



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS



**FACULDADE DE ENGENHARIA CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE ENERGIA**

ABDIMAR MORENO (RGA – 200906140016)

**REPOTENCIALIZAÇÃO DE REDES AÉREAS RURAIS E URBANAS:
ESTUDO DE CASO EM UMA PROPRIEDADE RURAL DE
DOURADOS-MS**

**Dourados
2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS



**FACULDADE DE ENGENHARIA CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE ENERGIA**

ABDIMAR MORENO (RGA – 200906140016)

**REPOTENCIALIZAÇÃO DE REDES AÉREAS RURAIS E URBANAS:
ESTUDO DE CASO EM UMA PROPRIEDADE RURAL DE
DOURADOS-MS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Etienne Biasotto.

**Dourados
2014**

ABDIMAR MORENO

**REPOTENCIALIZAÇÃO DE REDES AÉREAS RURAIS E URBANAS:
ESTUDO DE CASO EM UMA PROPRIEDADE RURAL DE
DOURADOS-MS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia na Universidade Federal da Grande Dourados

Aprovado: _____/_____/2014

Examinador (a): _____

Dr. Aureo Cezar de Lima
Faculdade de Engenharia

Examinador (a): _____

Msc. Gerson Bessa Gibelli
Faculdade de Engenharia

Professor (a) Orientador (a): _____

Dr. Etienne Biasotto
Faculdade de Engenharia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à meus pais Abdias e Maria e aos meus irmãos Edinei e Francielli.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me proporcionado a vida, sabedoria, paz e ter iluminado meus passos sempre em direção a um caminho de esforços, mas de recompensas como esta.

Agradeço eternamente aos meus pais, Abdias e Maria, pelo incentivo, dedicação, paciência, compreensão, pelos momentos de força, de união, de amor, pelo reconhecimento de minha luta e perseverança em toda a minha vida pessoal.

Ao orientador professor Dr. Etienne Biasotto, agradeço pela confiança, credibilidade e esperança depositada em mim, pelo seu interesse em realizar este trabalho, pela dedicação, atenção e compreensão nos momentos de maior ansiedade e questionamento durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Cooperativa de Energização e Desenvolvimento Rural da Grande Dourados (CERGRAND), que muito contribuiu para a realização deste trabalho, disponibilizando equipamentos e pessoal para execução de várias atividades no decorrer do projeto.

E, finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, tenham contribuído para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A energia elétrica é um dos principais recursos no desenvolvimento de uma sociedade, tendo a intensidade de sua utilização como um ponto que reflete o desenvolvimento de uma região ou país. Dado a importância da energia elétrica, e sabendo que a sua geração, de modo geral, não ocorre junto ao ponto de consumo, surge a necessidade de um sistema que estabeleça uma conexão confiável entre estes dois pontos, o que pode ser conseguido por meio de redes de distribuição aéreas. Com isso, neste trabalho será apresentado um estudo sobre redes de distribuição de energia elétrica aéreas de média e baixa tensão, voltado para a elaboração de projetos destes sistemas. Em razão de grande parte do fornecimento de energia elétrica ser feito por meio de redes de distribuição aéreas, será detalhado ao longo do trabalho os procedimentos de dimensionamento destas redes para promover o acesso à energia elétrica e/ou melhorar o fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais. Ao final para melhor compreensão da metodologia, apresentada, foi elaborado um projeto de melhoramento do fornecimento de energia elétrica a um consumidor localizado no município de Dourados-MS. Para isso foi proposto a substituição de uma Rede de Distribuição Rural de baixa tensão (220/127V) bifásica, por uma Rede de Distribuição de Energia Elétrica Rural, em média tensão (13,8 kV), com um Posto de Transformação de 30 kVA trifásico, tensão 13.800/220/127V. Com este trabalho pode-se perceber que além do conhecimento teórico dos sistemas elétricos de potência e de estruturas, também é de suma importância a experiência do projetista, sobretudo nas etapas iniciais de levantamento de dados do local a ser instalada a rede de distribuição, uma vez que uma falha nesta etapa pode prejudicar a qualidade do sistema e até mesmo inviabilizar o fornecimento de energia ao consumidor final.

Palavras-chave: Sistemas de distribuição, eletrificação rural e urbana, proteção dos sistemas de distribuição.

ABSTRACT

Electrical energy is one of the main resources in the development of a society, which has the intensity of its usage as a point that reflects the development of a region or country. Given the importance of electricity, and knowing that its generation, in general, will not happen at the consumption point, appears the necessity of a system that will establish a trustworthy connection between these two points, which can be achieved through above the ground grid lines. With that said, a study about medium and low voltage electrical energy grid lines will be presented in this paper, focused in the elaboration of projects for this kind of system. Since big part of electricity distribution is done by an overhead transmission system, the procedures required to dimension an overhead grid system will be detailed in this paper, in order to provide the access to electrical energy and improve the distribution system to the final consumer. Finally, to better comprehend the given methodology, a project was elaborated to improve the distribution of electricity to a consumer located in Dourados-MS. In order for that to happen, it was suggested the substitution of a byphasic Rural Distribution Line of lower voltage (220/127V), to a Rural Electrical Energy Distribution Line, of medium voltage (13.8 kV), with a triphasic Converter Point of 30 kVA, voltage 13,800/220/127V. In this paper, it is possible to realize the importance of theoretical knowledge of power grid systems and its structures, also the experience of the project manager is very important, especially during the first stage of the project, when data of the location where the distribution system is going to be installed is being acquired, since one simple mistake in this process might prejudice the quality of the system or even prevent the power supply to the consumer.

Keywords: Distribution systems, rural and urban electrification, protection of distribution systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Rede primária aérea radial simples.	26
Figura 2 – Rede primária radial com recurso.	26
Figura 3 - Classificação estrutural das redes convencionais.	28
Figura 4- Classificação estrutural das redes tipo pilar.....	29
Figura 5 – Conjunto principal para redes compactas	31
Figura 6 – Rede de distribuição aérea compacta.	31
Figura 7 – Esquema básico da proteção de sobrecorrente da saída de um alimentador primário radial.	36
Figura 8 – Chave religadora.	39
Figura 9 – Esquema de funcionamento da chave religadora.	39
Figura 10 - Seccionamento e aterramento de cercas	54
Figura 11 - Distâncias mínimas entre o condutor e o solo (valores em milímetro).	57
Figura 12 – Afastamentos mínimos das estruturas (valores em milímetro).	58
Figura 13 – Representação do engastamento em postes.....	59
Figura 14 - Dados elétricos do sistema de fornecimento de energia elétrica existente	62
Figura 15 – Características visuais do lado de derivação da rede a ser projetada.	65
Figura 16 – Características visuais do lado do posto de transformação da rede a ser projetada.	66
Figura 17 – Levantamento topográfico do local de passagem da rede de distribuição.	66
Figura 18 - Dados elétricos da rede projetada	68

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANSI – American National Standards Institute

AT – Alta Tensão

AWG – Escala americana normalizada (American Wire Gauge)

BT – Baixa Tensão

CA – Condutor de Alumínio sem Alma

CAA – Condutor de Alumínio com Alma

CEMING – Companhia de Energia de Minas Gerais

CERGRAND – Cooperativa de Energização e Desenvolvimento Rural da Grande Dourados

COPEL – Companhia Paranaense de Energia

ENERSUL – Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A

EPR – Composto Termofixo de Borracha Etilenopropileno

MRT – Sistema Monofilar com Retorno por Terra

MT – Média Tensão

NA – Normalmente Aberta

NBI – Níveis Básicos de Isolação

NBR – Norma Brasileira

NF – Normalmente Fechada

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PVC – Composto Termoplástico de Policloreto de Vinila

TCs – Transformadores de Corrente

TDE – Técnica de Distribuição de Energia

XLPE – Composto Termofixo de Polietileno Reticulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Objetivo.....	20
1.1.1 Objetivos Específicos	20
1.1 Organização do Trabalho	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 A Importância da Energia Elétrica e sua Universalização	23
2.2 Sistema de Distribuição de Energia Elétrica	25
2.2.1 Redes de Distribuição Primária	25
2.2.2 Redes de Distribuição Secundária	27
2.3 Classificação Estrutural das Redes de Distribuição Aéreas	27
2.3.1 Redes Convencionais com Cruzeta e do Tipo Pilar	28
2.3.2 Redes Aéreas Compactas	30
2.4 Sistema de Proteção.....	32
2.4.1 Chaves-fusíveis.....	33
2.4.1.1 Funcionamento das Chaves-fusíveis	34
2.4.1.2 Elos-fusíveis	34
2.4.2 Seccionalizadores	35
2.4.3 Relé.....	35
2.4.4 Religadores e chaves religadoras.....	37
2.4.5 Para-raios	40
3 METODOLOGIA.....	41
3.1 Elaboração de Projetos de Redes Elétricas Aéreas de Média e Baixa Tensão	41
3.1.1 Dimensionamento dos Condutores.....	45
3.1.2 Proteção Contra Sobrecorrente e Sobretensão.....	48

3.1.3 Eletroduto	51
3.1.4 Aterramento.....	53
3.1.5 Dimensionamento das estruturas.....	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1 Dimensionamentos da Rede de Distribuição de Energia Elétrica.....	67
4.1.1 Dimensionamento dos Condutores e dos Sistemas de Proteção no Lado de Média Tensão (13,8 kV).....	67
4.1.2 Dimensionamento dos Condutores e do Sistema de Proteção no Lado de Baixa Tensão (220/127V).....	69
4.1.3 Determinação do Diâmetro do Eletroduto	72
4.2 Sistema de Aterramento	73
4.3 Dimensionamentos Mecânicos.....	74
4.3.1 Calculo da Tração dos Condutores.....	74
4.3.2 Cálculo da Altura e Tração dos Postes.....	74
4.4 Relação de Materiais	77
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
5.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXO 1	87

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica tornou-se a principal fonte de luz, calor e força utilizada no mundo moderno. Atualmente, além dessas funções, dependem da energia elétrica as atividades de informática e telecomunicações que são a base para a expansão do setor industrial e para o setor de serviço (FAGUNDES; ALMEIDA; LEAL, 2004). Com isso o pleno suprimento de energia a todos os cidadãos tornou-se um fator indispensável ao bem-estar social e ao desenvolvimento econômico do país, além de assegurar a busca pelo desenvolvimento sustentável. No entanto, pelo fato de normalmente a geração de energia elétrica não ocorrer no local de consumo, para ter o acesso à eletricidade torna-se necessário transportá-la até aos consumidores. Isso é conseguido por meio das redes de transmissão de energia.

Inicialmente, a geração e o transporte de energia nas redes elétricas eram realizados somente em corrente contínua, a partir de pequenas centrais dispersas entre os consumidores, com pouca segurança no fornecimento. Posteriormente, os geradores e as linhas de transmissões foram substituídos por sistemas operando em corrente alternada, o que permitiu o uso de transformadores e tornou possível a elevação e o rebaixamento da tensão das redes de distribuição. Com a facilidade na alteração do nível de tensão das linhas, o transporte da eletricidade à grandes distâncias e a interconexão das redes se tornaram possíveis, aumentando a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica e diminuindo as perdas na transmissão (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).

A eletricidade é uma das principais formas de energia e, por não ser gerada próxima aos locais de consumo, as redes de transmissão e de distribuição desempenham um papel de suma importância, exigindo deste sistema um grau de confiabilidade elevado. Com isso, a realização de projetos de redes elétricas, deve ser feita de forma responsável, considerando todos os fatores que afetam a confiabilidade do fornecimento de energia, assegurando a melhor integração entre os componentes utilizados (componentes estruturais, condutores elétricos, sistemas de proteção, aterramento, etc.), de forma a garantir a qualidade do fornecimento de energia com mínimo de perdas e menor custo (GALVÃO, 2010). No entanto, em razão da demanda dos consumidores estar em constante crescimento, e pelas cargas elétricas estarem cada vez mais sensíveis aos distúrbios de qualidade do fornecimento de energia, além de promover o acesso à energia ao consumidor é necessário que se realize manutenções periódicas ao sistema, e melhorias que permitem atender a demanda dos pontos de consumo com qualidade.

De acordo com as normas técnicas TDE-107 (2013) e TDE-108 (2013), ao realizar projetos de redes elétricas aéreas de média e baixa tensão, deve ser feito o levantamento das características físicas do local a ser instalada a rede, estabelecendo os pontos de instalação das estruturas da rede, considerando os possíveis obstáculos. Assim, determina-se a demanda de energia a ser atendida pela rede, considerando um fator de crescimento de acordo com as características do local. Posteriormente, com base nos critérios definidos nas normas mencionadas, inclusive a TDE-101 (2014), são definidas as características do sistema de alimentação, transformação e proteção da rede projetada, procurando garantir a segurança e a qualidade do fornecimento de energia ao consumidor.

Quando um consumidor apresenta um aumento significativo da carga, aproximando-se dos limites de operação dos equipamentos instalados, para garantir o fornecimento de energia elétrica com segurança e qualidade é necessário elaborar um planejamento do sistema elétrico de distribuição, com a avaliação do sistema existente e a elaboração de um novo projeto, que pode envolver a construção ou ampliação de subestações, instalação e recondutoramento de alimentadores, substituição de estruturas, entre outras ações, conforme os padrões normatizados já mencionados.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é elaborar um projeto para melhorar o fornecimento de energia, a um consumidor rural localizado no município de Dourados/MS, sendo proposta a substituição de uma rede de distribuição de energia elétrica bifásica em baixa tensão (220/127 V), por uma rede de distribuição em média tensão com posto de transformação trifásico (13800/220/127 V).

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos relacionados ao presente trabalho são:

- Elaborar uma revisão na literatura sobre os assuntos pertinentes a projetos de redes de distribuição de energia elétrica aérea, em média e baixa tensão;
- Avaliar as características da rede de distribuição existente no local em estudo;
- Realizar o levantamento das características do ponto de consumo;
- Redimensionar, a rede de distribuição, de acordo com as características do ponto de consumo, avaliando as alterações necessárias;

- Elaborar o projeto da rede de distribuição aérea, com as estruturas físicas e elétricas, de acordo com os padrões de projetos de redes de distribuição.

1.1 Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos.

O primeiro capítulo refere-se à introdução do trabalho e contempla o tema apresentando as justificativas e motivações, bem como os objetivos gerais e específicos do trabalho.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, referente aos assuntos pertinentes ao tema, enfatizando as características dos sistemas de distribuição de energia elétrica aéreos, em média e baixa tensão, pertinentes para a elaboração de projetos de redes de distribuição.

Na sequência, o terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada para elaboração do projeto da rede de distribuição aérea, além de apresentar tabelas com valores padronizados pertinentes para o desenvolvimento do projeto.

Com base nos parâmetros apresentados no terceiro capítulo, no quarto capítulo é apresentado um estudo de caso de melhoria do fornecimento de energia elétrica a um consumidor.

No quinto capítulo são expostos os aspectos conclusivos em relação ao estudo realizado no trabalho, seguido pelas referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O acesso à energia elétrica tornou-se indispensável no avanço das atividades humanas e para melhoria da qualidade de vida de uma sociedade. Atualmente a energia elétrica é um elemento essencial para diversos ramos econômicos e cumpre um papel crucial na chamada sociedade da informação. Somente através do acesso à energia é possível o uso de bens de consumo de elevado grau de desenvolvimento tecnológico, tornando-se indispensável para o pleno desenvolvimento humano.

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica relacionada à importância da energia elétrica e os aspectos necessários para o conhecimento e a realização de projetos de distribuição de energia elétrica.

2.1 A Importância da Energia Elétrica e sua Universalização

De acordo com Pereira et al. (2005), para que um cidadão tenha o bem estar social e o país se desenvolva economicamente, é importante o fornecimento de energia elétrica, sendo que grande parte das diferenças socioeconômicas existentes em comunidades afastadas, como o caso das comunidades rurais, são em razão da ineficiência ao acesso à energia elétrica. Além disso, é comum observar nestes locais, sistemas de geração e uso de energia ultrapassados, o que dificulta o progresso do local.

Segundo Velásquez et al (2006) o acesso à energia elétrica contribui para que ocorra o desenvolvimento econômico sustentável, ressaltando que a falta de acesso à energia elétrica contribui significativamente para a ocorrência de inúmeras intempéries sociais, principalmente a migração e a pobreza.

A energia elétrica deve, portanto, ser vista como um ativo econômico que permite a ampliação da capacidade produtiva, fator determinante para o desenvolvimento econômico e o aumento da qualidade de vida da população. Com isso, a energia elétrica tem um papel fundamental na transformação da situação de estagnação da sociedade. Em especial no meio rural, onde a falta do acesso de energia é ainda maior, esse serviço possibilita a inserção do produtor rural no mercado através do uso de técnicas mais eficazes de produção, permitindo o aumento da produção de alimentos, com qualidade e menor custo (NADAUD, 2012).

Em Mato Grosso do Sul, a eletrificação rural sempre apresentou dificuldades adicionais de execução, uma vez que a maior parte do território é formado por grandes propriedades utilizadas para a pecuária extensiva. Estas características geram dois obstáculos

ao desenvolvimento da eletrificação rural: as grandes propriedades se encontram bastante dispersas no território elevando expressivamente os custos, e a utilização da pecuária extensiva não exige prioritariamente a presença da energia elétrica (VICENTE, 2003).

Dessa forma, a construção da maior parte da malha de atendimento rural de energia elétrica sempre partiu de iniciativa particular, com poucos incentivos dos governos ou empresas. Normalmente o governo estadual participa de projetos que atendem grande número de propriedades, e a empresa responsável pelo fornecimento de energia elétrica constrói a parte do sistema de atendimento que poderia ser comum aos favorecidos, ficando boa parte da integração a esta rede comum por conta do proprietário rural.

