

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
LUCAS VINÍCIUS RIBEIRO**

**ESTUDO DE CASO: PROJETO DE EXPANSÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE
ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA
CIDADE DE ARCOS - MG**

**FORMIGA – MG
2017**

LUCAS VINÍCIUS RIBEIRO

**ESTUDO DE CASO: PROJETO DE EXPANSÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE
ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA
CIDADE DE ARCOS - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

FORMIGA – MG

2017

LUCAS VINÍCIUS RIBEIRO

**ESTUDO DE CASO: PROJETO DE EXPANSÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE
ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA
CIDADE DE ARCOS - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto
Federal de Minas Gerais como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Elétrica.

Avaliado em: ____ de _____ de _____.

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

Prof. Msc. Ana Paula Lima dos Santos
Avaliador

Eng. Eletricista Luiz Fellipe Silveira
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, o maior responsável por essa conquista, por me dar forças diante das dificuldades, me proporcionando fé e perseverança perante os obstáculos que vieram ao meu caminho.

Agradeço aos meus pais Aparecido Jesus e Andrea Beato, por todo apoio oferecido, não apenas durante a realização deste trabalho, como durante toda a minha vida.

Agradeço ao meu orientador Dr. Renan Souza Moura, pelo exemplo de profissionalismo, pelas dicas, conselhos e por estar sempre pronto para ajudar durante todo o desenvolvimento do projeto.

Agradeço a Karen Mendonça por todo companheirismo e paciência durante esse período de desenvolvimento e também por sempre ter me incentivado, acreditando que essa conquista seria possível.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresentará as etapas de dimensionamento de um projeto de expansão de linhas aéreas de distribuição de energia elétrica. Tal projeto atenderá a demanda do loteamento Parque da Floresta localizado no município de Arcos - MG. Os parâmetros que serão utilizados são os requisitados pela concessionária que atende o respectivo município, a Companhia Energética de Minas Gerais S.A - CEMIG. Pretende-se também realizar uma análise financeira desta obra do ponto de vista da concessionária.

O trabalho aborda conceitos de Sistemas Elétricos de Potência com ênfase em distribuição de energia elétrica, aplicando e demonstrando a confecção do projeto, após as coletas dos dados topográficos realizados no local. Ao longo do presente trabalho será aplicada a metodologia de cálculo apresentada pela CEMIG, utilizada como material de apoio.

Como contribuições pode-se citar o fato de fornecer embasamento e subsídio para confecções de projetos de distribuição de energia, proporcionando maior robustez do referencial sobre a temática, além de uma estimativa de retorno de investimento para tal tipo de empreendimento.

Palavras chave: Distribuição de energia elétrica - Sistemas elétricos de potência - Projeto.

ABSTRACT

This Work of Completion of Course will present the steps of designing an expansion project of electric distribution lines. This project will meet the demand of the Parque dos Florestas allotment located in the municipality of Arcos - MG. The parameters that will be used are those requested by the concessionaire that attends the respective municipality, Companhia Energética de Minas Gerais SA - CEMIG. It is also intended to carry out a financial analysis of this work from the concessionaire's point of view.

The work deals with concepts of Electric Power Systems with emphasis on electrical energy distribution, applying and demonstrating the design of the project, after collecting the topographic data made on the spot. Throughout the present work will be demonstrated the calculation methodology presented by CEMIG, used as support material.

As contributions we can mention the fact of providing base and subsidy for confection of projects of energy distribution, providing greater robustness of the reference on the subject.

Keywords: Distribution of electric power - Power systems - Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de um SEP.....	15
Figura 2 - Exemplo de sistema de distribuição de energia elétrica.	17
Figura 3 - Disposição unilateral.....	28
Figura 4 - Disposição bilateral alternada.....	28
Figura 5 - Disposição bilateral frente a frente.....	29
Figura 6 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CE1.....	32
Figura 7 - Esboço de uma estrutura CE1.....	32
Figura 8 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CE2.....	33
Figura 9 - Esboço de uma estrutura CE2 - Vista lateral e superior respectivamente.	33
Figura 10 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CE3.....	34
Figura 11 - Esboço de uma estrutura CE3 - Vista lateral e superior respectivamente.	34
Figura 12 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CE4.....	35
Figura 13 - Esboço de uma estrutura CE4 - Vista lateral e superior respectivamente.	35
Figura 14 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CEJ1.....	36
Figura 15 - Esboço de uma estrutura CEJ1 - Vista lateral e superior respectivamente.	36
Figura 16 - Estrutura SI-1.....	37
Figura 17 - Estrutura SI-3.....	37
Figura 18 - Estrutura SI-4.....	38
Figura 19 - Loteamento Parque da Floresta.....	42
Figura 20 - Alocação de postes - Quadras G, I e J.	44
Figura 21 - Alocação de postes - Quadras A, C, D e F.	45
Figura 22 - Alocação de postes - Quadra K e L.	45
Figura 23 - Simbologia utilizada (Alocação de postes).....	46
Figura 24 - Possíveis postes atendidos pelo transformador A.	47
Figura 25 - Possíveis postes atendidos pelo transformador B.	48
Figura 26 – Possíveis postes atendidos pelo transformador C.	49
Figura 27 - Circuito equivalente - Transformador A.....	51

