para a concessionária. Ou seja, investir em redes subterrâneas seria financeiramente inviável.

Como pôde ser visto neste trabalho, a implantação das redes de distribuição subterrâneas melhora de forma notável a qualidade do serviço. No caso da EDP Escelsa, se fossem analisados os índices de DEC e FEC dos blocos consumidores atendidos por essas redes com trechos enterrados, não seria possível perceber a redução dos indicadores DEC e FEC em comparação aos blocos atendidos por redes puramente aéreas. Isso porque a distância de redes subterrâneas existentes é muito pequena em relação a distância de redes aéreas existentes, sendo assim inexpressiva na contabilização do FEC. Porém, o fato de que nos trechos subterrâneos não ocorreu nenhuma falta comprova a confiabilidade desse tipo de rede de modo que, se as redes fossem puramente subterrâneas, essa situação poderia ser estendida aos blocos consumidores.

Os estudos mostram que com o passar do tempo e com a evolução das tecnologias empregadas neste tipo de rede, o custo de sua implantação foi amplamente reduzido. A

vantagem de sua utilização pode ser observada em uma combinação de fatores, como menor custo de manutenção, maiores níveis de confiabilidade, maior espaço disponível na ausência de postes, segurança e outros que, no final, representarão um bom faturamento para a concessionária e uma excelente qualidade de serviço para o consumidor.

Em última análise, fica evidente a necessidade de melhoria da qualidade de fornecimento de energia pelas concessionárias, e a real dificuldade de investir largamente em soluções para essa melhora. É preciso criar mais incentivos e investimentos em estudos que tornem essas tecnologias mais acessíveis e mais baratas, pois só assim seria capaz de reestruturar o setor de distribuição com a intenção de reduzir, ao máximo possível, os índices de falhas e faltas as quais o sistema de distribuição está sujeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica nº 0075/2011-SRD/ANEEL**. 2011, 14 p. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica_0075_DANIEL_SRD.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo2_Revisao_4-Final.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Redes de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 27 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6251: Cabos de potência com isolamento sólido extrudado para tensões de 1 kV a 35 kV – Requisitos construtivos**. Rio de Janeiro, 2012.

BARTNIKAS, R.; SRIVASTAVA, K. D. **Power and Communication Cables – Theory and Applications**. New York: McGraw-Hill, 2000.

BRESSAN, B. N. **Desenvolvimento de Sistema e Metodologia Para Avaliar a Influência da Temperatura em Medidas de Tensão de Retorno em Cabos Isolados em XLPE**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/133.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2014.

BRUNHEROTTO, P. A.; OLIVEIRA, J. J. S. Redes subterrâneas no mundo- histórias e números. **O setor elétrico**, Santa Cecília, SP, v. 84, n. 1, p. 36-39, jan. 2013. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed84_fasc_redes_subterranea_s_cap1.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2014.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Manual de Distribuição: Projetos de Redes de Distribuição Aéreas Urbanas**. 2005, 124 p. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/nd3_1_000001p.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2014.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Utilização e aplicação de redes de distribuição subterrâneas:** guia para os municípios e empreendedores. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/redesub/apresentacao.html>>. Acesso em: 27 ago. 2014.

EDP ESCELSA. **Construção civil para rede de distribuição subterrânea.** 2009, 80 p. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/tecnicas/padrao-e-especificacoes-tecnicas/Documents/pt0001.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2014.

EDP ESCELSA. **Projeto e construção de rede de distribuição subterrânea.** 2012, 50 p. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/tecnicas/padrao-e-especificacoes-tecnicas/Documents/ES.PN.03.09.0001%20-%20Projeto%20e%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20de%20Rede%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20Subterr%C3%A2nea.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

EDP ESCELSA. **Redes de distribuição aérea protegida compacta (rede compacta – spacercable).** 2009, 103 p. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/tecnicas/padroes-e-especificacoes-tecnicas/Documents/PT.PN.03.13.0003.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2014.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Construção de Linhas de Transmissão:** Noções de Projeto e Construção. Rio de Janeiro; 2009, 107 p.

GOEKING, WERUSKA. **Fios e cabos:** condutores da evolução humana. **O setor elétrico,** Santa Cecília, SP, v. 47, p. 50-57, dez. 2009. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/revista-eletronica/book/5-dezembro2009/2-2009.html>>. Acesso em: 31 ago. 2014.

GOMES, M. M. **Borracha Etileno-Propileno-Dieno (EDPM).** [20--?]. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-epdm.php>>. Acesso em: 31 ago. 2014.

JUNIOR, N. B. Projeto de P&D: “Alternativas para viabilização da implementação de redes subterrâneas no Brasil”. In: SEMINÁRIO SISTEMAS SUBTERRÂNEOS DE DISTRIBUIÇÃO: ASPECTOS REGULATÓRIOS, 1., 2013, Brasília. **Palestra...** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Palestra_3_AES%20Eletropaulo.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2014.

LIMA, M. G. de. **Apostila de construção de redes de distribuição**. Cedro, 2011, 52 p. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/moisegomeslima/construo-de-redes-de-distribuio>>. Acesso em: 27 ago. 2014.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

NAKAGUISHI, M. I.; HERMES, P. D. **Estudo comparativo técnico/financeiro para implantação de redes de distribuição subterrâneas**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/199.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2014.

PAULA, J. J. A. de. **Cabos de média tensão – processos de isolamento**. 2009. Disponível em: <http://www.jicable.org/Other_Events/cabos09/content/Cabos'09%20P1.3.P.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2014.

SEGATTO, A. G. **Estudo e projeto de rede elétrica compacta protegida**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008. Disponível em: <http://www2.ele.ufes.br/~projgrad/documentos/PG2006_2/adelaynegrippasegatto.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2014.

TEIXEIRA JR, M. D. da R. **Cabos de energia**. 2. ed. São Paulo: ArtLiber Editora, 2004.

VELASCO, G.D.N. **Arborização Viária x Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Avaliação dos Custos, Estudo das Podas e Levantamento de Problemas Fitotécnicos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-10092003-152108/pt-br.php>>. Acesso em: 28 ago. 2014.