Com a introdução da tecnologia do Sistema Monofilar com Retorno por Terra (MRT), caracterizada por apresentar simplificações em materiais, estruturas, dispositivos de proteção e propiciar grandes vãos entre postes, obteve-se redução significativa dos custos das redes aéreas, o que tem viabilizado a realização do fornecimento de energia a pequenos consumidores rurais. Além disso, no final da década de oitenta começaram a serem implantados programas mais específicos para a consolidação da eletrificação rural. Entre estes, vale destacar o Programa “Luz no Campo” que definiu a energia elétrica como um insumo fundamental para a consecução do desenvolvimento sustentável, visando o desenvolvimento das atividades produtivas e a melhoria da qualidade de vida das populações rurais, com o intuito de reduzir as desigualdades regionais (SILVA, 2006).

Outro programa implantado neste setor é o Luz para Todos, que foi legalmente instituído em novembro de 2003 pelo Decreto nº4873/2003 como Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, com o objetivo de propiciar até em 2008 o atendimento em energia elétrica à parcela da população do meio rural que ainda não dispunha deste serviço público.

Até agosto de 2008, cerca de 1,7 milhões de residências rurais foram beneficiadas pelo programa. Porém, as dificuldades de acesso, em regiões remotas, muito distante da rede elétrica e com uma baixa densidade populacional, impediu que as metas fossem atingidas, ficando sem acesso a energia cerca de 715 mil domicílios rurais. Diante do não cumprimento das metas, em abril de 2008 o governo promulgou o Decreto nº 6442/2008, alterando a data prevista para finalização da universalização para o ano de 2010 (LISBOA, 2013). Recentemente foi prorrogado até o ano de 2014, em caráter de uma nova política de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, sendo que até agora, 13,6 milhões de pessoas foram atendidas.

Outra opção utilizada para universalização do acesso à energia elétrica, principalmente áreas rurais de difícil acesso, é o processo de eletrificação descentralizada, por meio de fontes alternativas. Como exemplo têm-se os painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, cogeração usando biogás e geração através de biomassa vegetal que, quando operam em conjunto com grupos motor-gerador diesel ou outro combustível e dispositivos com boa eficiência, proporcionam confiabilidade, qualidade e segurança no fornecimento de energia elétrica (VICENTE, 2003). No entanto, não é objetivo deste trabalho, explorar os sistemas alternativos para o fornecimento de energia elétrica, e sim as redes de distribuição.

2.2 Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

Para Kagan, Robba e Oliveira (2005), usualmente o sistema de distribuição típico é definido como parte dos sistemas de potência que interligam a subestação abaixadora de distribuição aos pontos de consumo e podem ser divididos em duas partes:

- Rede primária que compreende a subestação de distribuição e os alimentadores primários. As subestações de distribuição podem ser alimentadas pelas linhas de subtransmissão ou pelas linhas de transmissão;
- Rede secundária que é formada pelos transformadores de distribuição, alimentadores secundários e ramais de serviço ou de ligação.

2.2.1 Redes de Distribuição Primária

As redes de distribuição primária derivam da subestação de distribuição, que atendem os consumidores primários e os transformadores de distribuição, os quais reduzem a tensão para redes secundárias aéreas ou subterrâneas de baixa tensão (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).

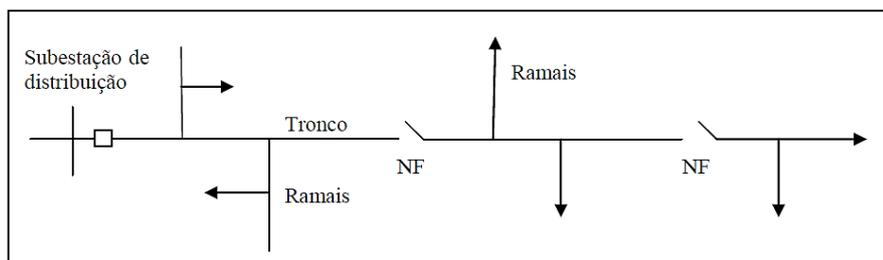
Os níveis de tensão de distribuição, destas redes, são assim classificados segundo os Procedimentos de Distribuição - PRODIST, (ANEEL, 2012):

- Alta tensão de distribuição (AT): tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV;
- Média tensão de distribuição (MT): tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 1 kV e inferior a 69 kV;
- Baixa tensão de distribuição (BT): tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1 kV.

As tensões de conexão padronizadas para AT e MT são: 138 kV (AT), 69 kV (AT), 34,5 kV (MT) e 13,8 kV (MT). O setor terciário, tais como hospitais, edifícios administrativos, pequenas indústrias, são os principais usuários da rede de média tensão (ANEEL, 2012).

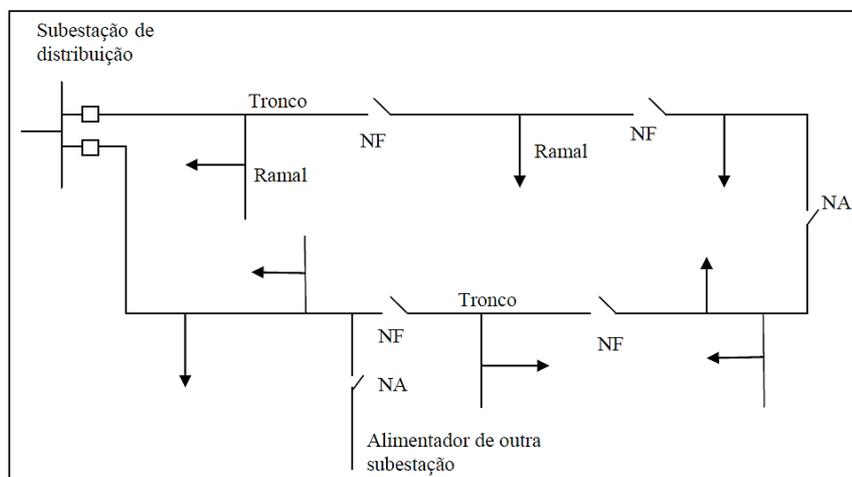
As redes de distribuição primária podem ser tanto aéreas quanto subterrâneas. Os arranjos mais utilizados para a rede área é o radial simples e o radial com recurso (interligação com outros alimentadores), sendo que a rede subterrânea pode ter arranjos do tipo primário radial, primário seletivo e primário em anel aberto (Figura 1e Figura 2) (LAMIM, 2009).

Figura 1– Rede primária aérea radial simples.



Fonte: LAMIM, (2009, p.17)

Figura 2 – Rede primária radial com recurso.



Fonte: LAMIM, (2009, p.17)

Segundo Lamim (2009), o sistema radial simples apresenta as seguintes características:

- Uma falta no alimentador principal (tronco) ou lateral (ramal) interrompe o suprimento de todos os consumidores conectados ao mesmo;
- É mais fácil controlar o nível de tensão e o nível de corrente do alimentador;
- Configuração mais barata comparada com as demais;

- As faltas podem ser minimizadas com a interligação com sistemas radiais mais próximos;
- Podem-se prever as falhas no sistema com maior facilidade.

O sistema radial simples é geralmente empregada em áreas rurais, principalmente por possuírem baixa densidade de carga, destino único e por atenderem consumidores pontuais. As redes radiais simples são as mais utilizadas nos sistemas de distribuição devido ao baixo custo de investimento e manutenção e a relativa facilidade de coordenação de sistemas de proteção, se comparada a outras configurações mais complexas (LIRA, 2011).

Já a rede radial com recurso é usualmente utilizada em áreas urbanas. Esta rede é diferenciada pelas seguintes características:

- Existência de interligação, com chaves normalmente aberta (NA) e normalmente fechadas (NF), entre alimentadores adjacentes da mesma ou de subestação diferentes;
- O alimentador é projetado de forma que exista uma reserva de capacidade de carga, em cada circuito, para absorção de carga de outro circuito em caso de necessidade de transferência de carga.

2.2.2 Redes de Distribuição Secundária

As redes secundárias fornecem energia elétrica aos consumidores finais em baixa tensão, representando o nível final na estrutura de um sistema de potência.

Nestas redes as faltas são menos frequentes e geralmente são eliminadas sem interrupções de grande importância no fornecimento de energia elétrica. Com isso, estas redes são mais confiáveis do que as redes primárias (LAMIM, 2009).

2.3 Classificação Estrutural das Redes de Distribuição Aéreas

Por questão econômica e de praticidade as redes aéreas tornam-se a principal forma de transmissão e distribuição de energia elétrica. Entre as principais formas de redes aéreas listam-se as mais utilizadas:

- redes convencionais de cruzetas e do tipo pilar;
- redes compactas.

Basicamente na construção das redes aéreas são utilizados, postes de concreto, podendo ser de duplo T ou circular, cruzetas de madeira ou de concreto e isoladores do tipo

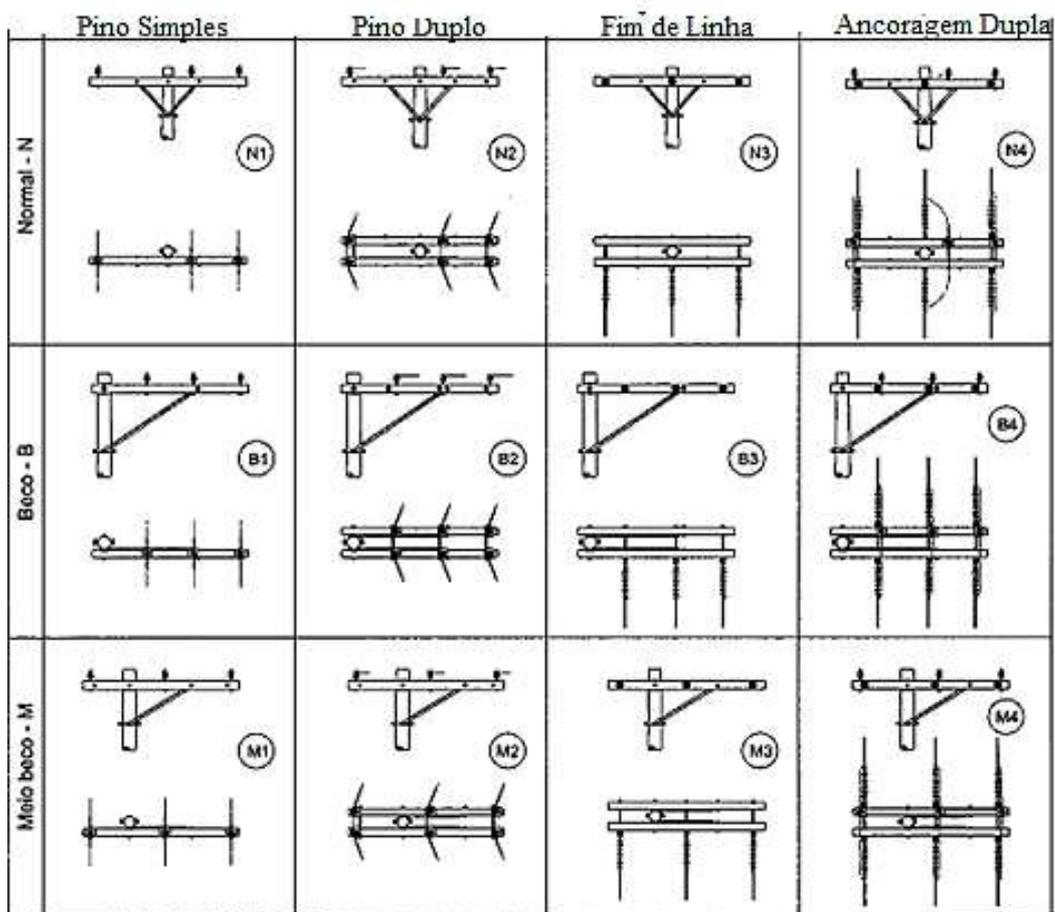
pilar, de suspensão e de roldana. Os condutores podem ser de alumínio com alma de aço (CAA), ou sem alma de aço (CA), cabos nus ou protegidos, podendo utilizar condutores de cobre em algumas situações (KAGAN; ROBBA; OLIVEIRA, 2005).

2.3.1 Redes Convencionais com Cruzeta e do Tipo Pilar

As redes convencionais aéreas são largamente utilizadas no Brasil, sendo caracterizadas por serem constituídas de condutores nus, apoiados sobre isoladores do tipo pilar porcelana ou poliméricos, fixados em cruzetas de madeiras ou de concreto nos circuitos de média tensão (primário) e em isoladores de roldana, distribuído verticalmente, nos circuitos de baixa tensão (secundário) (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

A montagem com cruzetas ocupa menos espaço verticalmente no poste, porém dificulta a montagem de mais de 1 circuito no mesmo nível. Suas montagens mais comuns são do tipo N (normal), M (meio-beco) e B (beco), esta última muito utilizada no afastamento de redes de construções e outros obstáculos em áreas urbanas (Figura 3).

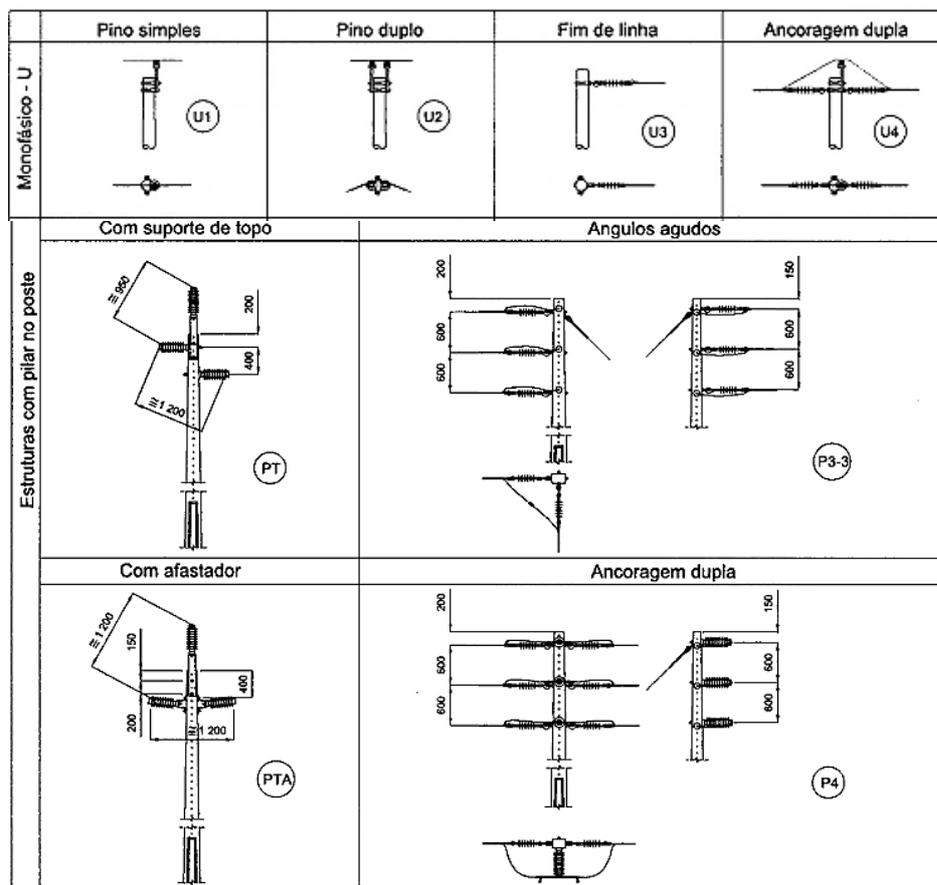
Figura 3 - Classificação estrutural das redes convencionais.



Fonte: NBR-15688 (2013)

Já as redes tipo pilar são redes convencionais que não utilizam cruzetas em sua montagem, nelas o isolador é fixado diretamente no poste, por meio de ferragens adequadas (parafuso, suporte e cinta). Devido ao menor número de materiais utilizados, a estrutura tipo pilar apresenta menor custo inicial, porém em áreas urbanas seu padrão dificulta a realização de serviços de manutenção que envolva equipamentos, como por exemplo, transformadores de distribuição (NAKAGUISHI & HERMES, 2011). Elas estão apresentadas na Figura 4 e são denominadas como monofásica tipo - U, com pilar no topo do poste (PT), com afastamento (PTA), com ângulo agudo (P3) e ancoragem aguda (P4). Este tipo de rede é aplicada em áreas menos urbanizadas, alimentadores expressos e áreas rurais.

Figura 4- Classificação estrutural das redes tipo pilar.



Fonte: NBR-15688 (2013)

A grande vantagem do uso das redes tipo pilar é que, por ser disposta na vertical, possibilita o uso dos dois lados dos postes e a montagem de circuitos duplos de forma simples.

Apesar de apresentarem um menor custo para implantação, as redes convencionais, na maioria das vezes, não apresentam boa confiabilidade devido às suas fragilidades em relação ao meio ambiente. Conforme suas características construtivas, esta topologia apresenta a necessidade de manutenção mais intensa, principalmente no que se refere às podas de árvores, o que eleva o custo de manutenção destas redes (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

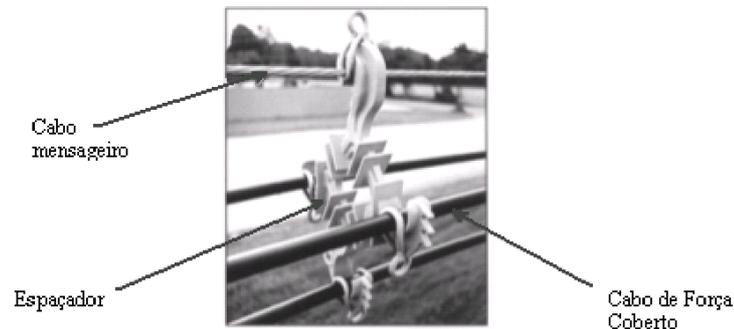
2.3.2 Redes Aéreas Compactas

As redes com cabos protegidos, chamadas de redes compactas, começaram a ser utilizadas devido à necessidade das concessionárias de distribuição alcançar um padrão de qualidade cada vez maior. Os estudos e a construção das primeiras redes compactas ocorreram no Estado de Minas Gerais, realizados pela CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais - em 1991. A partir de 1992, a COPEL – Companhia Paranaense de Energia, iniciou seus estudos e em 1994 foram instaladas as primeiras redes compactas protegidas, na cidade de Maringá, sendo que atualmente a cidade possui 100% de sua rede urbana no sistema compacto (ROCHA, et al. 2002).