Figura 28 - Circuito equivalente - Transformador B.....	52
Figura 29 - Circuito equivalente - Transformador C.	54
Figura 30 - Circuito de média tensão - Transformadores B e C.	55
Figura 31 - Circuito de média tensão - Transformadores A e B.	55
Figura 32 - Entrada de dados - Circuito transformador A.....	57
Figura 33 - Entrada de dados - Circuito transformador B.....	57
Figura 34 - Entrada de dados - Circuito transformador C.....	58
Figura 35 - Trecho 00 - 01 do lado direito (Circuito A).	61
Figura 36 - Trecho 01 -04 do lado direito (Circuito A).	61
Figura 37 - Trecho 01 - 05 da derivação 1 (Circuito A).	62
Figura 38 - Trecho 00 - 01 do lado esquerdo (Circuito A).	63
Figura 39 - Trecho 01 - 06 do lado esquerdo (Circuito A).	64
Figura 40 - Trecho 01 - 02 da derivação 2 (Circuito A).	65
Figura 41 - Trecho 00 - 03 da derivação 3 (Circuito A).	66
Figura 42 - Estrutura SI-1.....	71
Figura 43 - Estrutura SI-3.....	72
Figura 44 - Estrutura SI-1D.	73
Figura 45 - Exemplo de estrutura CE1.....	75
Figura 46 - Exemplo de estrutura CE3 com transformador trifásico.....	76
Figura 47 - Exemplo de estrutura CEM4 com chave fusível.....	76
Figura 48 - Exemplo de estrutura CE3-CE3.....	77
Figura 49 - Exemplo de estrutura CEJ2 com instalação de transformador trifásico. .	78
Figura 50 - Exemplo de estrutura CE2 com afastamento de rede passante em ângulo.	78
Figura 51 - Exemplo de estrutura CE3.....	79
Figura 52 - Exemplo de estrutura CE4.....	80
Figura 53 - Entrada de dados para o poste 28.....	81
Figura 54 - Resultados do dimensionamento mecânico do poste 28.....	82
Figura 55 - Valor pago ao decorrer dos anos considerando a taxa de crescimento anual.	88
Figura 56 - Valor pago ao decorrer dos anos considerando o empreendimento preenchido após a realização da obra.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potência aparente por lote.	27
Tabela 2 - Escolha do elo fusível para transformadores.	30
Tabela 3 - Poste de concreto circular.	38
Tabela 4 - Poste de madeira.	38
Tabela 5 - Poste duplo T.	39
Tabela 6 - Coordenadas do local da obra.	41
Tabela 7 - Transformadores dimensionados.	43
Tabela 8 - Possíveis postes atendidos pelo transformador A.	47
Tabela 9 - Possíveis postes atendidos pelo transformador B.	49
Tabela 10 - Possíveis postes atendidos pelo transformador C.	50
Tabela 11 - Circuito transformador A.	50
Tabela 12 - Circuito transformador B.	52
Tabela 13 - Circuito transformador C.	53
Tabela 14 - Características físicas e elétricas do cabo de rede compacta projetado.	56
Tabela 15 - Seção dos condutores encontrados utilizando o software disponibilizado pela CEMIG.	58
Tabela 16 - Coeficientes de queda de tensão para cada cabo.	59
Tabela 17 - Divisão de cargas por poste (Circuito A).	60
Tabela 18 - Divisão de cargas por poste (Circuito B).	67
Tabela 19 - Divisão de cargas por poste (Circuito C).	68
Tabela 20 - Queda de tensão total do loteamento.	68
Tabela 21 - Divisão de luminárias.	69
Tabela 22 - Escolha de elos fusíveis para transformadores.	69
Tabela 23 - Locação das chaves fusíveis.	70
Tabela 24 - Postes com características para utilização da estrutura SI-1.	72
Tabela 25 - Postes com características para utilização da estrutura SI-1D.	74
Tabela 26 - Escolha de estrutura de rede compacta com braço J - Ângulo de deflexão em graus.	74
Tabela 27 - Postes com características adequadas para estrutura CE1.	75
Tabela 28 - Configuração dos postes do loteamento.	82

Tabela 29 - Tarifa energética cobrada entre Dezembro de 2016 à Outubro de 2017.	85
Tabela 30 - Índice de inflação.	85
Tabela 31 - Fluxo de caixa - (Taxa de crescimento anual).....	88
Tabela 32 - Fluxo de caixa - (Loteamento preenchido).	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

AT – Alta tensão.

BT – Baixa tensão.

CA – Corrente alternada.

CEMIG – Companhia energética de Minas Gerais.

CRI – Cálculo de Retorno de Investimento.

DT – Duplo T

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo.

MT – Média tensão.

ND – Norma de Distribuição.

SC – Sessão Circular

SEP – Sistemas Elétricos de Potência.

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso.

VA – Volt-Ampere.

W – Watts.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivo geral.....	13
1.3 Objetivo específico	13
1.4 Estrutura do trabalho	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Sistemas Elétricos de potência	15
2.2 Características do sistema de distribuição.....	16
2.3 Componentes de um sistema de distribuição	17
2.3.1 Subestação de distribuição.....	17
2.3.2 Transformadores de distribuição	18
2.3.3 Redes	18
2.4 Consumidores de energia elétrica	19
2.4.1 Consumidores tipo A.....	19
2.4.2 Consumidores tipo B.....	20
2.4.3 Consumidores tipo C	20
2.4.4 Consumidores tipo D	21
2.4.5 Consumidores tipo E.....	21
2.4.6 Consumidores tipo F.....	21
2.5 Tarifas energéticas	22
3 METODOLOGIA DESENVOLVIDA	25
3.1 Obtenção de dados	25
3.1.1 Topografia.....	25
3.1.2 Levantamento de carga e obtenção de demanda.....	27
3.2 Locação dos postes	27
3.3 Dimensionamento elétrico	29
3.3.1 Rede secundária.....	29
3.3.2 Rede primária	30
3.4 Dimensionamento mecânico.....	31
3.4.1 Estruturas primárias.....	31
3.4.1.1 Estrutura CE1	31

3.4.1.2 Estrutura CE2	32
3.4.1.3 Estrutura CE3	33
3.4.1.4 Estrutura CE4	35
3.4.1.5 Estrutura CEJ1	36
3.4.2 Estruturas secundárias	37
3.4.3 Postes.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Estudo básico da área	41
4.2 Dimensionamento da carga	42
4.3 Locação dos postes	44
4.4 Dimensionamento elétrico	46
4.4.1 Locação dos transformadores	46
4.4.2 Circuito dos transformadores.....	50
4.4.2.1 Transformador A.....	50
4.4.2.2 Transformador B.....	52
4.4.2.3 Transformador C.....	53
4.4.3 Circuito de média tensão	54
4.4.4 Circuito de baixa tensão	56
4.4.4.1 Queda de tensão	59
4.4.4.2 Luminárias	69
4.4.4.3 Chave Fusível.....	69
4.5 Dimensionamento mecânico.....	71
4.5.1 Dimensionamento das estruturas secundárias	71
4.5.1.1 Estrutura SI-1.....	71
4.5.1.2 Estrutura SI-3.....	72
4.5.1.3 Estrutura SI-4.....	73
4.5.2 Dimensionamento das estruturas primárias.....	74
4.5.2.1 Estrutura CE1	74
4.5.2.2 Estrutura CE3	75
4.5.2.3 Estrutura CEM4	76
4.5.2.4 Estrutura CE3-CE3	77
4.5.2.5 Estrutura CEJ2	77
4.5.2.6 Estrutura CE2	78
4.5.2.7 Estrutura CE3-CE4	79

4.5.2.8 Estrutura CE2-CEN3.....	80
4.5.3 Dimensionamento dos esforços mecânicos.....	80
4.6 Análise financeira – retorno de investimento	83
4.6.1 Valor total do investimento.....	83
4.6.2 Estimativa de consumo de energia elétrica	83
4.6.3 Tarifas cobradas	84
4.6.4 Estimativa de crescimento populacional	85
4.6.5 Cálculo de retorno de investimento	86
4.6.5.1 Com base na taxa de crescimento anual do município.....	87
4.6.5.2 Com todo o empreendimento ocupado.....	89
5 CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXO I – PLANTA GEORREFERENCIADA	94
APÊNDICE A – LEGENDAS	95
APÊNDICE B – CRI PARA TAXA DE CRESCIMENTO ANUAL	96
APÊNDICE C – CRI PARA EMPREENDIMENTO PREENCHIDO	98
APÊNDICE D – PROJETO DE DISTRIBUIÇÃO	100

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas Elétricos de Potência (SEP), são compostos pelas etapas de geração, transmissão e distribuição. A geração tem como objetivo a conversão de outras formas de energia em energia elétrica, o sistema de transmissão por sua vez, realizar o transporte de energia dos grandes centros geradores até os grandes centros de consumo, onde a energia atende os consumidores finais através do sistema de distribuição de energia elétrica.

Para que seja possível um bom funcionamento do SEP, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem como finalidade promover a qualidade dos serviços prestados pelas distribuidoras de energia elétrica, exigindo que se mantenha um padrão de continuidade do fornecimento dos serviços.

Responsável pela distribuição de energia no estado de Minas Gerais, a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), é encarregada pelo atendimento a mais de 12 milhões consumidores em 805 municípios.

Tendo como enfoque a distribuição de energia elétrica, neste trabalho será realizado o dimensionamento de um projeto de extensão de linhas de distribuição, que tem como objetivo atender o Loteamento Parque da Floresta localizado no Município de Arcos/MG. Também será realizada uma análise financeira para o empreendimento projetado, considerando como investidor a CEMIG.

Para a realização do estudo de caso apresentado, contou-se com o auxílio de normas de distribuição disponibilizadas pela concessionária CEMIG, *software* de desenho Autocad, além de dados estatísticos do município, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para a realização da análise financeira.

1.1 Justificativa

Um bom planejamento de sistemas elétricos inicia-se diretamente no consumidor. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), no Brasil o consumo de energia elétrica no mês de Agosto de 2017 foi o equivalente a 37,583 GWh, valor no qual não inclui o consumo de energia elétrica vendida para os países vizinhos. Os consumidores residenciais consomem cerca de 27,76 % da potência total gerada em todo o país, perdendo apenas para os consumidores industriais que consomem um total de 37,77 %.

Diante deste grande número de consumidores residenciais, é de grande importância para o profissional da área de distribuição o conhecimento dos processos de dimensionamento de projetos e os seus custos envolvidos.

1.2 Objetivo geral

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo geral o dimensionamento e uma análise financeira de um projeto de extensão de linhas aéreas de distribuição de energia elétrica para atender o Loteamento Parque da Floresta localizado no município de Arcos - MG.

1.3 Objetivo específico

Como objetivos específicos pretende-se demonstrar uma metodologia de trabalho para a realização deste projeto de inserção de novas linhas de distribuição de energia elétrica. Mais especificamente, são demonstrados cálculos e análises, dentro da metodologia proposta, dos seguintes itens:

- Demonstrar dados topográficos;
- Realizar levantamento de cargas;
- Realizar locação de postes;
- Realizar o dimensionamento elétrico;
- Realizar o dimensionamento mecânico;

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho tem como foco a demonstração das etapas de projeto de extensão de linhas de distribuição de energia elétrica. São apresentados no Capítulo 2 referências bibliográficas demonstrando definições do SEP, dando uma maior ênfase na etapa de distribuição e indicando os tipos de consumidores encontrados neste sistema. No Capítulo 3 são apresentadas as especificações e ferramentas necessárias para a confecção de um projeto de distribuição de energia elétrica. No Capítulo 4 está presente os resultados do trabalho desenvolvido, ou seja, detalhes da confecção do projeto e análise do retorno de investimento do empreendimento. Por último, no Capítulo 5, são discutidas as considerações finais do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma abordagem geral sobre os conceitos importantes para melhor compreensão do trabalho desenvolvido, como características do Sistema Elétrico de Potência (SEP), dando uma maior ênfase na etapa de Distribuição de Energia Elétrica.

2.1 Sistemas Elétricos de potência

Os SEP tem como objetivo o fornecimento de energia elétrica com qualidade e segurança aos consumidores. De forma contínua, a demanda deve ser atendida mantendo os parâmetros dentro dos limites pré-estabelecidos pelos órgãos de fiscalização.

De acordo com (DUGAN, 2012), um sistema elétrico de potência consiste do sistema de geração, transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica. As etapas de geração e transmissão são caracterizadas como sistemas de suprimento e transporte de grandes potências elétricas, já os sistemas de subtransmissão e distribuição são considerados meios finais para transferência de potência até o consumidor final. A Figura 1 demonstra os componentes presentes em SEP.