As redes de distribuição compactas apresentam maior segurança às pessoas com relação ao choque elétrico. Isto ocorre devido ao menor número de pontos em contato com as estruturas que possam tornar-se perigosos em caso de contato direto ou indireto, principalmente pelos cabos estarem normalmente afastados dos postes. Isto é exatamente o contrário do que ocorre nas redes de distribuição convencionais, em que os cabos nus são apoiados sobre isoladores e com o rompimento acidental destes, todo o poste passa a ficar energizado.

Esta configuração de rede de distribuição aérea é utilizada preferencialmente em áreas com características urbanas densamente arborizadas, áreas com alto índice de vandalismo ou em áreas cujo ambiente seja agressivo. A rede primária compacta é constituída de três condutores cobertos por uma camada do Composto Termofixo de Polietileno Reticulado (XLPE), apoiados em espaçadores losangulares sustentados por cordoalha de fios de aço zincado (mensageiro) obtendo-se assim uma configuração compacta da rede de média tensão (Figura 5) (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007). Estas características buscam assegurar melhores condições técnicas e econômicas no fornecimento e na qualidade do serviço da distribuição de energia elétrica.

Figura 5 – Conjunto principal para redes compactas



Fonte: SEGATTO, (2008, p.15)

Nas redes secundárias, são utilizados cabos multiplexados ou pré-reunidos, autossustentados, constituído por condutores de alumínio com isolamento sólida de XLPE nas fases, dispostos helicoidalmente em torno de um condutor neutro de alumínio (Figura 6).

Figura 6 – Rede de distribuição aérea compacta.



Fonte: SEGATTO, (2008, p.15)

Os condutores possuem cobertura protetora que permite eventuais toques com galhos de árvores, dispostos de forma que o espaço destinado à sua passagem fique reduzido. Ainda, a disposição dos cabos reduz substancialmente a poda de árvores devido a diminuição da área a ser podada (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007). Porém, não devem ocorrer contatos permanentes das árvores na cobertura dos cabos a fim de se evitar abrasão localizada com conseqüente perfuração elétrica da cobertura, que fatalmente ocasionará a interrupção no fornecimento de energia elétrica e, em caso de persistência, incêndio na cobertura protetora do cabo.

As empresas distribuidoras de energia elétrica vêm empregando com sucesso e em grande escala as redes aérea compactas em diversas regiões do Brasil.

Segundo Segatto (2008), entre as vantagens alcançadas com a utilização desta rede, podem-se citar:

- Melhoria da confiabilidade do fornecimento de energia;
- Redução de impacto ao meio ambiente;
- Redução da faixa de servidão;
- Redução na queda de tensão;
- Melhor regulação de tensão;
- Maior facilidade na instalação;
- Redução de custo de operação e manutenção;
- Melhor relacionamento com entidades de controle, defesa e órgãos governamentais;
- Proporciona melhor imagem da concessionária, com reflexos em suas ações negociadas em bolsas de valores.

Apesar dos vários benefícios da rede aérea compacta, sob condições de multi-estressamento (estresse mecânico, elétrico, térmico e ambiental), apresenta alguns problemas característicos que podem comprometer seu desempenho, causando no sistema de proteção a perda dos requisitos mínimos de suportabilidade para continuidade de operação (SEGATTO, 2008).

Esses estresses são responsáveis pelo envelhecimento e degradação do sistema isolante, o qual é constituído por materiais poliméricos. O envelhecimento e a consequente degradação podem levar à perda dos requisitos mecânicos e elétricos mínimos para continuidade de operação do sistema. A perda dos requisitos mecânicos apresenta-se como: quebras, fraturas, redução de elasticidade da cobertura de cabos e seus acessórios, entre outras.

Do ponto de vista elétrico, tais falhas são visualizadas principalmente pelos efeitos de trilhamento elétrico que produzem a carbonização ou erosão do material polimérico, ou ainda, o que é mais grave, pela perfuração da cobertura dos cabos fase.

2.4 Sistema de Proteção

Em geral, os sistemas elétricos de distribuição de energia são protegidos contra sobrecorrentes (curtos-circuitos), sobretensões internas que são produzidas no ponto de consumo final, a partir de comutação de cargas, arcos elétricos, equipamento de soldadura,

equipamentos com tiristores, manobras de disjuntores e contadores, arranques de motores, entre outros, e sobretensões provenientes de descargas atmosféricas. A proteção contra curtos-circuitos é feita, basicamente, empregando-se fusíveis e relés que acionam disjuntores. Já para proteção contra sobretensões, basicamente são utilizados os para-raios (ALMEIDA, 2000).

2.4.1 Chaves-fusíveis

As chaves-fusíveis são dispositivos eletromecânicos amplamente utilizados na proteção em redes primária de distribuição de energia elétrica. A proteção se baseia na fusão de um elo fusível, quando o mesmo é percorrido por uma magnitude de corrente elétrica acima da nominal, dentro de um tempo determinado, conforme a sua característica de tempo em função da corrente. Segundo Almeida (2000), de acordo com sua aplicação as chaves-fusíveis são classificadas em dois tipos: distribuição e força.

- **Chaves-fusíveis de distribuição**

São identificadas pelas características inerentes aos sistemas de distribuição:

- ✓ Níveis Básicos de Isolação (NBI) de sistemas de distribuição (para a classe de tensão 15 kV: 95 ou 110 kV);
- ✓ Mecanicamente, são construídas para montagem em cruzetas.
- ✓ No Brasil, as mais comuns são: 11,4 kV, 13,2 kV, 13,8 kV (estas são consideradas da classe 15 kV) e 34,5 kV.

- **Chaves-fusíveis de força**

De modo geral são empregadas em subestações para proteção de barramentos, transformadores bancos de capacitores, e "bypass" de disjuntores. Possuem Níveis Básicos de Isolação (NBI) para classes de tensões mais elevadas (69 kV e 138 kV, por exemplo).

Geralmente as capacidades de interrupção são superiores às das chaves-fusíveis de distribuição. Mecanicamente, são construídas para montagens em estruturas de subestações.

De maneira geral as chaves-fusíveis empregadas até 25 kV são ditas de distribuição. Acima deste valor, são consideradas de força. Entretanto, essa regra não é rígida.

2.4.1.1 Funcionamento das Chaves-fusíveis

Ao circular sobrecorrente em uma chave-fusível, em razão do efeito térmico, o elemento fusível se funde, interrompendo o circuito. A alta temperatura do arco provoca a queima e a decomposição parcial do revestimento interno do cartucho, gerando gases que interrompem o arco no instante de corrente nula. A pressão dentro do cartucho aumenta em função dos incrementos de temperatura e a geração dos gases cria condições dentro do tubo que ajudam a desionizar o caminho do arco. A pressão exercida também ajuda a manter a condição de circuito aberto, uma vez que as partículas ionizadas forçam a abertura das extremidades do cartucho, sendo expelidas em seguida (GIGUER, 1988).

2.4.1.2 Elos-fusíveis

Os elos-fusível são a parte ativa da chave-fusível, ou seja, são os elementos sensores que detectam a sobrecorrente e juntamente com o cartucho, interrompem o circuito. O funcionamento do elo-fusível baseia-se na fusão do elemento fusível (geralmente de liga de estanho ou prata) por efeito Joule, quando a corrente passante está superior a corrente admissível. A maioria dos elos atinge o ponto de fusão em uma temperatura próxima de 230 °C. Para a corrente admissível, o elo trabalha com temperatura em torno de 100°C, não podendo fundir com a corrente de carga do equipamento ou do circuito protegido e devem obedecer as curvas características de tempo x corrente fornecidas pelos fabricantes, (ALMEIDA, 2000).

Assim como as chaves fusíveis, os elos-fusível estão agrupados em dois grandes grupos: distribuição e força.

- **De distribuição:**

- ✓ Tipo K - Elos-fusíveis rápidos;
- ✓ Tipo T - Elos-fusíveis lentos
- ✓ Tipo H - Elos-fusíveis de alto surto (high surge), de ação lenta para surtos de corrente (a corrente transitória de magnetização de transformador, por exemplo). São fabricados somente para pequenas correntes nominais. Geralmente, são usados para proteger transformadores de pequenas potências (até 75 kVA) e pequenos bancos de capacitores.

- **De força:**

- ✓ Tipo EF - Elos-fusíveis rápidos;
- ✓ Tipo ES - Elos-fusíveis lentos

2.4.2 Seccionalizadores

Os seccionalizadores são equipamentos com a função de abrir um determinado trecho de uma rede de distribuição, quando ocorre um defeito elétrico em um ponto situado a jusante de sua instalação (PARADELO, 2006). São projetados para trabalharem com um religador ou disjuntor com religamento automático na sua retaguarda. Interrompem o circuito durante o tempo morto do equipamento a montante (SILVEIRA; GALVANI; SOUZA, 2011).

Construtivamente, um seccionalizador é constituído por: um sensor que detecta as sobrecorrentes no circuito, um equipamento que registra o número de operações do equipamento situado a montante e por contatos principais e dispositivos para travamento da chave na posição aberto.

Quando uma corrente maior do que o limite ajustado no elemento sensor passa pelo seccionalizador, o equipamento é preparado para uma contagem que será iniciada tão logo ocorra a abertura do equipamento de retaguarda. O número de contagens é ajustado no equipamento e no momento em que for registrada a última contagem, o seccionalizador abrirá os seus polos definitivamente isolando apenas o trecho da rede com falha (PARADELO, 2006). Após esta operação o seccionalizador fica travado na posição aberta, podendo ser fechado novamente apenas de forma manual.

2.4.3 Relé

O relé é definido como sendo um dispositivo sensor que comanda a abertura do disjuntor quando surgem, no sistema elétrico protegido, condições anormais de funcionamento.

Ao detectar uma perturbação que venha comprometer os equipamentos ou o funcionamento normal do sistema, o relé envia um sinal elétrico que resultará em uma ação de sinalização (alarme), bloqueio ou abertura de um disjuntor (ou nas três ao mesmo tempo), de modo que isole o equipamento ou parte do sistema afetado pela falha, impedindo que a perturbação danifique equipamentos, comprometa a operação do sistema ou propague-se para outros componentes e sistemas não afetados pela falha.

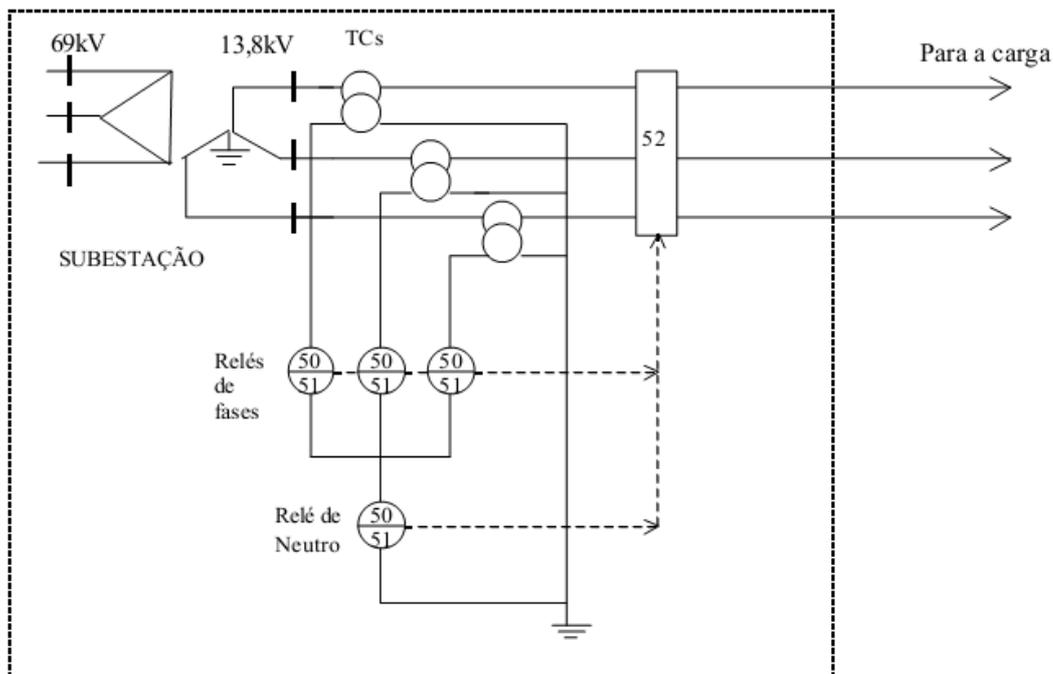
Os relés têm as suas funções de proteção identificada por números, de acordo com a norma (ANSI – American National Standards Institute). A lista vai de 1 a 99, e em alguns casos após o número da proteção existe uma ou duas letras representando uma característica

adicional da proteção. De acordo com Paradelo (2006), as proteções mais comumente aplicadas e associadas a redes de distribuição primária são:

- 50 – Sobrecorrente instantânea de fase;
- 51 – Sobrecorrente temporizada de fase;
- 50GS – Sobrecorrente instantânea de terra de alta sensibilidade;
- 51GS – Sobrecorrente temporizada de terra de alta sensibilidade;
- 79 – Religador automático;
- 86 – Relé de bloqueio;
- 50BF – Falha de disjuntor;
- 74TC – Supervisão de circuito de abertura do disjuntor.

Geralmente os relés de sobrecorrente são compostos por duas unidades: instantânea e temporizada. Na Figura 7 está representado o esquema básico e tradicional de proteção de um alimentador radial, trifásico e aterrado, na saída de uma subestação. Neste sistema são utilizados três relés de fase e um de neutro ou terra, ligados através de três transformadores de corrente, comandando um disjuntor (52) (ALMEIDA, 2000).

Figura 7 – Esquema básico da proteção de sobrecorrente da saída de um alimentador primário radial.



Fonte: ALMEIDA, (2000, p.25)

Com o emprego de relés digitais, os quatro relés do esquema da Figura 7 são substituídos por um único que realiza as funções 50 e 51 de fase e terra. Além disso, desempenham outras funções como a medição de corrente e o registros de dados de perturbações, sendo assim conhecidos como relés de multifunções (ALMEIDA, 2000).

A unidade 50, dos relés, atua instantaneamente ou segundo um tempo previamente definido. Já a unidade 51, pode atuar com curvas de tempo dependente, (com valor do tempo de atuação inversamente proporcional ao valor da corrente), ou de tempo definido.

As unidades temporizadas ou de tempo dependente permitem dois tipos de ajustes: corrente mínima de atuação e curva de atuação. As unidades instantâneas trabalham com dois ajustes: corrente mínima de atuação e tempo de atuação (tempo previamente definido). Antigamente, estas unidades (eletromecânicas) não permitiam o controle de tempo, isto é, atuavam num tempo muito pequeno (da ordem de milisegundos), sem nenhum ajuste. Com a chegada dos relés digitais, tornou-se possível os ajustes do tempo de atuação destas unidades.

Quanto a instalação os relés podem ser primário (em sistema até 13,8 kV), ou secundário (em sistema de tensões mais elevadas), de acordo com sua conexão ao sistema de potência. Os do tipo primário são relés conectados diretamente a rede, ou seja, sem transformadores. Com a conexão, de sua bobina magnetizante diretamente a alta tensão, torna esta configuração perigosa, dificultando sua inspeção, manipulação e manutenção. Os do tipo secundário são conectados ao sistema via secundário de um transformador, o que torna mais seguro em inspeções e manutenções (SOUZA, 2010).

2.4.4 Religadores e chaves religadoras

Os religadores são equipamentos utilizados nos sistemas aéreos de distribuição primários, com a função de abrir o circuito quando a corrente passante supera o valor ajustado dentro de uma característica de tempo em função da corrente e, também, fechar o circuito segundo uma sequência de operação ajustada (PARADELO, 2006).

Em redes aéreas, grande parte dos defeitos são de natureza transitória (de 80 a 90%) (SILVEIRA; GALVANI; SOUZA, 2011). Sendo assim, a utilização de um religador é essencial, pois evita que para um defeito temporário, toda a rede seja desligada e ainda evita a necessidade do deslocamento de uma equipe de manutenção da concessionária de energia elétrica até o local para religar a rede manualmente.

Basicamente, um religador é constituído por um mecanismo automático projetado para abrir e fechar circuitos em carga ou em curto-circuito, comandado por relés de sobrecorrente

de ação indireta (alimentados por Transformadores de Corrente (TCs), geralmente de bucha), que realizam as funções 50 e 51, e por um relé de religamento (função 79). Atualmente, os dispositivos sensores e de controle de um religador são microprocessadores dedicados que realizam as funções 50, 51 e 79 e muito mais. São os chamados religadores microprocessados ou numéricos de multifunção (ALMEIDA, 2000).

Para extinguir os arcos elétricos inerentes às operações de chaveamento de circuitos em carga ou curto-circuito, os religadores usam mecanismos e meios de interrupção similares aos disjuntores. Os meios de interrupção mais comuns são: óleo isolante; câmara de vácuo e o gás hexafluoreto de enxofre (SF_6). Na atualidade, este último é o mais empregado.

O religador em uma condição de sobrecorrente deve interromper o circuito, religando-o automaticamente após um tempo predeterminado. Se no momento do religamento, o defeito ainda persiste, repete a sequência “disparo x religamento” até três vezes consecutivas, sendo 3 religamentos e 4 disparos. Após o quarto disparo, o mecanismo de religamento é travado, deixando aberto o circuito, até receber o comando de fechamento, local ou remotamente.

A repetição da sequência “disparo x religamento”, permite que o religador teste repetidamente se o defeito desapareceu, possibilitando diferenciar um defeito transitório de um permanente.

Geralmente, um religador é projetado para realizar, no máximo, 3 religamentos seguidos por 4 disparos, entretanto, permite ajuste para trabalhar com 1, 2 ou 3, sendo que, após o último previamente ajustado, permanece aberto, até que seja fechado pela ação do operador. Os disparos podem ser rápidos (ou instantâneos) e lentos (ou temporizados) (ALMEIDA, 2000).

Se a falta desaparecer antes do último desligamento, o religador não bloqueará o circuito e dentro de um intervalo de tempo determinado (tempo de rearme, reset ou de restabelecimento), da ordem de segundos, rearmará ou restabelecerá, ficando preparado para realizar novamente a sequência que está ajustada. Na maioria dos religadores este tempo é ajustado previamente.

A aplicação básica de religadores é na proteção de alimentadores primários de distribuição. São instalados geralmente na saída de alimentador da subestação; em ponto do tronco que, por razões técnicas, se faz necessário diminuir a zona de proteção do equipamento a montante; em derivações longas e carregadas; em circuitos que passam por áreas muito arborizadas e/ou sujeitas a grande intensidade de descargas atmosféricas.

Em sistemas menores, que não exigem um grau de confiabilidade elevado e que economicamente não se justifica a instalação de religadores, são utilizadas as chaves religadoras. As chaves religadoras são dispositivos formados por mais de uma chave fusível, montadas sobre uma mesma estrutura de suporte, cujos contatos superiores são interligados por uma barra e cujos contatos inferiores são passíveis de interligação por meio de um mecanismo de transferência de carga, de tal modo que apenas um porta-fusível por vez fique inserido entre os terminais da chave (Figura 8).

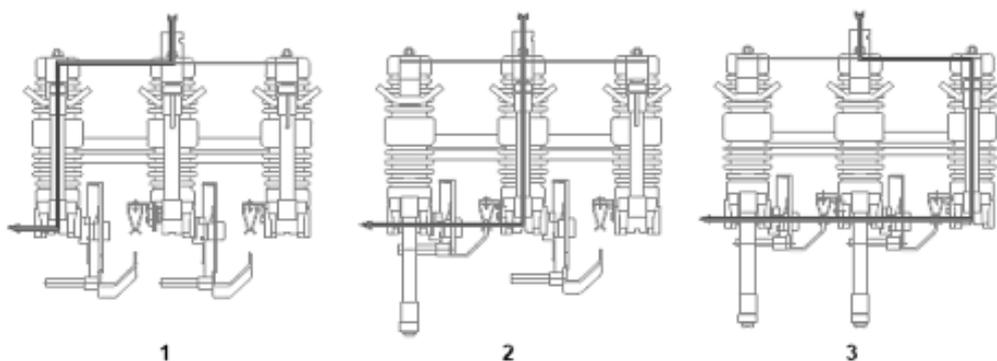
Figura 8 – Chave religadora.



Fonte: DELMAR – Fábrica de Peças Elétricas

Na chave fusível religadora a fonte é ligada na parte superior da chave e um barramento de cobre eletrolítico interliga as bases. A carga é ligada na parte inferior da chave. Em condições de defeito no circuito se rompe o primeiro fusível, fazendo uma movimentação de 160° para baixo. No final do percurso o cartucho aciona o dispositivo de contato móvel que religa automaticamente o circuito pelo segundo cartucho (Figura 9).

Figura 9 – Esquema de funcionamento da chave religadora.



Fonte: DELMAR – Fábrica de Peças Elétricas

2.4.5 Para-raios

Os para-raios são dispositivos destinados a proteger redes elétricas contra sobretensões transitórias elevadas, limitando, também, a duração e intensidade da corrente subsequente.

Conforme Gomes, Macedo e Guilliod (1990), um bom para-raios deve desempenhar as seguintes funções:

- Proteger os equipamentos contra sobretensões, com margem de segurança adequada;
- Limitar a corrente subsequente de 60 Hz a um baixo valor;
- Eliminar a operação dos equipamentos de proteção de sobrecorrente, evitando redução da continuidade de serviço.

Um para-raios, ao ser atingido por uma onda viajante, fica submetido a uma determinada tensão de impulso que, se exceder a tensão disruptiva de impulso, faz com que o mesmo descarregue para terra. A corrente de descarga através do para-raios produz uma queda de tensão que pode ser superior à tensão disruptiva de impulso normalizada.

Existem atualmente três tipos construtivos de para-raios sendo produzidos para aplicação em redes de distribuição: para-raios de Carbeto de Silício (SiC), para-raios de Óxido de Zinco (ZnO) com centelhadores, e os para-raios de Óxido de Zinco (ZnO) sem centelhadores.

Os para-raios com centelhadores são encapsulados em invólucros de porcelana e apresentam a corrente de descarga nominal de 5 kA . Os para-raios de ZnO sem centelhadores têm sido produzidos com encapsulamento em porcelana e polimérico. Os para-raios com invólucro de porcelana são de 5 kA, enquanto que os para-raios poliméricos apresentam projetos para correntes de descarga nominais de 5 kA e 10 kA (GOMES; MACEDO; GUILLIOD, 1990).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada, na elaboração do projeto, está baseada nas recomendações das normas técnicas TDE-101 (2014), TDE-107 (2013) e TDE-108 (2013). De acordo com estas normas, a elaboração de um projeto de uma nova rede aérea ou de reestruturação de uma rede aérea existente, se inicia com o levantamento dos dados físicos e elétricos do local onde a rede será instalada. Após ter estas informações é realizado o dimensionamento dos componentes elétricos e estruturais da rede projetada. Para melhor entendimento dos procedimentos de projeto, neste capítulo será descrito com maiores detalhes cada uma destas etapas.

3.1 Elaboração de Projetos de Redes Elétricas Aéreas de Média e Baixa Tensão

No início de um projeto é realizado o levantamento das características do local onde será instalada a rede de energia, estabelecendo o percurso completo da mesma. Este processo consiste na definição, em desenho, de um conjunto de segmentos de reta, com o objetivo de simular a trajetória possível da linha. O percurso da rede deve ser realizado de maneira que tenha o mínimo de apoios e estruturas, evitando efetuar ângulos e caminhos longos desnecessários. Assim, as redes apresentam o maior número de segmento reto, e quando necessário, com ângulos pouco pronunciados, que evita a utilização de postes mais robustos, (GALVÃO, 2010).

Após a definição do traçado da linha, o passo seguinte é o reconhecimento topográfico do terreno onde se quer executar o trabalho. O levantamento topográfico deve definir o perfil do terreno no traçado da linha. Para isso, faz-se o levantamento dos pontos onde serão colocados os postes, dos pontos de alinhamento, dos pontos que caracterizam a parte superior de qualquer obstáculo e daqueles que estão associados à passagem de linhas já existentes, vias de circulação de veículos, cursos de água e de delimitações de terrenos, (GALVÃO, 2010).

Com os primeiros dados em mãos, é realizada a estimativa da demanda do local a ser instalada a rede de energia elétrica. Esta estimativa é realizada com base nos fatores de demanda estabelecidos na norma técnica TDE-101 (2014). Segundo a norma, o cálculo da demanda provável deverá ser feito pela seguinte expressão:

$$D = a + b + c + d + e + f \quad (1)$$

Sendo:

a - Demanda em kW das potências para iluminação e tomadas, calculadas segundo ao Quadro 1;

Quadro 1– Carga mínima de demanda para instalação de iluminação e tomadas.

DESCRIÇÃO	CARGA MÍNIMA (W/ m2)	POTÊNCIA INSTALADA (kW)	FATOR DE DEMANDA (%)
Auditórios, Salões p/ Exposições e semelhantes	15	Total	100
Bancos, Lojas e semelhantes	40	Total	100
Indústria e semelhantes	-	Total	100
Barbearias, Salões de Beleza e semelhantes	30	Total	100
Clubes e semelhantes	30	Total	100
Escolas e semelhantes	30	Para os primeiros 12 kW. Para o que exceder de 12 kW.	100 50
Edifícios de escritórios, Escritórios	30	Para os primeiros 20 KW. Para o que exceder de 20 kW.	100 70
Garagens comerciais e semelhantes	5	Total	100
Hospitais e semelhantes	20	Para os primeiros 50 kW. Para o que exceder de 50 kW.	50 20
Hotéis e semelhantes	20	Para os primeiros 20 kW. Para o que exceder de 20 kW.	50 40
Igrejas e semelhantes	15	Total	100
Prédio de Apartamentos e Residências	30	Para os primeiros 3 kW. De 3 kW a 120 KW Acima de 120 KW	100 35 25
Restaurantes e semelhantes	20	Total	100
Consultório Médicos e semelhantes	30	Para os primeiros 50 kW. Para o que exceder de 50 kW.	50 20

Fonte: Norma TDE-101 (2014, p.53)

b - Demanda, em kW, de todos os aparelhos de aquecimento, (chuveiro, aquecedores, fogões, entre outros), calculada segundo o Quadro 2;

Quadro 2 – Fatores de aparelhos de aquecimento.

NÚMERO DE APARELHOS	FATOR DE DEMANDA (%)		NÚMERO DE APARELHOS	FATOR DE DEMANDA (%)	
	POTÊNCIA DE ATÉ 3,5 KW	POTÊNCIA ACIMA DE 3,5 KW		POTÊNCIA DE ATÉ 3,5 KW	POTÊNCIA ACIMA DE 3,5 KW
1	80	80	16	39	28
2	75	65	17	38	28
3	70	55	18	37	28
4	66	50	19	36	28
5	62	45	20	35	28
6	59	43	21	34	26
7	56	40	22	33	26
8	53	36	23	32	26
9	51	35	24	31	26
10	49	34	25	30	26
11	47	32	26 a 30	30	24
12	45	32	31 a 40	30	22
13	43	32	41 a 50	30	20
14	41	32	51 a 60	30	18
15	40	32	61 ou mais	30	16

Fonte: Norma TDE-101 (2014, p.52)

c - Demanda, em kW dos condicionadores de ar segundo o Quadro 3;

Quadro 3 – Fatores de demanda de condicionadores de ar.

NÚMEROS DE APARELHOS	FATOR DE DEMANDA (%)
01 A 10	100
11 A 20	86
21 A 30	80
31 A 40	78
41 A 50	75
51 A 75	70
76 A 100	65
Acima de 100	60

Fonte: Norma TDE-101 (2014, p.51)

d - Demanda, em kW dos motores e das máquinas de solda tipo motor-gerador, calculada segundo o Quadro 4;

Quadro 4 – Fatores de demanda de motores e máquinas de solda tipo motor gerador.

POTÊNCIA CV	FATOR DE DEMANDA (%)			
	N.º DE MOTORES			
	1	2	3	MAIS DE 5
De 1/6 a 1,0	90	80	70	60
De 1,5 a 7,5	85	75	65	58
De 10 a 25	78	70	60	55
De 30 a 200	70	63	58	50

Fonte: Norma TDE-101 (2014, p.55)

e - Demanda, em kW das máquinas de solda a transformador, conforme indicado abaixo:

- 100% da potência, em kW, da maior máquina de solda, mais;
- 70 % da potência, em kW, da 2º maior máquina de solda, mais;
- 40 % da potência, em kW, da 3º maior máquina de solda, mais;
- 30 % da potência, em kW, das demais máquinas de solda.

f - Demanda, em kW, dos aparelhos de Raio X, conforme indicado a seguir:

- 100% da potência, em kW, do maior aparelho do Raio X, mais;
- 70% da potência, em kW, dos aparelhos de Raio X, que trabalham ao mesmo tempo, mais;
- 20% da potência, em kW, dos demais aparelhos de Raio X.

De posse do valor da demanda, levando em conta as informações da localidade, é definido o número de alimentadores a ser construído, considerando as facilidades de manobra e operação, o atendimento racional a grandes consumidores, a fim de que as interrupções sejam mínimas e afetem o menor número possível de consumidores.

Definido o número de alimentadores, estimam-se as demandas dos transformadores através das somas das demandas já calculadas. De acordo com a norma TDE-107 (2013), em redes urbanas, os transformadores devem ser projetados, em princípio, para 80% (oitenta por cento) de sua capacidade nominal, e em situações em que, o transformador irá atender vários consumidores (como caso de loteamentos), por questão de custo e flexibilidade no sistema,

deve-se evitar, sempre que possível, a utilização inicial de transformadores acima de 112,5 kVA, uma vez que o uso de vários transformadores com capacidade menor, possibilita a realização de sua substituição por de maior capacidade, ao ocorrer um eventual aumento de carga dos pontos de consumo, sem mudanças significativas nas estruturas da rede.

3.1.1 Dimensionamento dos Condutores

Após definir o número de alimentadores e a capacidade dos transformadores, é realizado dimensionamento dos condutores dos alimentadores primários, observando as condições de operação e de demanda atual e futura. Inicialmente é determinado o valor de corrente do condutor, selecionando um condutor que atenda este valor. Uma vez definido, é efetuado o cálculo da queda de tensão. O valor de queda de tensão unitário dos condutores é obtido em tabelas das normas técnicas TDE-107 (2013) e TDE-108 (2013), ou calculado a partir das equações abaixo:

- Alta tensão:

Para trifásico e monofásico

$$\Delta V\% = \frac{(R \cos \phi + X_L \text{sen} \phi) * 100}{kV^2} \quad (2)$$

Para bifásico

$$\Delta V\% = \frac{2 * (R \cos \phi + X_L \text{sen} \phi) * 100}{kV^2} \quad (3)$$

- Baixa tensão:

3fases + neutro (220V)

$$\Delta V\% = \frac{(R \cos \phi + X_L \text{sen} \phi) * 10^4}{V^2} \quad (4)$$

2fases + neutro (220V)

$$\Delta V\% = \left[\left(R_\phi + \frac{R_n}{2} \right) \cos \phi + \left(X_{L\phi} + \frac{X_{Ln}}{2} \right) \text{sen} \phi \right] * \frac{1,5 * 10^4}{V^2} \quad (5)$$

1fase + neutro (127V)

$$\Delta V\% = \left[(R_\phi + R_n) \cos \phi + (X_{L\phi} + X_{Ln}) \text{sen} \phi \right] * \frac{10^4}{V^2} \quad (6)$$

Sendo que:

- $\Delta V\%$ - Coeficiente unitário de queda de tensão percentual;

- R – Resistência a 50°C (Ω/km);
- X_L – Reatância indutiva a 60 Hz, (Ω/km);
- kV e V – Tensão aplicada (kV , V);
- R_ϕ e $X_{L\phi}$ - Resistência e reatância indutiva do condutor fase (Ω/km);
- R_n e X_{Ln} - Resistência e reatância indutiva do condutor neutro (Ω/km).

Com exceção aos sistemas Monofilar com Retorno por Terra, que por questões de segurança, o ponto de medição deve situar-se a uma distância mínima de 30 metros do aterramento do transformador, o sistema de medição, do fornecimento de energia, é em geral instalado logo abaixo do posto de transformação, sendo que a conexão do secundário do transformador e o sistema de medição é realizada por meio de condutores de cobre isolados em eletrodutos sobrepostos (B1) (Tabela 1). No sistema monofilar a conexão entre o secundário e o ramal de entrada, embutido em eletroduto, do sistema de medição é realizado através de condutores de cobre WPP isolação mínima 750 V, ou alumínio multiplex, isolação mínima 600 V.

Tabela 1 - Tipos de linhas elétricas

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2

Fonte: NBR-5410 (2008, p. 90)

Para dimensionar o condutor de cobre, no lado do secundário do transformador, assim como no lado de alta tensão, é determinado o valor da corrente a ser transportada pelo

condutor e com base a valores de correntes admissíveis tabelados, conforme o tipo de instalação é selecionado a seção que atende o valor de corrente calculada.

De acordo com Mamede (2007), em circuitos secundários, a queda de tensão pode ser obtida por:

- Circuitos monofásicos:

$$\Delta U = \frac{200 * l * I (R \cos \varphi + X \operatorname{sen} \varphi)}{10 * N_{cp} * V_{fn}} \quad (7)$$

- Circuitos trifásicos:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} * l * I (R \cos \varphi + X \operatorname{sen} \varphi)}{10 * N_{cp} * V_{ff}} \quad (8)$$

Em que:

- ΔU – Queda de tensão no circuito (%);
- L – Comprimento do circuito (m);
- I – Corrente a ser transportada (A);
- R – Resistência do condutor (m Ω /m);
- X – Reatância do condutor (m Ω /m);
- φ – Ângulo do fator de potência da carga;
- V_{fn} – Tensão entre fase e neutro (V);
- V_{ff} – Tensão entre fases (V).

Com base na norma NBR-5410 (2008), o valor de queda de tensão percentual, nos circuitos secundários, não deve ser superior:

- 7%, quando calculado a partir dos terminais secundários do transformador (média/baixa tensão), no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- 7%, quando calculado a partir dos terminais secundários do transformador (média/baixa tensão), da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- 5%, quando calculado a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição.

3.1.2 Proteção Contra Sobrecorrente e Sobretensão.

Para proteção de sobrecorrente das redes e do transformador, são utilizadas as chaves-fusíveis seguindo os padrões da norma técnica TDE-107 (2013) e TDE-108 (2013). Conforme as normas a instalação de chaves fusíveis deve ser feita nos seguintes casos:

- Na estrutura que antecede os postos de transformação de distribuição de classe de 13,8 kV e 34,5 kV com fusíveis de 100 A e elos conforme as Tabela 2 aTabela 5;

Tabela 2 – Elos fusíveis dos transformador de 13,8 kV.