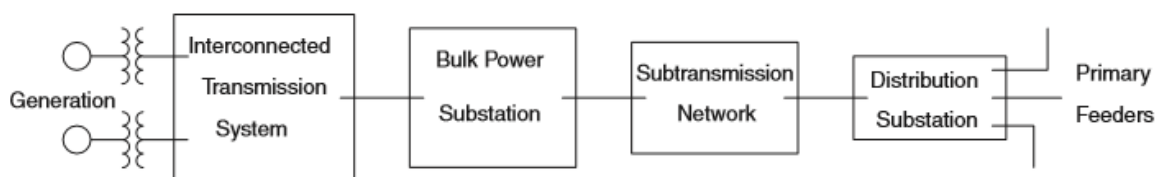


Figura 1 - Componentes de um SEP.

Fonte: DUGAN, 2012.

Por outro lado, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define SEP como “o conjunto de circuitos elétricos inter-conectados, que compreende a instalação para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica”. Abaixo são descritos cada um dos três grupos que formam o SEP:

- Geração: Sistema composto por geradoras de energia elétrica. Como Brasil utiliza como principal fonte de geração as hidrelétricas, o qual tem como

característica ser localizada em pontos distantes dos grandes centros de consumo, exigindo um sistema de transmissão longo e complexo;

- Transmissão: Sistema constituído por linhas de transmissão e equipamentos que auxiliam no transporte da energia produzida nas centrais geradoras até os consumidores. Estes sistemas podem realizar a transmissão de energia por corrente alternada ou corrente contínua;
- Distribuição: Constituído por subestações e alimentadores responsáveis pela distribuição da energia elétrica aos consumidores industriais, comerciais e residências. Este sistema tem como característica principal a utilização de média e baixa tensão;

Os próximos tópicos apresentam de forma aprofundada os aspectos importantes do sistema de distribuição de energia elétrica, a fim de proporcionar um bom entendimento do trabalho.

2.2 Características do sistema de distribuição

Os sistemas de distribuição de energia elétrica apresentam características interessantes que se diferenciam da rede de transmissão, sendo estas: a utilização de topologia radial, emprego de múltiplas conexões, diversas naturezas de cargas e linhas com resistências comparáveis a reatância.

A proteção do sistema de distribuição é realizada por equipamentos específicos, compondo um sistema seletivo e coordenado. Comumente encontra-se associações de relés, disjuntores, elos fusíveis, religadores, seccionadores, dentre outros equipamentos, os quais proporcionam de forma coordenada e seletiva a proteção do sistema.

Um sistema de distribuição usualmente tem início nas subestações, que são alimentadas por linhas de transmissão. Cada subestação pode alimentar um ou mais alimentadores, que na maioria das vezes tem características radiais, fazendo com que haja apenas um caminho para corrente elétrica (KERSTING, 2001). A Figura 2 apresenta um exemplo de sistema de distribuição simples.

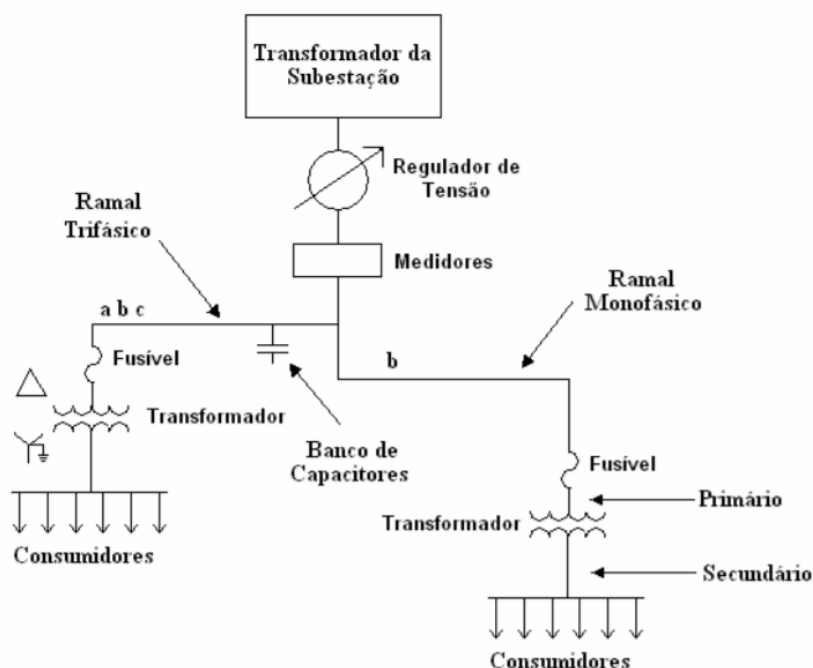


Figura 2 - Exemplo de sistema de distribuição de energia elétrica.

Fonte: KERSTING, 2001.

2.3 Componentes de um sistema de distribuição

Neste tópico são abordados os principais componentes encontrados em um sistema de distribuição de energia elétrica e suas respectivas definições e características:

2.3.1 Subestação de distribuição

Uma subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos destinados a transformar e regular as tensões geradas e transportadas. Elas tem como objetivo permitir uma operação segura dos componentes do sistema, eliminar ou reduzir as falhas e permitir o estabelecimento de alternativas para o suprimento de energia elétrica.

O fornecimento de energia elétrica no Brasil é feito por meio de um grande sistema complexo de subestações e linhas de transmissão, interligadas às unidades geradoras. Atualmente o sistema elétrico de potência é classificado em três níveis, sendo estes: alta tensão (AT) – entre 69 e 230 KV, média tensão (MT) – de 1 a 69KV

e baixa tensão (BT) – menores de 1 KV, de forma adaptada para interligar distâncias e consumidores (ANEEL, 2006).