TRANSFORMADORES		TRANSFORMADORES	
Monofásicos Fase-Fase		Trifásicos	
Potência (kVA)	Elos Fusíveis	Potência (kVA)	Elos Fusíveis
5,0	1 H	15,0	1 H
10,0	1 H	30,0	2 H
15,0	2 H	45,0	3 H
25,0	3 H	75,0	5 H
37,5	5 H	112,5	6 K
		150,0	6 K
		225,0	10 K
		300,0	15K
		500,0	20K

Fonte: Norma TDE-108 (2013, p.119)

Tabela 3 - Elos fusíveis para proteção de ramais nominal 13,8 kV

POTÊNCIA INSTALADA	ELO FUSÍVEL	CHAVE FUSÍVEL
≤ 75 kVA	10 K	100 A
De 76 a 150 kVA	15 K	100 A
De 151 a 750 kVA	25 K	100 A

Fonte: Norma TDE-108 (2013, p.119)

Tabela 4 - Elos fusíveis dos transformadores de 34,5 kV

TRANSFORMADORES		TRANSFORMADORES	
Monofásicos Fase-Fase		Trifásicos	
Potência (kVA)	Elos Fusíveis	Potência (kVA)	Elos Fusíveis
5,0	1 H	15,0	1 H
10,0	1 H	30,0	1 H
15,0	1 H	45,0	2 H
25,0	2 H	75,0	2 H
37,5	2 H	112,5	3 H
		150,0	5 H
		225,0	6 K
		300,0	10 K

Fonte: Norma TDE-108 (2013, p.120)

Tabela 5 - Elos fusíveis para proteção de ramais tensão nominal 34,5 kV

POTÊNCIA INSTALADA	ELO FUSIVEL	CHAVE FUSIVEL
≤ 200 kVA	10 K	100 A
De 201 a 500 kVA	15 K	100 A
De 501 a 1000 kVA	25 K	100 A
De 1001 a 2500 kVA	40 K	100 A

Fonte: Norma TDE-108 (2013, p.120)

- Para ramais primários, até 300 metros, pode ser dispensada a instalação de chave fusível na estrutura que antecede os postos de transformação, devendo a mesma ser instalada na derivação, desde que visível do transformador;
- Para ramais com comprimento acima de 300 metros devem ser instaladas chaves fusíveis na estrutura de derivação e na estrutura que antecede os postos de transformação;
- Nas derivações que atendem consumidores em tensão primária de distribuição;
- Na estrutura dos bancos de capacitores;
- No início do perímetro rural quando a rede de distribuição rural (RDR) deriva de alimentadores urbanos;
- Em ramais onde não se justifica economicamente a instalação de seccionador ou religador.

A escolha dos elos fusíveis da rede deve ser feita de modo a garantir a coordenação e seletividade entre os diversos dispositivos instalados nos trechos de linha, garantindo também segurança e proteção a condutores e equipamentos.

No lado de baixa tensão, em sistema de pequeno e médio porte, para proteção de sobrecorrente são utilizados disjuntores. Estes equipamentos possuem a capacidade de seccionar um circuito sob carga nominal e também sob condições anormais, tais como sobrecarga e curto-circuito (MAMEDE, 2007).

De acordo com a norma NBR-5410 (2008), a corrente nominal ou de ajuste da unidade térmica do disjuntor deve ser igual ou superior à corrente de projeto ou simplesmente de carga prevista (Eq. 13).

$$I_p \geq I_c \quad (9)$$

Em que:

- I_p – Corrente de projeto do circuito;
- I_c – Corrente nominal ou de ajuste do disjuntor.

A corrente convencional de atuação do disjuntor deve ser igual ou inferior a 1,45 vezes a capacidade de condução de corrente dos condutores, nas condições em que é possível assumir que a temperatura limite de sobrecorrente dos condutores, não venha ser mantida por um período de tempo superior a 100 horas durante 12 meses consecutivos ou 500 horas ao longo da vida útil do condutor (MAMEDE, 2007).

$$I_{ca} \leq 1,45 \times I_{nc} \quad (10)$$

Sendo que:

- I_{ca} – Corrente convencional de atuação do disjuntor;
- I_{nc} – Corrente nominal do condutor.

Caso as condições acima não venha a ser atendidas tem a seguinte relação:

$$I_{ca} \leq I_{nc} \quad (11)$$

O valor de I_{ca} , pode ser determinado por $K \times I_c$, ou seja:

$$K \times I_c \leq I_{nc} \quad (12)$$

Em que:

K = Fator de multiplicação, para a corrente de atuação dos disjuntores, que de acordo com a norma NBR-60898 (2004), este valor é de 1,45.

Já em relação à proteção contra sobretensão, de acordo com as normas técnicas TDE-107 (2013) e TDE-108 (2013), deve ser feita por para-raios adequadamente dimensionados e localizados, de modo a se obter o máximo aproveitamento do equipamento protetor. Segundo estas normas devem ser projetados para-raios nos seguintes pontos:

- Em todos transformadores, em estruturas em sua carcaça;
- Em todas as estruturas que contenham chaves a óleo, religadores, seccionadores;
- Em pontos de transição de rede aérea para entrada subterrânea, em consumidores primários, travessias subterrâneas, entre outros;
- Nas saídas de redes rurais derivadas da rede urbana;
- Nos circuitos de baixa tensão, deve-se instalar para-raios de baixa tensão nos terminais do circuito secundário do transformador de distribuição.

Os para-raios a serem utilizados devem ser do tipo óxido de zinco, classe 1, com base isolante e desligador automático. A tensão nominal dos pára-raios deve ser de 12 kV e 36 kV respectivamente para sistemas de 13,8 kV e 34,5 kV. A corrente nominal de descarga dos para-raios deve ser 5 kA para redes de distribuição urbana e 10 kA para redes de distribuição rural.

3.1.3 Eletroduto

Os eletrodutos são tubos de metal ou de PVC, que podem ser ainda rígidos ou flexíveis. De acordo com Calvin e Cervelin (2005), as principais funções dos eletrodutos são:

- Proteção dos condutores contra ações mecânicas e contra corrosão;
- Proteção do meio contra perigos de incêndios, resultantes do superaquecimento dos condutores ou de arcos.

Os eletrodutos de PVC em geral são instalados embutidos em paredes, piso ou tetos. Já os de metal são utilizados em instalações aparentes, ou embutidos, quando se necessita de uma proteção mecânica adequada para o circuito.

Conforme Mamede (2007), a utilização de eletrodutos deve seguir os seguintes critérios:

- Dentro de eletroduto só devem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares ou multipolares, admitindo-se a utilização de condutor nu em eletroduto isolante exclusivo, quando tal condutor destinar-se a aterramento;
- Em instalação internas onde não haja trânsito de veículos pesados, os eletrodutos de PVC devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,25m;
- Em instalações externas sujeitas a tráficos de veículos leves, os eletrodutos de PVC devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,45m. Para profundidade inferior, é necessário envelopar o eletroduto em concreto. Em locais em que há tráfego de veículos pesados, o eletrodutos de PVC, devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,45 m, e protegidos por placas de concreto. Neste caso é preferencial o uso de eletrodutos de metal;
- Somente devem ser utilizados eletrodutos não-propagantes de chama;
- Baseado na norma NBR-5410 (2008) a taxa máxima de ocupação em relação à área da seção transversal dos eletrodutos não deve ser superior a:
 - ✓ 53% no caso de um único condutor ou cabo;
 - ✓ 31% no caso de dois condutores ou cabos;
 - ✓ 40% no caso de três ou mais condutores ou cabos.
- Não deve haver trechos contínuos de tubulações maiores do que 15m para linhas internas e de 30m para áreas externas às edificações;
- Nos trechos com curvas, os espaçamentos anteriores devem ser reduzidos de 3m para cada curva de 90°;
- Quando o ramal de eletrodutos passar obrigatoriamente através de áreas inacessíveis impedindo o emprego de caixas de derivação, esta distância pode ser aumentada desde que: para cada 6 m, ou fração, de aumento dessa distância, utiliza-se um eletroduto de diâmetro com tamanho nominal imediatamente superior do eletroduto que normalmente seria empregado para o número e tipo de condutores.

Para o dimensionamento dos eletrodutos é, inicialmente, determinada a área útil ocupável pelos condutores do eletroduto dimensionado, a partir da Equação 13:

$$S_{cond} = \frac{N_{cf} * \pi * D_{cf}^2}{4} + \frac{N_{cn} * \pi * D_{cn}^2}{4} + \frac{N_{cp} * \pi * D_{cp}^2}{4} \quad (13)$$

Sendo:

- S_{cond} – Seção ocupada pelos condutores (mm^2);
- N_{cf} – Número de condutores de fase;
- N_{cn} – Número de condutores de neutro;
- N_{cp} – Número de condutores de proteção;
- D_{cf} – Diâmetro externo dos condutores fase (mm);
- D_{cn} – Diâmetro externo dos condutores neutro (mm);
- D_{cp} – Diâmetro externo dos condutores de proteção (mm).

Calculado o valor da seção ocupada pelos condutores, considerando a taxa de ocupação do eletroduto e seu comprimento máximo de trecho contínuo, a partir dos dados de área útil dos eletrodutos de um fabricante, é determinado o diâmetro do mesmo para cada caso.

3.1.4 Aterramento

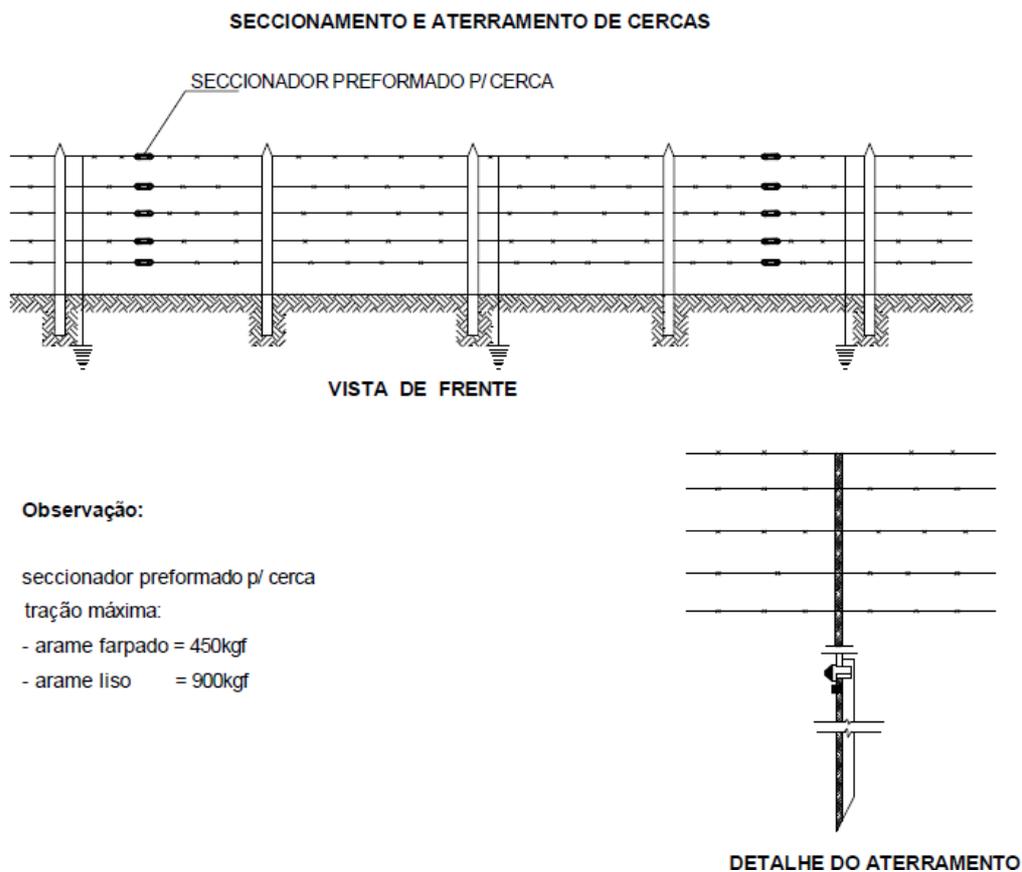
De acordo com as normas técnicas TDE-107 (2013) e TDE-108 (2013), devem ser aterrados todos os para-raios, carcaças de transformadores, chaves a óleo, religadores, seccionadores, bancos reguladores de tensão e bancos de capacitores, com instalação de no mínimo 06 (seis) hastes de terra com espaçamento mínimo entre elas de 2,4 metros.

Os para-raios podem ser aterrados na mesma malha de aterramento do transformador e da rede secundária, porém a descida até a malha deve ser feita de forma independente em condutor isolado para 1 kV. O aterramento dos para-raios de linha deve possuir resistência máxima de 25 Ohms.

Em área urbana, sempre que possível o neutro deve ser interligado ao circuito mais próximo e aterrado em todos os finais de circuitos secundários, através de uma haste de terra de 2,40 metros.

Em locais em que a rede aérea esta sob cercas de arame é necessário seccioná-la, com seccionador pré-formado, e aterrará-la conforme a Figura 10. O aterramento deverá ser feito através de haste de aterramento do tipo cantoneira de 1500 ou 2400 mm. Os fios das cercas devem ser interligados à haste de aterramento através de arame galvanizado número 4 BWG ou cabo de aço de 6,4 mm.

Figura 10 - Seccionamento e aterramento de cercas



Fonte: Norma TDE-108 (2013, p.121)

3.1.5 Dimensionamento das estruturas

A tração dos postes e das cruzetas é determinada a partir do valor de tração de projeto dos condutores utilizados, sendo que a tração de projeto do condutor é igual a 18% da tração de ruptura do condutor. Caso o valor de flecha máxima não seja elevado, a ponto do condutor ficar em uma altura inferior à recomendada por norma do solo, pode-se aplicar trações menores que 18% nos condutores, reduzindo a tração nominal dos postes e cruzetas.

O esforço resultante no poste, obtido através da composição dos esforços dos condutores que nele atuam em todas as direções, devem ser transferidos a 20 cm do topo antes de realizar a seleção do poste, já que a tração tabelada dos postes é determinada considerando que os esforços estão aplicados a esta distância do topo.

A determinação do esforço resultante a 20 cm é feita por:

$$ER = \frac{EP \cdot Hp}{H} \quad (14)$$

Sendo que:

- ER – Esforço resultante a 20 cm do topo (daN);
- EP – Esforço no ponto de aplicação do condutor (daN);
- Hp – Altura do ponto de aplicação (m);
- H – Altura a 20 cm do topo do poste (m).

Para estabelecer a distância entre os postes, além de seguir os valores definidos nas normas técnicas TDE-107 (2013) e TDE-108 (2013), é necessário respeitar o valor de flecha máximo, de maneira que garanta a altura do condutor em relação ao solo para cada situação de aplicação (Figura 11). O valor de flecha é representado pela distância vertical entre uma reta imaginária conectada nos pontos de fixação do condutor e o real percurso realizado pelo condutor, que é em forma de catenária.

De acordo com Galvão, (2010) o valor de flecha máximo é determinado por:

$$f = \frac{m \cdot w \cdot L^2}{8 \cdot t} \quad (15)$$

Sendo que:

- f – Flecha máxima (m);
- m – Coeficiente de sobrecarga;
- w – Peso linear do condutor (kg/m);
- L – Comprimento da rede (m);
- t – Tração mecânica (daN).

O valor do coeficiente de sobrecarga é calculado por:

$$m = \frac{\sqrt{w^2 + F^2}}{w} \quad (16)$$

Em que:

- m - Coeficiente de sobrecarga
- F – Tensão sobrecarga do vento, determinada por:

$$F = \alpha.c.q.S \quad (17)$$

Sendo que:

- α - Coeficiente de redução (sendo 0,6);
- c – Coeficiente de forma (sendo 1,1 para condutor circular);
- q – Pressão do vento (Pa);
- S – Diâmetro do condutor (m).

O valor de (q), para superfície cilíndrica é calculado pela equação:

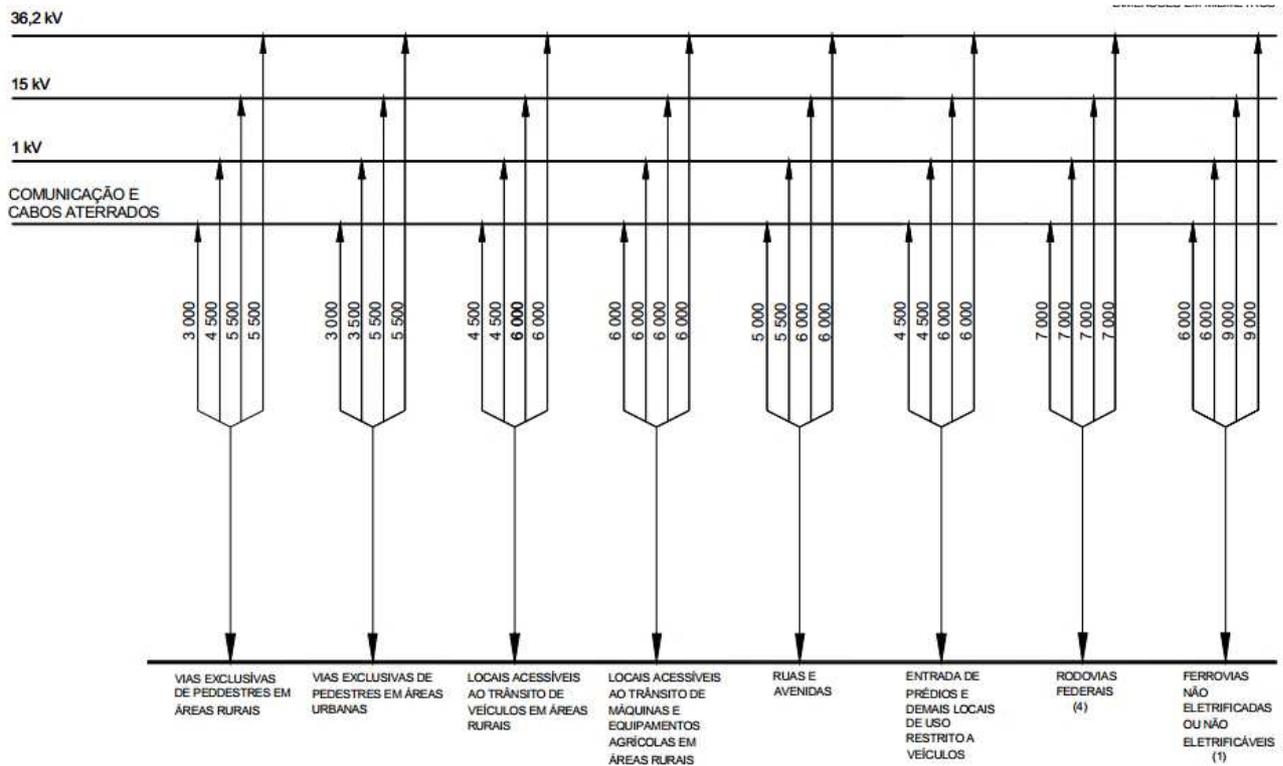
$$q = 0,00471.V^2 \quad (18)$$

Em que:

V – Velocidade máxima (80 km/h).

Quanto a altura do condutor do solo, em condição de flecha máxima, nos pontos mais desfavoráveis, deve obedecer os valores definidos pela norma NBR-15688 (2013), conforme a Figura 11.

Figura 11 - Distâncias mínimas entre o condutor e o solo (valores em milímetro).



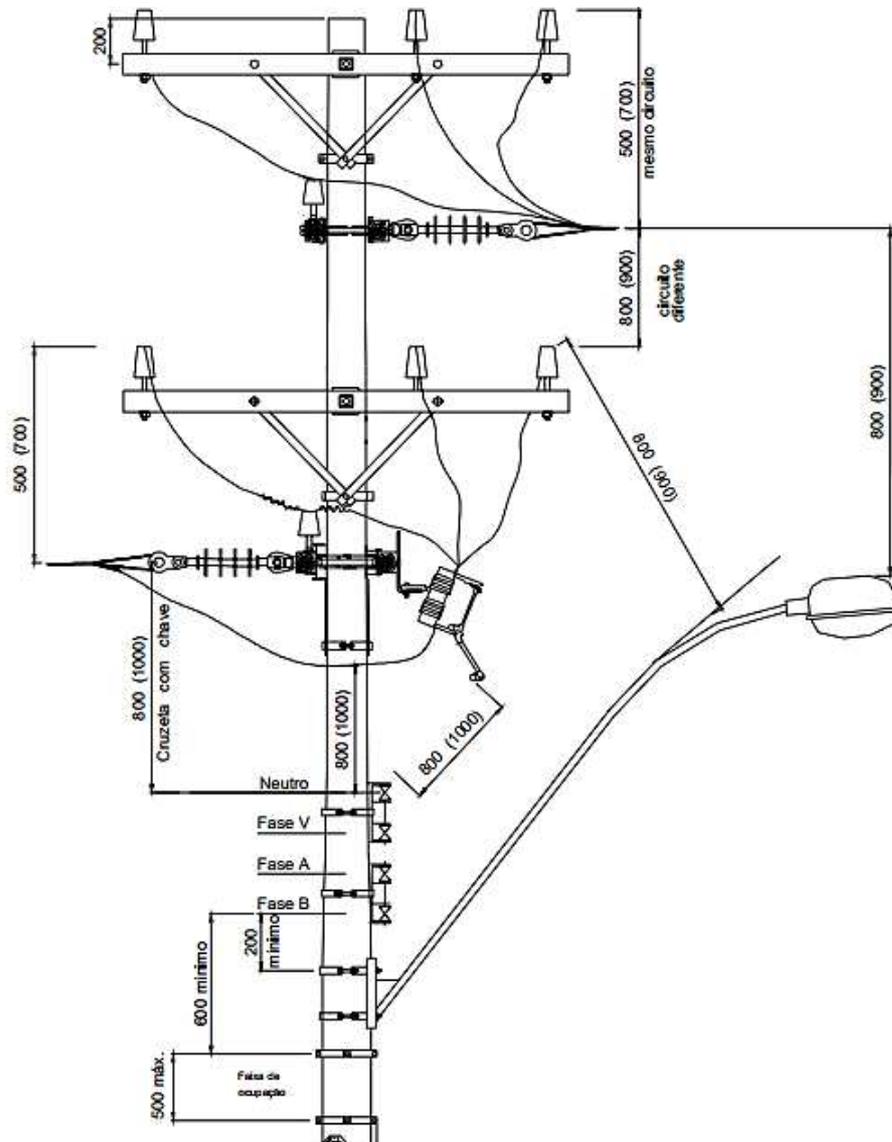
Fonte: NBR-15688 (2013)

De acordo com a norma técnica TDE-108 (2013), recomenda-se que nas travessias sob rodovias, com o caso do projeto em estudo, os vãos acima de 100m sejam acrescidos de 0,1m ao valor estabelecido na Figura 11, para cada aumento de 10m de vão.

As estruturas das extremidades em travessia devem ser do tipo N4 e os postes dentro da faixa de domínio, só podem ficar 1,50m da cerca limítrofe.

Sendo assim, a altura selecionada do poste, deve ser suficiente para garantir a altura dos condutores do solo, além de garantir as distâncias mínimas entre as estruturas, instaladas no poste (Figura 12).

Figura 12 – Afastamentos mínimos das estruturas (valores em milímetro).



(Obs: Os valores entre parenteses são para redes de 36,2 kV)

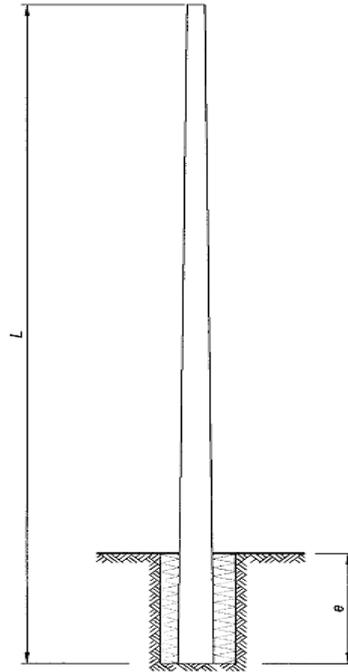
Fonte: NBR-15688 (2013)

Os elementos de fixação e de isolamento são selecionados com base em tabelas contidas na norma técnica TDE-101 (2014), realizando as adequações necessárias para cada tipo de instalação.

-Engastamento

O engastamento representa a profundidade que deverá ser instalado o poste no solo (Figura 13).

Figura 13 – Representação do engastamento em postes.



De acordo com a norma técnica TDE-107 (2013) a determinação do valor do engastamento é realizada pela seguinte expressão:

$$e = \frac{L}{10} + 0,6 \quad (19)$$

Sendo que:

- e – Valor de engastamento (m);
- L – Comprimento do poste em metros.

O engastamento mínimo a ser considerado é de 1,5 m. Os tipos de engastamentos e diâmetros das fundações para os postes padronizados são os constantes da Tabela 6. Para tipos especiais de solo devem ser adotados arranjos e fundações adequadas.

Tabela 6 - Carga útil e diâmetro da fundação para engastamento de poste de concreto

ALTURA DO POSTE (m)	CARGA ÚTIL (daN)	RESISTÊNCIA (daN)	TIPO DE ENGASTAMENTO	DIÂMETRO DA FUNDAÇÃO (m)
9	150	150 a 200	Simples	0,70
	300	300 a 400	Simples	0,70
	600	600	Concretada	0,80
11	300	200 a 400	Simples	0,70
	600	600	Concretada	0,80
	1000	1000	Concretada	1,10
12	300	200 a 400	Simples	0,70
	600	600	Concretada	0,80
13	1000	1000	Concretada	1,10

Fonte: Norma TDE-107 (2013, p.113)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

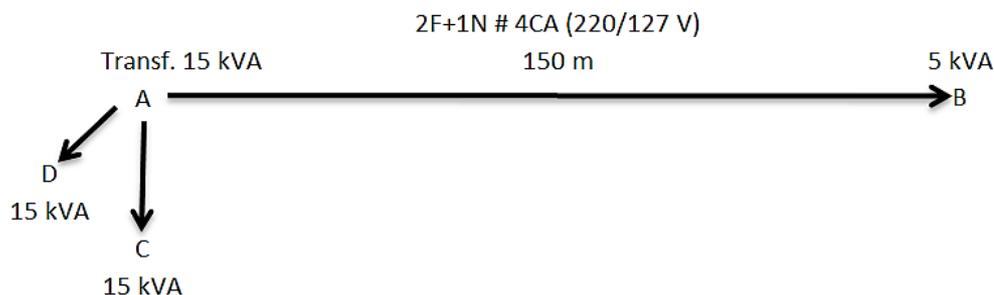
A partir da metodologia descrita, foi realizado um estudo de caso com o desenvolvimento de um projeto para melhorar o fornecimento de energia a um consumidor, localizado na BR 163, Q. 08 LT. 04, em Dourados – MS. O fornecimento de energia à propriedade é realizado por uma rede bifásica em baixa tensão (127/220V), proveniente de um posto de transformação de 15 kVA, localizado a aproximadamente 150 metros, onde são atendidos mais dois consumidores. A conexão entre o lado de baixa do transformador e o sistema de medição, do ponto de consumo em estudo, é realizado através de condutores de alumínio nus sem alma de aço 4 AWG (Tabela 7 - Características elétricas do conduto CA Tabela 7). Como o posto de transformação atende num total de três consumidores, sendo que por conta de não existir o uso simultâneo das cargas dos pontos de consumo, dois dos consumidores localizados mais próximos ao posto de transformação apresenta um sistema de fornecimento em baixa tensão trifásico (127/220 V) com capacidade de 15 kVA, e o ponto de consumo em estudo localizado a uma distância maior do posto de transformação, apresenta um sistema de fornecimento em baixa tensão bifásico (127/220 V) com capacidade de 5 kVA. Por ser um sistema bifásico (127/220 V) a corrente de projeto, para esta capacidade, é de aproximadamente 22,73 A (Figura 14).

Tabela 7 - Características elétricas do conduto CA

Bitola AWG	Código	Seção Nominal (mm²)	Resist. a 50°C (Ω/Km)	Reatância Indutiva (Ω/Km)	Corrente admissível 75°C
4	Rose	21,12	1,514	0,358	135
2	Iris	33,62	0,958	0,342	146
1/0	Poppy	53,49	0,604	0,325	197
4/0	Oxlip	107,20	0,302	0,298	308

Fonte: Norma TDE-107 (2013, p.103)

Figura 14 - Dados elétricos do sistema de fornecimento de energia elétrica existente



Substituindo-se os valores referentes ao condutor, utilizado no sistema, da Tabela 7 (resistência elétrica igual a 1,514 Ohms, reatância indutiva igual a 0,358 Ohms/Km e fator de potência de 0,92) na equação para o cálculo da queda de tensão unitária em sistemas bifásicos (Equação 5), a queda de tensão unitária para rede existente é de 0,7127%. Com base nos dados da Figura 14 e nos procedimentos de cálculos de queda de tensão, presentes na norma técnica TDE-107 (2013), chega-se que a queda de tensão da rede para trecho em estudo (A – B) é de 0,535% (Tabela 8), o que é inferior ao valor máximo permitido a esse tipo de instalação.

Tabela 8 - Cálculo da queda de tensão da rede existente

TRECHO		CARGA			CONDUTOR	QUEDA DE TENSÃO		
DESIG.	DIST.	DISTRIB. TRECHO	ACUMUL. TRECHO	TOTAL	BITOLA	UNIT.	TRECHO	TOTAL
Primária	100 m	kVA	kVA	MVA x KM	AWG	%	%	%
A	B	C	D	$E=(C/2+D)*B$	F	G	$H=E \times G$	I
A – B	0,15	0	5	0,75	2F+1N # 4CA	0,713	0,535	0,535

De posse destas características elétrica, do sistema de fornecimento de energia elétrica existente, foi realizado, com o apoio do proprietário, o levantamento da carga instalada e a que será instalada, uma vez que a propriedade foi recentemente vendida e o novo proprietário pretende realizar algumas melhorias com instalação de novas cargas (Tabela 9 - Tabela 12). As potências dos equipamentos foram obtidas com base nas normas técnicas TDE-107 (2013), TDE-108 (2013) e TDE-101 (2014).

Tabela 9 – Relação de cargas e de demanda sistema de iluminação e tomada de uso geral.

Item.	Descrição dos Equipamentos	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total Instalada (W)	Fator de demanda	Potencia total demandada
	Ponto de luz externo	3	150	450	1	450
	Ponto de luz interno	10	100	1000	1	1000
	Tomada 600W X 127V	2	600	1200	1	1200
	Tomada 300W x 127V	2	300	600	1	600
	Tomada 100X x 127V	5	100	500	1	500
	Freezer	1	170	170	1	170
	Geladeira	1	350	350	1	350
	Microondas	1	1150	1150	1	1150
	Exaustor	1	100	100	1	100
	Computador	1	320	320	1	320
	Televisão	1	200	200	1	200
	Máquina de lavar	1	500	500	1	500
	Total			6540		6540
Potência ativa Ilum. E Tom.- (kW)		Instalada		Demandada		3540
		10,35		4,24		

Fatores de demanda aplicados conforme a Quadro 1, fator de demanda 100% para os 3 kW primeiros e 35% para o restante.

Tabela 10 – Relação de cargas e de demanda para o sistema de condicionamento de ar

Item.	Descrição dos Equipamentos	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total Instalada (W)	Fator de demanda	Potencia total demandada
	Condicionador de ar 12000 Btu/h	1	1600	1600	1	1600
	Total			1600		1600
Potencia ativa ar condicionado - (kW)		Instalada		Demandada		
		1,6		1,6		

Fatores de demanda aplicados conforme Quadro 3.

Tabela 11 – Relação de cargas e de demanda para o sistema de aquecimento

Item.	Descrição dos Equipamentos	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total (W) Instalada	Fator de demanda	Potencia total demandada
	Chuveiro elétrico	1	4400	4400	0,8	3520
	Forno elétrico	1	1750	1750	0,8	1400
	Total			6150		4920
Potencia ativa aquecimento - (kW)		Instalada		Demandada		
		6,15		4,92		

Fatores de demanda aplicados conforme o Quadro 2.

Tabela 12 – Relação de cargas e de demanda para os motores elétricos

Item.	Descrição dos Equipamentos	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total (W) Instalada	Fator de demanda	Potencia total demandada
	Motor 15 CV X 220V trifásico	1	11038	11038	0,78	8609,64
	Motor 1,5 CV X 220V bifásico	1	1104	1104	0,85	938,40
	Total			12142		9548,04
Potencia ativa motores - (kW)		Instalada		Demandada		
		12,14		9,55		

Fatores de demanda aplicados conforme o Quadro 4.

Substituindo os valores de demanda na Equação 1 é determinado o valor da potência ativa demandada que, dividida pelo valor de fator de potência têm-se o valor da potência aparente a ser atendida pelo sistema (Tabela 13).

Tabela 13 – Potência instalada e de demanda a ser contratada

Potencia ativa total - (kW)	Instalada	Demandada
		30,24
Fator de potência	0,92	
Potência Aparente total (kVA)	22,07	

Diante do valor da potência aparente calculada, pode-se perceber que a capacidade do sistema existente está bastante abaixo da demanda do consumidor, limitando o funcionamento das cargas e conseqüentemente diminuindo a qualidade do fornecimento de energia elétrica ao consumidor. Em razão do posto de transformação estar localizado a uma distância elevada do

ponto de consumo, próximo ao limite máximo permitido que é de 200 m, e pelo fato da Enersul proibir a instalação de novos postos de transformação embaixo de sua rede de média tensão (13,8 kV), foi proposto ao consumidor a substituição da rede de baixa tensão (127/220 V), por uma rede de média tensão (13,8 kV) em travessia sobre rodovia federal, com um posto de transformação trifásico de 30 kVA (13800/220/127V).

Definido o novo sistema de fornecimento de energia, passou-se a realizar o levantamento das características físicas do local a serem instaladas as redes de distribuição, sendo que por já existir uma rede de baixa tensão no local, não foram identificados obstáculos prejudiciais a passagem da rede de distribuição de média tensão (Figura 15 e Figura 16).

Figura 15 – Características visuais do lado de derivação da rede a ser projetada.



Fonte: Próprio autor.

Figura 16 – Características visuais do lado do posto de transformação da rede a ser projetada.



Fonte: Próprio autor.

Com o apoio da equipe da CERGRAND foi realizado o estudo topográfico do local. Após isso, identificou-se que no lado de derivação o poste será instalado a 0,5 metros abaixo do nível mais alto da rodovia e, o lado do posto de transformação encontra-se praticamente no mesmo nível, adotando uma cota de segurança de 0,1 metros abaixo do nível mais alto (Figura 17).

Figura 17 – Levantamento topográfico do local de passagem da rede de distribuição.



Fonte: Próprio autor.

Com estas informações, foi dado início do dimensionamento dos componentes elétricos e estruturais do novo sistema proposto.

4.1 Dimensionamentos da Rede de Distribuição de Energia Elétrica

4.1.1 Dimensionamento dos Condutores e dos Sistemas de Proteção no Lado de Média Tensão (13,8 kV)

Para redes de média tensão, em travessias sobre rodovias, são utilizados Condutores nus de Alumínio com Alma (CAA), com as características da Tabela abaixo.

Tabela 14 – Características elétricas do condutor de alumínio CAA.

Bitola AWG	Código	Formação	Seção Nominal (mm ²)	Resist. a 50°C (Ω/Km)	Reatância Indutiva a 60 Hz (Ω/km)				Corrente admissível 75°C
					Circuito Bifásico (dois fios)	Circuito trifásico			
						ee = 800	ee = 1.322	ee = 1.456	
4	Swan	06/1	24,66	1,5972	0,4825	0,5203	0,5276	0,5284	116
2	Sparrow	06/1	39,25	1,0503	0,486	0,5238	0,5311	0,5319	155
1/0	Raven	06/1	52,47	0,696	0,4814	0,5192	0,5205	0,5273	207
4/0	Pengum	06/1	125,08	0,3679	0,4355	0,4734	0,4806	0,4814	320

Fonte: Norma TDE-108 (2013, p.106)

- Corrente do condutor

Para o cálculo da corrente do condutor, foram utilizados os seguintes dados/informações:

- Média tensão 3 fases + neutro (13,8 kV);
- Fator de potência: 0,92.

A corrente a ser transportada pelo condutor, em sistema trifásico, é determinada por:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} \quad (20)$$

Sendo que:

- I – Corrente no condutor (A);

- S – Potência aparente (kVA);
- U – Tensão do sistema (kV).

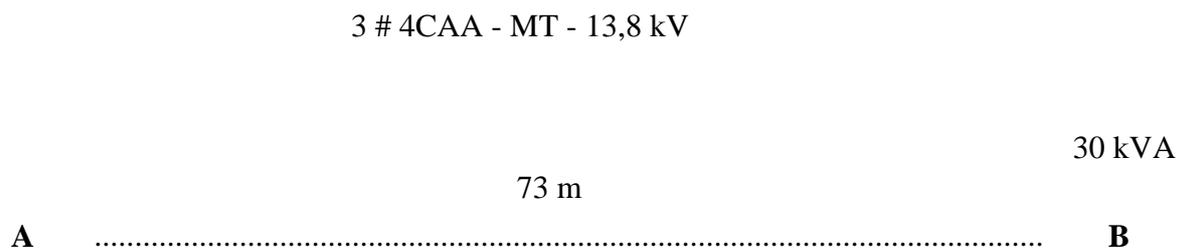
Dessa forma, substituindo-se na Equação 20 os valores de tensão do sistema (13,8 kV) e de potência aparente (30 kVA), chega-se ao valor de corrente a ser transportada pelo condutor que é de 1,25 A. Analisando os valores de corrente admissível dos condutores da Tabela 14, determina-se que o condutor 4AWG-CAA atende perfeitamente a corrente de projeto determinada.