Para que sejam possíveis as transformações necessárias, uma subestação típica deve conter os seguintes componentes: transformador de potência, chaves seccionadoras, reatores, limitadores de corrente, transformadores de corrente, bancos de capacitores, sistema de aterramento, sistemas de controle, entre outros equipamentos, que possuem as seguintes funções:

- Transformador: Alteração dos níveis da tensão de modo a adequá-lo as convivências de transmissão, distribuição e consumo;
- Regulação: Realizar a regulação de tensão de modo a mantê-los nos níveis aceitáveis;
- Chaveamento: Tem como objetivo realizar a conexão e desconexão de componentes do sistema de transmissão ou distribuição, de forma a orientar o fluxo de potência e promover a isolação de partes defeituosas, mantendo o suprimento contínuo de energia elétrica;
- Conversoras: Destinam-se a modificar a frequência ou a corrente alternada para contínua .

2.3.2 Transformadores de distribuição

Os transformadores são máquinas elétricas com o princípio de funcionamento por indução eletromagnética. Estes equipamentos também chamados de estações transformadores (ET), segundo Kagan (2010), possuem como função realizar a transformação de MT do nível primário para BT do nível secundário.

A média tensão é conectada ao enrolamento primário e a saída é distribuída entre os enrolamentos do secundário com o objetivo de atender os consumidores finais da rede de distribuição.

2.3.3 Redes

As redes de distribuição tem como objetivo a realização do transporte do fluxo de potência das subestações até os consumidores finais. Estas podem ser tanto aéreas como subterrâneas, sendo as primeiras de uso mais difundido devido ao seu

menor custo, e as segundas, utilizadas em áreas com grande densidade de carga. O sistema de distribuição utiliza-se de duas topologias básicas de redes:

- Rede radial: O seu princípio de operação é baseado em uma única fonte de suprimento. Isto significa que todas as unidades consumidoras são alimentadas a partir de um único alimentador. Esta configuração possibilita um suprimento de baixo custo para as unidades consumidoras de baixa densidade de carga com grande dispersão geográfica;
- Rede em anel aberto: Nesta configuração utiliza-se várias linhas de alimentação. Isto significa que dois possíveis caminhos elétricos podem suprir qualquer unidade consumidora, cada caminho é ativado a qualquer tempo. Esta configuração é em geral empregada em sistemas de distribuição em áreas urbanas densamente populosas.

2.4 Consumidores de energia elétrica

Os tipos de consumidores encontrados em um sistema de distribuição são definidos em função da carga instalada, da demanda, do tipo de rede e do local onde está situada a unidade consumidora. Com base na Norma de Distribuição (ND 5.1, 2013) são demonstradas abaixo cada unidade e suas respectivas características.

2.4.1 Consumidores tipo A

As unidades do tipo A abrangem tanto consumidores urbanos como rurais, que são atendidos com rede secundária trifásica de (127V/220V) ou rede bifásica de (127V/254V). Os limites de carga destes consumidores equivalem a 10KW onde não devem conter as seguintes cargas:

- Motores monofásicos com potência nominal superior a 2 cv;
- Máquina de solda a transformador com potência nominal superior a 2KA.

2.4.2 Consumidores tipo B

Estas unidades podem ser situadas tanto em áreas rurais quanto urbanas, elas são atendidas por rede secundária trifásica de (127V/220V) ou redes de distribuição secundária bifásica (127V/254V). O máximo de carga instalada para esta unidade é de 15KW, que não deve conter as seguintes cargas:

- Aparelhos vetados ao fornecimento do tipo A, se alimentando em 127V;
- Motores monofásicos superiores a 5 cv, alimentados em 220V;
- Máquinas de solda a transformador com potência nominal superior a 9KA, alimentada com 220V.

2.4.3 Consumidores tipo C

Os consumidores do tipo C podem estar situados em áreas urbanas ou rurais e são atendidos por rede secundária trifásica de (127V/220V). A carga instalada por este tipo de consumidor é limitada entre os intervalos de 15,1 KW e 75,0 KW e não podem se enquadrar nas características dos consumidores A e B. Para esta configuração, os consumidores não podem ter os seguintes tipos de cargas:

- Aparelhos vetados às características do tipo A, se alimentando em 127V;
- Motores monofásicos com potência nominal superior a 5 cv, se alimentando em 220V;
- Motores de indução trifásicos com potência nominal superior a 15 cv;
- Máquina de solda tipo motor-gerador com potência nominal ou superior a 30KVA;
- Máquina de solda a transformador com potência nominal superior a 9KVA, alimentada em 220V de duas fases ou 220V de três fases;
- Máquina de solda a transformador com potência nominal superior a 30KVA e com retificação em ponte trifásica, alimentada em 220V a três fases.

2.4.4 Consumidores tipo D

Estas unidades devem obrigatoriamente estar situadas em áreas rurais, onde são atendidos por rede de distribuição secundária bifásica, com transformadores exclusivos. O limite de carga instalada para este tipo de consumidor é de 37,5 KW e não podem utilizar as seguintes cargas:

- Aparelhos vetados ao fornecimento do tipo A, se alimentando em 127V;
- Motores monofásicos com potência nominal superior a 10 cv, se alimentando em 220V.

2.4.5 Consumidores tipo E

Como a unidade do tipo D, as unidades do tipo E devem estar obrigatoriamente situada em áreas rurais, onde são atendidas por rede de distribuição trifásica de média tensão e com transformadores trifásicos exclusivos de (127V/220V). O limite de carga a ser instalada por estes consumidores são de até 75KW e da qual não constam:

- Motores de indução trifásicos com potência superior a 50cv;
- Motores monofásicos com potência nominal superior a 10cv, alimentados em 220V;
- Máquinas de solda vetadas ao fornecimento do tipo C.

2.4.6 Consumidores tipo F

Diferente de todos os outros tipos de consumidores, as unidades do tipo F abrangem consumidores individuais com carga instalada superior a 75 KW e demanda de até 327 KVA, estas unidades podem estar situadas tanto na área urbana quanto na rural. As cargas instaladas para este tipo de consumidores não podem ser alimentadas por rede secundária.