- Queda de tensão

Substituindo-se os valores referentes ao condutor selecionado da Tabela 14 (resistência elétrica igual a 1,5972 Ohms; reatância indutiva, para distancia equivalente entre os condutores de 1456 mm, igual a 0,5276 Ohms/Km e fator de potência de 0,92) na equação para o cálculo da queda de tensão unitária em sistemas trifásico (Equação 2), a queda de tensão unitária da rede dimensionado é de 0,8798%.

A rede dimensionada, apresenta um comprimento de 73 metros e uma carga, como já determinado, de 30 kVA (Figura 18).

Figura 18 - Dados elétricos da rede projetada



Com isso chega-se ao valor da queda de tensão total, da Tabela abaixo:

Tabela 15 – Calculo de Queda de Tensão da Rede.

TRECHO		CARGA			CONDUTOR	QUEDA DE TENSÃO		
DESIG.	DIST.	DISTRIB. TRECHO	ACUMUL. TRECHO	TOTAL	BITOLA	UNIT.	TRECHO	TOTAL
Primária	KM	MVA	MVA	MVA x KM	AWG	%	%	%
A	B	C	D	$E=(C/2+D)*B$	F	G	$H=E \times G$	I
A – B	0,073	0,000	0,030	0,002	3#4CAA	0,8798	0,00193	0,00193

Conforme a norma técnica TDE-107 (2013), em pontos mais desfavoráveis da rede primária a queda de tensão total, não deve ultrapassar a 5%. Como o valor total de queda de tensão da rede dimensionada está abaixo deste valor, não é necessária a troca do condutor selecionado para um de maior seção.

-Sistema de proteção para sobrecorrente e sobretensão

Conforme a Tabela 2, para proteção contra sobrecorrente, deverá ser utilizado um jogo de chave fusível 15 kV XS 100 A, com elos fusíveis de 2H.

Para proteção contra descargas atmosféricas de acordo com a norma técnica TDE-101 (2014) e TDE-108 (2013), são utilizados para-raios do tipo óxido de zinco, classe 1, com base isolante e desligador automático. A tensão nominal dos para-raios deve ser de 12 kV em sistema de média tensão (13,8 kV). A corrente nominal de descarga dos para-raios para o caso é de 10 kA (área rural).

4.1.2 Dimensionamento dos Condutores e do Sistema de Proteção no Lado de Baixa Tensão (220/127V)

A conexão entre o secundário do transformador e o sistema de medição é realizada por meio de condutores de cobre isolados em eletrodutos sobreposto à parede (B1), sendo 3 condutores carregados, com as características elétricas da Tabela 16.

Tabela 16 – Capacidade de condução de corrente para condutores de cobre, em amperes.

Isolação: PVC
Temperatura no condutor: 70°C
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179

Fonte: NBR-5410 (2008, p.101)

Utilizando a Equação 20, sabendo que a potência aparente de projeto é de 30 kVA e a tensão do sistema no lado de baixa é de 0,22 kV, chega-se que a corrente é de 78,73 A. Com isso a partir da Tabela 16, para instalação em eletroduto sobreposto (B1), o condutor de cobre isolado que atende à capacidade de condução de corrente determinada é o de 25 mm².

-Queda de tensão

Sabendo que a queda de tensão não deve ser superior a 7%, que a tensão entre fase do sistema é 220 V, com corrente de projeto igual a 78,73 A, fator de potência de 0,92, e conforme a Tabela 17 para o condutor de 25 mm² a resistência elétrica é de 0,87 mΩ/m e a reatância indutiva de 0,12 mΩ/m, considerando que o comprimento do condutor, para realizar a conexão entre o secundário do transformador e o sistema de medição é de aproximadamente 10 metros, a partir da Equação 8, têm-se que a queda de tensão neste trecho é de 0,53%, bastante inferior ao valor permitido, o que assegura que a seção do condutor selecionado atende as exigências.

Tabela 17 - Resistências elétricas e reatâncias indutivas de fios e cabos isolados em PVC, EPR e XLPE em condutos fechados.

Seção (mm ²)	Condutos não-magnéticos Circuito FN/FF/3F	
	Resistencia (mΩ/m)	Reatância (mΩ/m)
1,5	14,48	0,16
2,5	8,87	0,15
4	5,52	0,14
6	3,69	0,13
10	2,19	0,13
16	1,38	0,12
25	0,87	0,12
35	0,63	0,11
50	0,47	0,11
70	0,32	0,10
95	0,23	0,10

Fonte: PIRELLI

-Sistema de proteção para sobrecorrente

De acordo com a metodologia, na proteção de sobrecorrente no lado de baixa são utilizados os disjuntores, sendo que para o projeto foram utilizados os disjuntores da SIEMENS (Tabela 18), que estão de acordo com a NBR-60898 (2004).

Tabela 18 - Características dos disjuntores

Corrente nominal	Tipo Curva C (disparo em curto circuito 5 a 10 x I _n)		
	monopolar	bipolar	tripolar
63 A	5SP4 163-7	5SP4 263-7	5SP4 363-7
80 A	5SP4 180-7	5SP4 280-7	5SP4 380-7
100 A	5SP4 191-7	5SP4 291-7	5SP4 391-7
125 A	5SP4 192-7	5SP4 292-7	5SP4 392-7

Fonte: SIEMENS, (2014)

Conforme já calculada a corrente de projeto é de 78,73 A. Sendo assim, conforme a metodologia, o disjuntor que atende é o tripolar 5SP4 380-7 com corrente nominal de 80 A.

Considerando que a temperatura limite de sobrecorrente dos condutores não venha ser mantida por um período de tempo superior a 100 horas durante 12 meses consecutivos ou 500 horas ao longo da vida útil do condutor têm-se:

$$K \times I_c \leq 1,45 \times I_{nc}$$

K = Fator de multiplicação, sendo que, de acordo com a norma NBR-60898 (2004), este valor é de 1,45;

I_c – Corrente nominal ou de ajuste do disjuntor;

I_{nc} – Corrente nominal do condutor, que para o caso o condutor de 25mm nas condições de instalação este valor é de 89 A.

Substituindo o valor na Equação 10 e 12 chega-se:

$$1,45 * 80 \leq 1,45 * 89$$

$$116 \leq 129,05$$

Diante deste resultado, conclui que o condutor de 25mm e o sistema de proteção de sobrecorrente atende às condições de projeto.

4.1.3 Determinação do Diâmetro do Eletroduto

Apesar do eletroduto ser instalado de maneira sobreposta no poste, em instalações de pequeno e médio porte, por não ter risco de danos e apresentar condutores de seção pequena, utiliza-se eletrodutos de PVC, com as características da tabela abaixo:

Tabela 19 - Área útil dos eletrodutos rígido de PVC, tipo rosqueado.

Dimensões do Eletroduto				
Tamanho	Rosca	Diâmetro Externo	Espessura da parede	Área útil
	pol	mm	Mm	mm ²
16	1/2	21,1	2,5	196,0
20	3/4	26,2	2,6	336,0
25	1	33,2	3,2	551,0
32	1.1/4	42,2	3,6	945,0
40	1.1/2	47,8	4,0	1219,0
50	2	59,4	4,6	1947,0

Fonte: DAISA, (2014)

Já os condutores utilizados apresentam as seguintes características:

Tabela 20 - Características dimensionais dos condutores

Seção Nominal (mm ²)	Condutores Isolados	
	Espessura da Isolação (mm)	Diâmetro Externo (mm)
1,5	0,7	3,0
2,5	0,8	3,7
4,0	0,8	4,3
6,0	0,8	4,9
10,0	1,0	5,9
16,0	1,0	6,9
25,0	1,2	8,5
35,0	1,2	9,6
50,0	1,4	11,3
70,0	1,4	12,9

Fonte: MAMEDE, (2007, p.158)

Para o caso do projeto o condutor selecionado é de 25 mm², e por ser um circuito trifásico, no eletroduto estará presente 3 condutores de fase e 1 neutro, todos de mesma seção. Com isso a partir da Equação 13 e do valor de diâmetro externo do condutor (Tabela 20), tem-se que a seção ocupada pelos condutores é de 226,98 mm².

Por tanto, a partir dos dados de área útil do eletroduto da Tabela 19, considerando a taxa de ocupação de 40%, o eletroduto que atende as condições é o de tamanho 32 (1 ¼ pol).

4.2 Sistema de Aterramento

O aterramento, de acordo com as recomendação das normas técnicas TDE-107 (2013) e TDE-108 (2013), é feito com cabo de cobre nu com seção de 25 mm². Conforme já mencionado de acordo com a norma, em qualquer época do ano, a resistência do sistema de aterramento deve ser inferior a 25 Ohms, sendo assim empregadas, com base em estudos da resistividade do solo, da região de Dourados MS, seis hastes do tipo cooperweld 5/8"x2400mm. Em sistemas trifásicos, todas as ligações dos condutores de terra são interligados (para-raios, carcaça de medição e neutro do transformador).

4.3 Dimensionamentos Mecânicos

4.3.1 Cálculo da Tração dos Condutores

A partir dos dados da Tabela 21, para o condutor 4AWG-CAA, considerando um valor de 18%, (conforme norma TDE-108), em relação à tração de ruptura, a tração de projeto é de aproximadamente 140 daN.

Tabela 21 – Características mecânicas do condutor CAA.

Bitola AWG	Código	Formação	Seção Nominal (mm ²)	Diâmetro (mm)	Peso kg/Km	Carga de Ruptura (daN)
4	Swan	6/1	24,66	6,35	85,4	782
2	Sparrow	6/1	39,25	8,02	135,92	1189
1/0	Raven	6/1	52,47	10,11	218,34	1823
4/0	Pengum	6/1	125,08	14,91	433,16	3529

Fonte: Norma TDE-108 (2013, p.106)

4.3.2 Cálculo da Altura e Tração dos Postes

Para determinar a tração a ser suportada pelos postes e sua altura, primeiramente deve-se determinar a altura de aplicação dos condutores. Para isso, determina-se o valor da flecha máxima (Equação 15) (Tabela 22).

Tabela 22 – Determinação da flecha máxima.

Flecha máxima	
Dados	
Coef. de redução	0,6
Coef. de forma (condutor circ.)	1,1
Velocidade vento (km/h)	80,0
Diâmetro condutor (4CAA, (Tabela 21)) (m)	0,01
Peso linear condutor (4CAA, (Tabela 21)) (kg/m)	0,1
Coef. de sobrecarga	1,0
Comprimento condutor (m)	73,0
Tração de montagem (condutor 4CAA) (daN)	140,0
Calculado	
Tração sobrecarga vento (F) (daN)	0,2
Pressão do vento (Pa)	48,3
Flecha max.	0,4

Com o valor da altura estabelecida por norma entre os condutores e o solo (Figura 11), somado ao valor da flecha máxima calculada, encontra-se o valor necessário de aplicação dos condutores (Tabela 23).

Tabela 23 – Determinação da altura dos condutores

Altura do condutor lado de derivação	
Flecha max. (m)	0,4
Cota rodovia (m)	0,5
Altura rede em rodovias (m)	7,0
Altura min. aplicação condutor (m)	7,9
Altura condutor lado do transformador	
Flecha max. (m)	0,4
Cota rodovia (m)	0,1
Altura rede em rodovias (m)	7,0
Altura min. aplicação condutor (m)	7,5

Com base na norma NBR-15688 (2013) (Figura 12), a altura de instalação do condutor, no lado de derivação, foi determinado considerando um afastamento da rede primária de 0,8 metros, sendo que a altura da rede primária, para cada altura de poste, está especificado na Tabela 24.

Tabela 24 - Altura dos condutores do solo. (H- Altura da rede primária; Ht – Altura de redes telefônicas; Hs – Altura da rede secundária; e - Esgastamento).

Poste	E	H	Ht	Hs
9	1,50	7,30	5,50	6,30
11	1,70	9,10	5,50	6,30
12	1,80	10,00	5,50	6,30

Fonte: Norma TDE-107 (2013, p.66)

A partir destes dados foi determinada a altura dos postes em cada ponto de instalação (Tabela 25).

Tabela 25 – Postes selecionados

Poste selecionado lado de derivação	
Altura min. aplicação condutor (Tabela 23) (m)	7,9
Distância entre red. primária e de derivação (m)	0,8
Altura mínima da rede primária	8,7
Altura do poste selecionado(m)	11
Altura da rede primaria para poste selecionado	9,1
Altura aplicação do condutor de derivação (m)	8,3
Poste selecionado lado do transformador	
Altura min. aplicação condutor (Tabela 23) (m)	7,5
Altura do poste selecionado (m)	11
Altura aplicação do condutor	9,1

De acordo com a metodologia descrita, para determinação da tração a ser suportada pelos postes, é necessária a determinação da tração total dos condutores a eles conectados no ponto de aplicação, transferido a 20 cm do topo (Equação 14). A partir do valor de tração de projeto de cada condutor determinado (140 daN), da altura dos postes (Tabela 25) e da resistência nominal dos postes (Tabela 26), foi determinada a tração dos postes em cada ponto de instalação (Tabela 27). Por ser uma rede trifásica a tração total no poste é 3 vezes o valor da tração de cada condutor.

Tabela 26 – Resistencia nominal dos postes

Comprimento do poste (m)	Resistencia nominal (daN)
	Poste circular de concreto
11	300
	600
	1000
	1500
12	300
	600
	1000
	1500
13	600
	1000
	1500

Fonte: Norma TDE-107 (2013, p.113)

Tabela 27 – Determinação da tração dos postes.

Tração no poste a 20cm do topo lado de derivação	
Tração do condutor (daN)	140,0
Tração total no ponto de aplicação dos condutores (daN)	420,0
Altura do poste (m)	11,0
Altura do condutor (m)	8,3
Altura condutor a 20cm do topo (m)	9,1
Tração dos condutores a 20cm do topo (daN)	383,1
Tração do poste selecionado (daN)	600,0
Tração no poste a 20cm do topo lado do transformador	
Tração condutor (daN)	140,0
Tração total no ponto de aplicação condutores (daN)	420,0
Altura do poste (m)	11,0
Tração dos condutores a 20 cm do topo (daN)	420,0
Tração do poste selecionado (daN)	600,0

Em razão do local de instalação dos postes ser de propriedade particular, e por apresentar circulação de veículos, não foi instalado estai, sendo selecionados postes com tração nominal superior a tração proporcionada pelos condutores.

De acordo com os padrões da cooperativa, nas estruturas intermediárias da redes, como é suportado apenas o peso do condutor, são utilizadas cruzetas de 250 kgf, e nas estruturas de fim de linha, são selecionadas cruzetas com tração nominal superior a tração dos condutores a ela conectados.

4.4 Relação de Materiais

A partir dos dimensionamentos realizados, e das recomendações das normas técnica TDE-101 (2014) e TDE-108 (2013), para subestações de até 30 kVA, sem mureta, foi obtido, para o projeto, a relação de materiais (Tabela 28) e no Anexo 1 encontra-se a planta baixa da rede projetada.

Tabela 28 – Lista de materiais da rede de distribuição e do posto de transformação.

REDE DE DISTRIBUIÇÃO				
Itens	Descrição dos Materiais	Unid.	Qtde Nova	Qtde Reaprov.
1	Alça pré-formada	pç	40	0
2	Arame de ferro galvanizado nº 12 BWG	kg	1	0
3	Areia	m³	0,2	0
4	Arruela alumínio 1 1/2"	pç	2	0
5	Arruela quadrada 57mm (2 1/4") com furos Ø 18mm (11/16")	pç	33	0
6	Bucha de alumínio 1 1/2"	pç	4	0
7	Cabo de alumínio 4CAA	kg	19	0
8	Cabo nu de cobre 25mm	kg	10	0
9	Caixa medição trifásica	pç	1	0
10	Chave fusível 15 kV 100A "XS"	pç	3	0
11	Cimento	sc	3	0
12	Conector cunha 1/0 25mm	pç	3	0
13	Conector cunha cinza tipo 1	pç	9	0
14	Conector para haste de terra cooperwed	pç	6	0
15	Cruzeta de concreto 70 X 90 X 2000 mm (400 kgf)	pç	4	0
16	Curva de 135°	pç	2	0
17	Disjuntor termomagnético 80 A	pç	1	0
18	Eletroduto de PVC rígido de Ø 1 1/4"	pç	3	0
19	Elo fusível 2H	pç	3	0
20	Fio de cobre nú 25mm	kg	3	0
21	Haste de terra cooperweld 5/8"x2400mm	pç	6	0
22	Isolador castanha 60x80mm para cerca	pç	20	0
23	Isolador de suspensão polimérico 15 kV	pç	6	0
24	Isolador tipo pilar - 15 kV	pç	4	3
25	Laço para cabo de alumínio 4CAA - 15 kV	pç	4	0
26	Luva de PVC 1 1/2"	pç	3	0
27	Mão francesa normal de 726 mm	pç	10	0

Tabela 28 – Lista de materiais da rede de distribuição e do posto de transformação.

REDE DE DISTRIBUIÇÃO				
Itens	Descrição dos Materiais	Unid.	Qtde Nova	Qtde Reaprov.
29	Paraf. De máq. Rosca total 5/8"x180mm	pç	1	0
30	Paraf. De máq. Rosca total 5/8"x200mm	pç	2	0
31	Paraf. De máq. Rosca total 5/8"x250mm	pç	1	0
32	Paraf. Passante 400mm	pç	3	0
33	Paraf. Passante 450mm	pç	3	0
34	Para-raios de distribuição de 12 kV	pç	3	0
35	Pedra brita	m ³	0,2	0
36	Pino auto travante para isolador tipo pilar (169mm)	pç	4	0
37	Poste de concreto D.T. 11/600 kgf	pç	2	0
38	Suporte para caixa de medição	pç	2	0
39	Suporte para instalação de transformador	pç	2	0
40	Transformador 3 - 30 kVA com suporte de para-raios	pç	1	0

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Disposto em 5 Capítulos, o presente trabalho teve por objetivo a realização de um projeto de distribuição de energia elétrica em média tensão. Para tanto, utilizou-se da experiência obtida na realização do estágio supervisionado na CERGRAND.

Dada a relevância da energia elétrica em uma sociedade, percebe-se que o fornecimento deste recurso com qualidade é de suma importância. Com a realização deste trabalho foi possível perceber ainda, que o projeto de um sistema para fornecimento de energia elétrica, apresenta um grau de importância elevado para garantir a qualidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais.

Dentre as etapas do projeto, destaca-se a etapa de levantamento de dados do local a ser instalada a rede de distribuição, pois é, sem dúvida, uma das mais relevantes para a realização do projeto, exigindo um nível maior de conhecimento e de experiência do projetista, principalmente porque o levantamento incorreto das características do local de instalação pode acarretar um dimensionamento deficiente dos componentes da rede de distribuição, levando ao não atendimento da qualidade do fornecimento de energia aos consumidores, e/ou aumentando o custo do projeto desnecessariamente. As demais etapas, além do conhecimento na área de projetos e de sistemas elétricos de potência, requerem maior atenção do projetista, em relação às exigências contidas em normas de projetos de redes de distribuição.

Outro ponto importante, não só na elaboração do projeto, mas principalmente em sua execução, é a segurança, tanto da equipe de obra, como dos consumidores conectados à rede. Sendo assim é necessário na execução das obras, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), Equipamentos de Proteção Coletivos (EPC), além de realizar os desligamentos e aterramentos necessários na rede, para a execução do serviço. Ao final da obra é necessário ainda, que se faça uma verificação criteriosa da obra antes de sua ligação ou religação, para assegurar que os equipamentos estão corretamente instalados.

Com o estudo de caso apresentado, foi possível notar que, além de realizar o fornecimento de energia elétrica em locais que ainda não apresentam o acesso a este recurso, é importante realizar também uma avaliação periódica dos sistemas de fornecimentos de energia elétrica existentes, verificando se a qualidade do fornecimento é mantida e, principalmente se o sistema está atendendo a demanda do consumidor, evitando assim danos no próprio sistema e nos equipamentos do consumidor. Além disso, possibilita que os

consumidores, em especial os consumidores rurais, ampliem e modernizem seus sistemas de produção, sem que capacidade do fornecimento de energia elétrica seja um limitador.

Ressalta-se que o projeto básico que deu origem a esse trabalho encontra-se em fase final de análise pela cooperativa e a sua execução deverá ser iniciada tão logo o projeto seja aprovado.

5.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**, Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, 5ª Revisão, 2012.

ALMEIDA, M. A. D., **Apostila de Proteção de Sistemas Elétricos**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5410**. Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-60898**. Disjuntores para Proteção de Sobrecorrentes para Instalações Domésticas e Similares, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15688**. Redes de Distribuição Aérea de Energia Elétrica com Condutores Nus, Rio de Janeiro, 2013.

CAVALIN, G.; CERVELIN, S., **Instalações Elétricas Prediais**, 14ª ed., São Paulo: Érica, 2005. 421 p.

DAISA, Eletrodutos de PVC Classe A, com ou sem rosca, nas cores preta, cinza, branca ou vermelha, Embu-SP, 2014. Catálogo de Eletrodutos. Disponível em: http://www.daisa.com.br/fichas/eletrodutos_de_pvc.htm Acesso em: 05 Abr. 2014.

DELMAR – Fábrica de Peças Elétricas, Chave Fusível Religadora “DHC-R”, 2006. 6 p. Catálogo de produtos para redes de distribuição, Disponível em: <http://www.ibrap.com.br/PDF/DHC-R.PDF> Acesso em: 05 Abr. 2014.

FAGUNDES, L. D.; ALMEIDA, D. A.; LEAL, F. **Metodologia de Gestão de Falhas para Empresas do Setor Elétrico**, XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (03 a 05 de Nov. de 2004: Florianópolis, SC), Florianópolis, 2004.

GALVÃO, C. D. B., **Redes eléctricas de média e baixa tensão Aspectos de Projeto, Licenciamento e Exploração em Contexto Operacional**, 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica), Universidade do Porto, Portugal, 2010.

GIGUER, S., **Proteção de Sistemas de Distribuição**, Porto Alegre: SAGRA, 1988. 343 p.

GOMES, D. S. F.; MACEDO, F. F.; GUILLIOD, S. M., **Aterramento e Proteção Contra Sobretensões em Sistema Aéreos de Distribuição**, Coleção Distribuição de Energia Elétrica, Vol. 7, Ed. Universitária, Rio de Janeiro, 1990.

KAGAN, N.; ROBBA, E. J; OLIVEIRA, C. C. B., **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**, São Paulo: Edgard Blusher, 2005.

LAMIM, B. C. F., **Gerenciamento de Projetos Aplicado ao Planejamento do Sistema Elétrico de Distribuição: Estudo de Caso**, 131 f. Dissertação (Mestrado Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LIRA, G. N., **Algoritmo de Reconfiguração Ótima de Sistema de Distribuição de energia Elétrica Visando a Minimização de Perdas**, 39 f. Trabalho de conclusão de curso, (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LISBOA, M. T., P Policy Cycle e o Programa "Luz Para Todos", **Encontro Internacional Participação, Democracia e Políticas Públicas: Aproximando Agendas e Agentes**, Universidade do Estado de São Paulo, Araraquara, 2013.

MAMEDE, J. F., **Instalações Elétricas Industriais**, 7º ed., São Paulo: LTC, 2007. 908 p.

NADAUD, G. C. A., **Acesso à Energia Elétrica de Populações Urbanas de Baixa Renda: O Caso das Favelas do Rio de Janeiro**, 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NAKAGUISHI, M. I.; HERMES, P. D., **Estudo Comparativo Técnico/Financeiro para Implantação de Redes de Distribuição Subterrâneas**, 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso, (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PARADELO, J. R. C., **Proteção de Sobrecorrente em Sistema de Distribuição de Energia Elétrica Através de Abordagem Probabilística**, 233 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREIRA, M. G. et al. Avaliação dos Impactos Socioeconômicos de Projetos Energéticos – Eletrificação Rural: Área de Concessão da ENERSUL – MS. **Perspectiva Econômica**, São Leopoldo, v. 1, n. 2, p.31-47, jul./dez. 2005.

PIRELLI – Condutores elétricos, Tabelas de Dimensionamentos, 28 p. Disponível em: http://www.feng.pucrs.br/~fdosreis/ftp/Tese/QEE/QEE_ANEXO1.pdf Acesso em: 05 Mai. 2014.

ROCHA, R. C. C.; BERRÊDO, R. C.; BERNIS, R. A. O. et al. **New Technologies, Standards, and Maintenance Methods in Spacer Cable Systems**, IEEE Transactions on Power Delivery, v. 17, n.2 abr. 2002.

SALMAZO, F.; SUCHEVICZ, L.; TONETTI, M., **Estudo Comparativo Técnico-econômico Entre Redes de Distribuição Convencional e Compacta Protegida Estudo de Caso: Alimentadores Urbanos da Superintendência de Distribuição Leste da Copel**, 141 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SEGATTO, A. G., **Estudo e Projeto de Rede Elétrica Compacta Protegida**, 89 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

SIEMENS, Disjuntores mono/ bi / tri / tetrapolares 5SX, 5SP, 5SY, São Paulo, 2014. 4 p. Catálogos de produtos elétricos de baixa tensão. Disponível em:

http://www.siemens.com.br/templates/get_download2.aspx?id=1277&type=FILES Acesso em: 05 Abr. 2014.

SILVA, M. R., **Avaliação de Alternativa para Eletrificação Rural no Contexto dos Programas de Universalização do Atendimento de Energia no Brasil**, 179 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energia Elétrica), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SILVEIRA, F. T.; GALVANI, G. T. A.; SOUZA, E. D., Coordenação Entre Religador e Seccionalizador em redes de distribuição, **Revista E-Xacta**, Belo Horizonte, v. 4, n.3, p. 219-225. (2011). Editora: UniBH.

SOUZA, M. P. M. G., **Coordenação da Proteção de um Sistema Elétrica de Potência Interligado Utilizando Réles de Sobrecorrente e de Distância**, 164 f., Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

TDE-101 (2014). Manual Técnico de Distribuição, Fornecimento de tensão Primária 13,8 kV, Enersul, 2014, 108p. Disponível em: <http://www.enersul.com.br/files/2012/06/NOR-TDE-101-Fornecimento-de-Energia-El%C3%A9trica-em-Tens%C3%A3o-de-Distribui%C3%A7%C3%A3o-Prim%C3%A1ria-138-Kv.pdf> Acesso em: 15 Abr. 2014.

TDE-107 (2013). Redes de Distribuição Aéreas Urbanas, Enersul, 2013, 118p. Disponível em: <http://www.enersul.com.br/files/2012/06/NOR-TDE-107-Redes-de-Distribui%C3%A7%C3%A3o-A%C3%A9rea-Urbana.pdf> Acesso em: 05 Abr. 2014.

TDE-108 (2013). Redes de Distribuição Aéreas Rurais, Enersul, 2013, 132p. Disponível em: <http://www.enersul.com.br/files/2012/06/Redes-De-Distribui%C3%A7%C3%A3o-A%C3%A9reas-Rurais-NOR-TDE-108.pdf> Acesso em: 05 Abr. 2014.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G. et al. **A geração de Energia Elétrica em Comunidades Isoladas na Amazônia a Partir de Biomassa Sustentável: Projeto ENERAD**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA - XIII CBE, 13., 2010, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Cenbio, 2010. p. 383 - 396. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/espanol/publicaciones.htm>. Acesso em: 09 Abr. 2014.

VICENTE, E. P., **A Energia e o Desenvolvimento Local no Ambiente Rural**, 226 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Local) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2003.

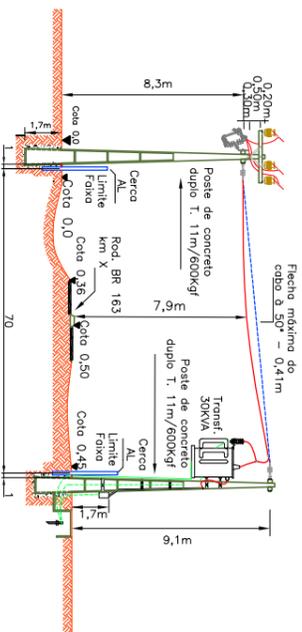
ANEXO 1

**PLANTA BAIXA DA REDE PROJETADA
E DETALHES DAS ESTRUTURAS E DA TRAVESSIA**

Projeto Rede de Distribuição em Média Tensão 13,8 kV

Detalhe Perfil da Trovessia

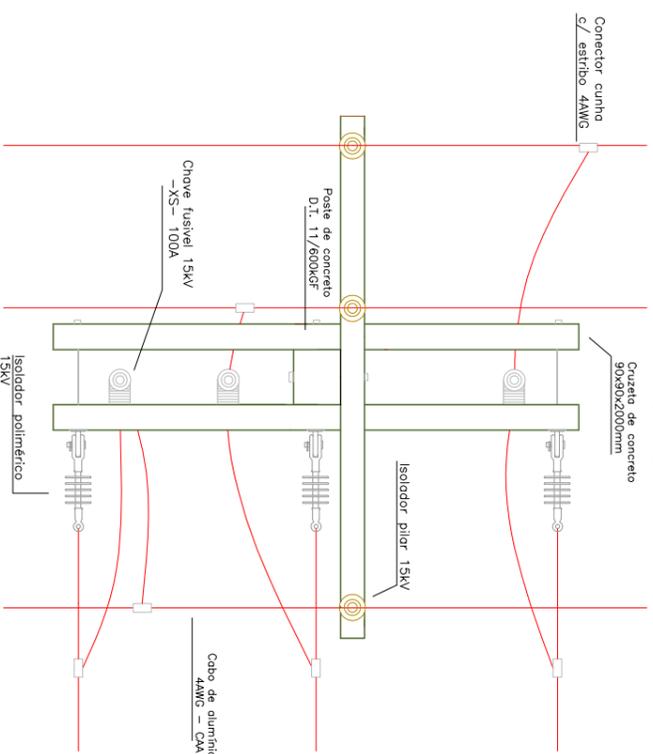
Esc. Horizontal – 1:1000
Esc. Vertical – 1:200



Detalhe

Estrutura Primária NI-N3 em Planta

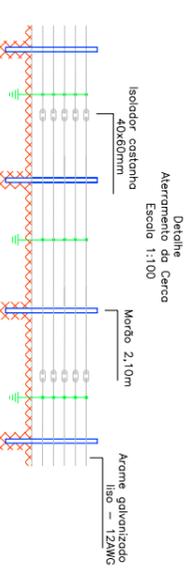
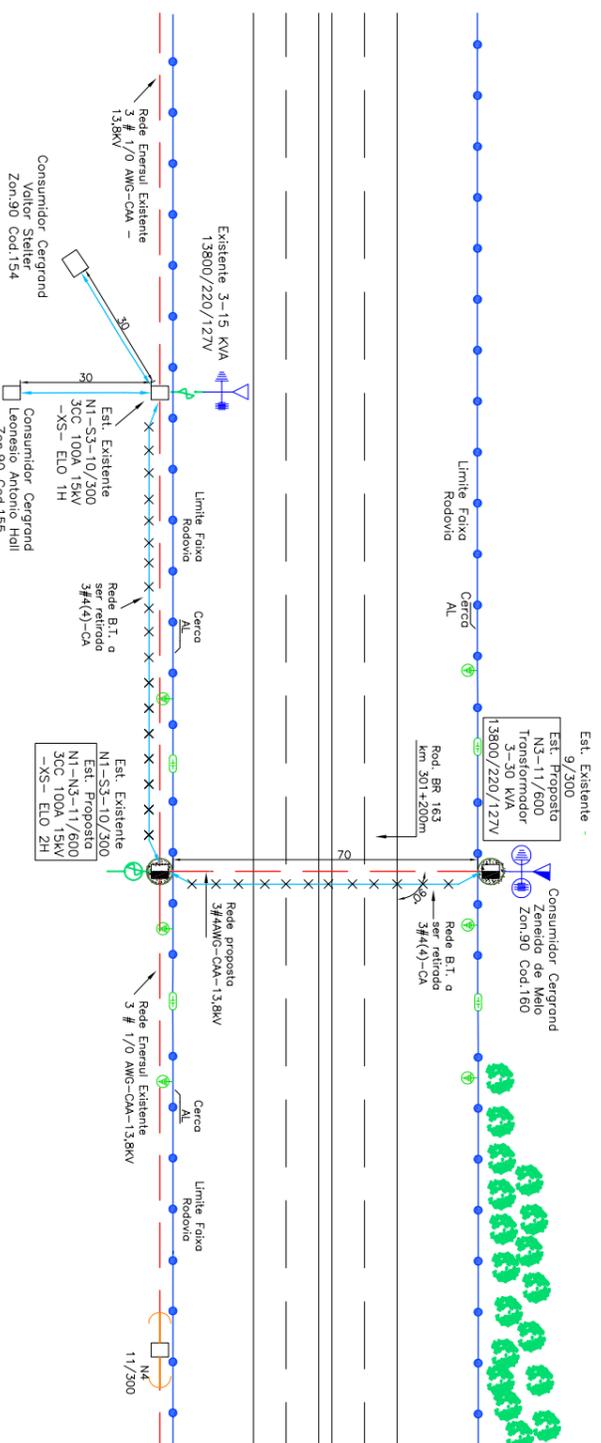
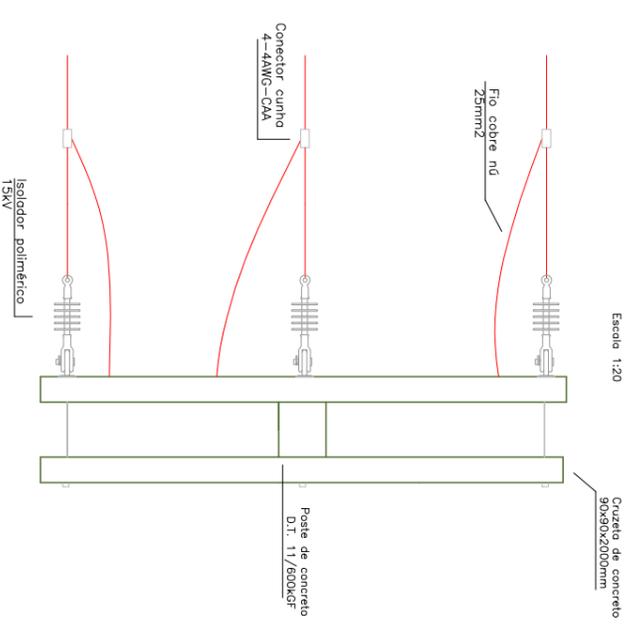
Escala 1:20



Detalhe

Estrutura Primária N3 em Planta

Escala 1:20



Segurança em 1º lugar



DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA

Nome do cliente: _____
UC n.º: _____
Nº medidor: _____
Nº da SS: _____
Dt da ligação: _____

COOP. DE ENERG. E DESENV. RURAL DA GRANDE DOURADOS

DEPARTAMENTO DE PROJETOS E CONSTRUÇÕES DE REDE ELÉTRICA

TÍTULO: Construção de 73m de R.D.R., classe tensão 13,8kV, com Poste de Transformação de 30kVA trifásico.

ELABORADO: Abdimar Moreno

Res. Técnico: Antonio C. Figueiredo

PROPRIETÁRIO: Coop. Cergrand

ESCALA: S/ escala

DATA: 14/05/2014

LOCAL: Rod. BR. 163 Lot. 4

FORMATO: A3

FOLHA: Única

MUNICÍPIO: Dourados – MS