2.5 Tarifas energéticas

A compreensão das formas de cobranças relacionadas a energia elétrica são de extrema importância para a realização de uma análise financeira de um empreendimento. Abaixo são apresentadas algumas definições segundo o Manual de Tarifação de Energia Elétrica (2011, p. 8) para a melhor compreensão deste tópico:

- Consumo: Quantidade de potência elétrica (KW) consumida em um dado intervalo de tempo, assim expresso em (KWh);
- Demanda: Se resume na média das potências ativas e reativas necessárias para operação da unidade;
- Horário de Ponta: Corresponde ao período de 3 horas consecutivas exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária, em função das características de seus sistemas trifásicos;
- Tarifa: Preço da unidade de energia elétrica (R\$/MWh) e/ou demanda de potência ativa (R\$/KW);
- Tarifa Binômia: Conjunto de tarifas de fornecimento, constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica (KWh) e à demanda faturável. Modalidade aplicável a consumidores do grupo A.
- Tarifa Monômia: Tarifa constituída por preços aplicáveis somente ao consumo de energia elétrica ativa (KWh). Modalidade aplicável a consumidores do grupo B.

Para a realização de cobranças relacionadas a energia elétrica, são divididos dois grupos tarifários: Grupo A, são as unidades que são atendidas por tensões superiores a 2300V e o Grupo B que são caracterizados por serem atendidos por tensões inferiores a 2300V.

O grupo A é subdivido de acordo com a tensão de atendimento, como demonstrado a seguir:

- A1 – Níveis de tensão igual ou maior a 230KV;
- A2 – Níveis de tensão entre 88 a 138KV;
- A3 – Níveis de tensão de 69KV;

Os consumidores do tipo B são subdivididos de acordo com a sua atividade como demonstra a seguir:

- B1 – Residencial e residencial de baixa renda;
- B2 – Rural e cooperativa de eletrificação rural;
- B3 – Demais classes;
- B4 – Iluminação pública;

As tarifas do grupo A são constituídas por três modalidades de fornecimento:

- Tarifa convencional;
- Estrutura tarifária horo-sazonal verde;
- Estrutura tarifária horo-sazonal azul.

A fatura de energia elétrica dos consumidores do tipo A são constituídas pela soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e demanda de ultrapassagem, caso exista. A tarifa convencional exige um contrato específico com a concessionária responsável pela localidade da unidade consumidora, onde se pactua um único valor de demanda pretendida pelo consumidor.

A parcela de consumo para tarifa convencional pode ser calculada como demonstrado na Equação 2.1:

$$P_{\text{Consumo}} = \text{Tarifa de consumo} \times \text{Consumo medido} \quad (2.1)$$

Para o cálculo da parcela de demanda deve-se utilizar a Equação 2.2:

$$P_{\text{Demanda}} = \text{Tarifa de demanda} \times \text{Demanda contratada} \quad (2.2)$$

Como na tarifa convencional, a tarifa horo-sazonal verde exige um contrato com a concessionária responsável pela localidade da unidade consumidora, porém se pactua um valor de demanda para períodos secos e outro para períodos úmidos.

A parcela de consumo para tarifa horo-sazonal verde pode ser calculada utilizando as tarifas de consumo como demonstra a Equação 2.3:

$$P_{\text{Consumo}} = \text{Tarifa de ponta} \times \text{Consumo de ponta} + \text{Tarifa fora de ponta} \times \text{Consumo fora de ponta} \quad (2.3)$$

Para o cálculo da parcela de demanda deve-se utilizar a Equação 2.4:

$$P_{\text{Demanda}} = \text{Tarifa de demanda} \times \text{Demanda contratada} \quad (2.4)$$

A modalidade de tarifa horo-sazonal azul também exige um contrato específico com a concessionária responsável pela localidade da unidade consumidora. Diferente das outras modalidades, para esta tarifa deve ser pactuado um valor demanda pretendido para horários de ponta, fora de ponta, períodos secos e períodos úmidos.

A parcela de consumo para tarifa horo-sazonal azul pode ser calculada utilizando as tarifas de consumo de acordo com a seguinte Equação 2.5:

$$P_{\text{Consumo}} = \text{Tarifa de ponta} \times \text{Consumo médio ponta} + \text{Tarifa de fora de ponta} \times \text{Consumo médio fora de ponta} \quad (2.5)$$

Para o cálculo da parcela de demanda deve-se utilizar as tarifas de demanda como demonstrado na seguinte Equação 2.6:

$$P_{\text{Demanda}} = \text{Tarifa na ponta} \times \text{Demanda contratada na ponta} + \text{Tarifa fora de ponta} \times \text{Demanda contratada fora de ponta} \quad (2.6)$$

De posse dos conceitos apresentados, no próximo capítulo, é apresentada metodologia desenvolvida nesta monografia de conclusão de curso.

3 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Ao iniciar qualquer projeto relacionado à distribuição de energia elétrica é importante a verificação das Normas de Distribuição, chamadas (ND's), disponíveis pelas concessionárias de energia elétrica.

De acordo com Mamede Filho (2010, p.1):

Todo e qualquer projeto deve ser elaborado com base em documentos normativos que, no Brasil, são de responsabilidade da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Cabe também seguir as normas particulares das concessionárias de serviço público responsáveis pelo suprimento de energia elétrica da área onde se acha localizada.

Por se tratar de um projeto de distribuição no qual a concessionária responsável pela energização da obra é a CEMIG, deve-se utilizar as ND's disponibilizadas pela mesma. Para melhor entendimento, no tópico seguinte será apresentado algumas definições utilizadas ao longo do projeto.

3.1 Obtenção de dados

Na primeira etapa deve-se analisar o tipo de projeto a ser executado, verificando a sua finalidade, se o mesmo será para manutenção, expansão ou reforço, assim é importante a determinação das principais necessidades.

3.1.1 Topografia

A análise topográfica da área onde será realizada a obra é de suma importância, devido ao fornecimento de informações sobre a variação de cotas, presença e localização de elementos que podem comprometer a execução da obra, como árvores, lagos, pavimentação, etc. Estes ajudam a determinar onde a construção deverá ser realizada e a prever serviços como transporte de árvores, desvio de construção de redes, entre outros.

Assim o topógrafo responsável por visitar a área de construção deve observar os seguintes parâmetros:

- Se a obra é próxima a rio, riacho ou ribeirão;
- Se a obra é próxima a lagos, lagoas ou reservatórios;
- Se a obra é próxima a brejos e veredas;
- Se a obra é próxima a nascentes ou minas d'água;
- O traçado da rede de distribuição (Urbano / Rural) passa por alguma mata;
- O traçado da rede de distribuição (Urbano / Rural) passa por regiões de grutas ou cavernas;
- O traçado da rede de distribuição (Urbano / Rural) passar por estradas;
- O traçado da rede de distribuição (Urbano / Rural) passa por terreno de terceiros;
- Se há necessidade de poda de alguma vegetação;
- Qual o tipo de terreno.

Além da observação dos aspectos geográficos do terreno, o topógrafo deve observar informações da rede elétrica existente no local para que o novo projeto seja realizado. Os seguintes itens são observados:

- Tipo de cabeamento da rede elétrica;
- Nível de tensão;
- Nível básico de isolação (NBI);
- Tipos de postes;
- Tipos de estruturas (primárias ou secundárias);
- Para-raios (baixa ou média tensão);
- Aterramento;
- Estaios;
- Altura do neutro.

Todas as informações relacionadas a área onde será realizada a obra devem ser entregues ao projetista em uma planta, chamada de Croqui, com a exata posição de cada elemento. Com todo o levantamento topográfico realizado, o projetista deve dar início ao dimensionamento das cargas e locação dos postes, temas que são apresentados nos dois próximos tópicos.

3.1.2 Levantamento de carga e obtenção de demanda

Esta etapa consiste na determinação das demandas de consumidores já existentes conectados à rede e na previsão de novos consumidores, com a finalidade do dimensionamento dos transformadores de média ou baixa tensão.

Segundo a (ND 3.1, 2014) em casos de projeção de distribuição de energia para loteamentos ou empreendimentos com características residenciais, deve-se utilizar obrigatoriamente transformadores de 45 KVA ou 75 KVA.

Devido a etapa de construção de um empreendimento como loteamento residencial não haver consumidores definidos, a (ND 3.1, 2014) faz uma estimativa de potência aparente por lote, estes parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Potência aparente por lote.

Tamanho do Lote	Potência [KVA] - Loteamentos
Até 400 m ²	1,0
400 a 600 m ²	1,5
Maior que 600 m ²	2,0

Fonte: ND 3.1, 2014.

Ao observar a Tabela 1 pode-se perceber que a potência aparente aumenta significativamente de acordo com o tamanho do lote.

3.2 Locação dos postes

Para o dimensionamento físico dos postes do empreendimento deve-se observar os requisitos especificados pela norma de distribuição, considerando espaçamento, segurança e iluminação pública. De acordo com a (ND 3.1, 2014) a localização escolhida para cada poste deve-se levar os seguintes critérios em consideração:

- Evitar o desmatamento de quaisquer formas de vegetação em áreas de preservação ambiental;
- Manter os vãos das quadras equidistantes, quando possível na divisa de lotes;
- Evitar locação de postes em frente a portas, janelas, sacadas, anúncios luminosos e não alocar em frente a garagens;

- Evitar locação de postes próximos a árvores de grande porte;
- Evitar interferências com tubulações subterrâneas de água, esgoto, gás, redes de telecomunicações, galerias de águas pluviais, etc.;
- Quando possível utilizar um único poste de esquina;
- Prever possíveis extensões de rede, para evitar remoções desnecessárias.

As disposições dos postes podem ser unilaterais, bilaterais alternada ou bilaterais frente a frente, como apresentado nas Figura 3, 4 e 5 respectivamente.

Os vãos médios para redes de média e baixa tensão são de 40 metros, para redes com configurações convencionais, compactas ou isoladas, os vãos podem ter no máximo 45 metros. Em áreas onde existem baixa densidade habitacional pode-se adotar os vãos de rede entre 45 a 60 metros.

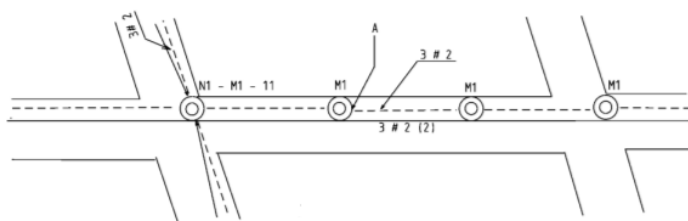


Figura 3 - Disposição unilateral.

Fonte: ND 3.1, 2014.

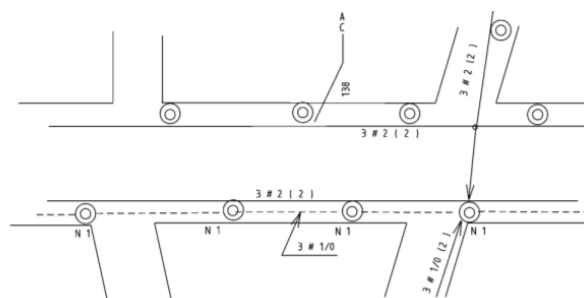


Figura 4 - Disposição bilateral alternada.

Fonte: ND 3.1, 2014.

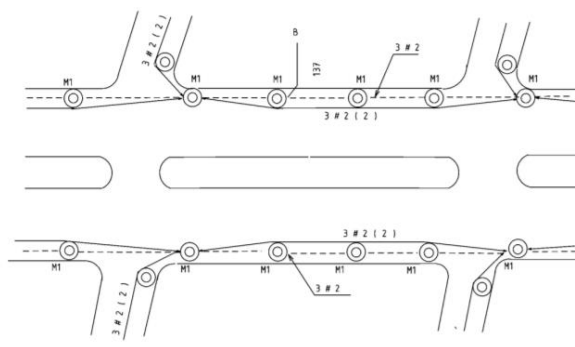


Figura 5 - Disposição bilateral frente a frente.

Fonte: ND 3.1, 2014.

Após a realização dos procedimentos demonstrados até aqui, pode-se dar início ao dimensionamento elétrico, tema apresentado no tópico seguinte.

3.3 Dimensionamento elétrico

Este tópico apresenta parâmetros de projeto especificados na norma de distribuição para o dimensionamento elétrico das linhas de média e baixa tensão.

3.3.1 Rede secundária

No dimensionamento dos circuitos de distribuição de baixa tensão, deve-se levar em consideração as tensões nominais de alimentação por transformadores trifásicos ou monofásicos de respectivamente 220/127 V ou 240/120V. Os condutores de neutro devem ser aterrados de forma comum ao primário e secundário.

Para loteamentos e novos empreendimentos deve-se utilizar uma bitola mínima dos cabos de $3 \times 1 \times 70 + 70 \text{ mm}^2$ para redes trifásicas ou $2 \times 1 \times 70 + 70 \text{ mm}^2$ para redes monofásicas. Os transformadores devem ser instalados o mais próximo possível do centro de carga do circuito secundário, podendo alimentar cargas em até 160 metros para redes trifásicas ou 120 metros de linha para redes monofásicas.

Deve-se realizar a instalação de para-raios em todo transformador, de forma a utilizar dois para-raios para redes monofásicas e três para trifásicas.

O equilíbrio das fases é de suma importância e deve ser alcançado ao longo de toda a linha, principalmente em horários de maior carga, devendo-se adotar um máximo limite de desequilíbrio para transformadores monofásicos e trifásicos de 20%.

3.3.2 Rede primária

Para projeção do circuito de média tensão, deve-se levar em consideração a utilização de 4 fios para rede trifásica ou 2 fios para rede monofásica. As tensões padrões para a rede primária são de 13.800/7.967 V, 22.000/12.700 V e 34.500/19.920 V. Os condutores a serem utilizados para redes primárias compactas são padronizados da seguinte forma segundo a (ND 3.1, 2014):

- Para rede de 15kV e 24,2kV – 50mm²
- Para rede de 36,2kV – 70mm²
- Para rede de 15kV, 24,2kV e 36,2kV – 150 mm².

Para este tipo de rede o desequilíbrio de corrente nas fases deve ser de no máximo 20%, levando em consideração todo o comprimento da linha e os horários de máxima carga.

Para proteção de sobrecorrentes, nas saídas dos alimentadores das subestações de distribuição deve-se instalar religadores e disjuntores. Já nos ramais, é necessário a instalação de chave fusível, seccionadores ou chave repetidora.

Caso haja instalação de transformadores, deve-se realizar sempre a instalação de chave fusível, independentemente do tipo de rede primária projetada. O elo fusível deve ser dimensionado de acordo com a Tabela 2.

Observa-se na Tabela 2 que o elo fusível é dimensionado de acordo com a potência aparente do transformador.

Tabela 2 - Escolha do elo fusível para transformadores.

Potência [KVA]	13,8 KV	22,0 KV	34,5KV
300	15K	10K	8k
225	12K	8K	6K
150	8K	5H	5H
112,5	6K	5H	3H
75	5H	3H	2H
45	3H	2H	2H
30	2H	1H	1H
15	1K	1H	1H

Fonte: ND 3.1, 2014.

A queda de tensão máxima permitida para circuitos de baixa tensão é limitada a 5% nos municípios que não possuem subestação de AT/MT e 7% para aqueles que já possuem tais instalações.

Somente após a realização de todos os procedimentos citados acima é possível o dimensionamento mecânico, tema abordado no próximo tópico.

3.4 Dimensionamento mecânico

Para que seja possível a realização do dimensionamento mecânico dos postes instalados, deve-se primeiro especificar o tipo de estrutura utilizada. Para melhor entendimento são apresentadas a seguir algumas das estruturas mais utilizadas para redes primárias e secundárias.

3.4.1 Estruturas primárias

As redes de distribuição compactas, também denominadas redes de distribuições protegidas são alimentadas com tensão primária de 7.967/13.800 V. Essas são utilizadas em áreas de baixa ou média poluição servidas pela CEMIG. Esta topologia foi criada como solução definitiva em áreas com alto ou altíssimo nível de poluição.

Utiliza-se como identificação das estruturas básicas a sigla “CE”, que significa “Compacta em espaçadores”. Abaixo são apresentados cada tipo de estrutura, esquema de rede e aplicação.

3.4.1.1 Estrutura CE1

Estrutura aplicável para casos onde há um ângulo de deflexão em até 6°, a Figura 6 apresenta um esboço de exemplo de utilização desta estrutura.

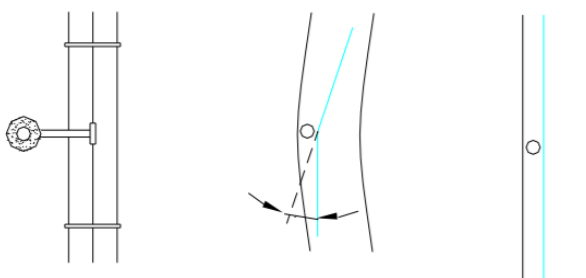


Figura 6 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CE1.

Fonte: EDP, 2014.

Verificando a Figura 6, pode-se perceber que esta estrutura é utilizada em caso no qual há pouca angulação de deflexão horizontal dos cabos sustentados pelo poste, e que estes cabos passem tangencialmente, de forma que não haja a necessidade de ancoragem.

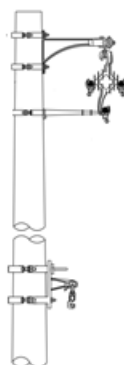


Figura 7 - Esboço de uma estrutura CE1.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Pela Figura 7 nota-se a utilização de um braço anti-balanço para que seja possível a passagem tangencial dos cabos de média tensão.

3.4.1.2 Estrutura CE2

Estrutura utilizada em casos onde há a necessidade de angulação de deflexão horizontal das linhas de média tensão entre 6° e 60° . A Figura 8 demonstra um esboço de aplicação da estrutura.

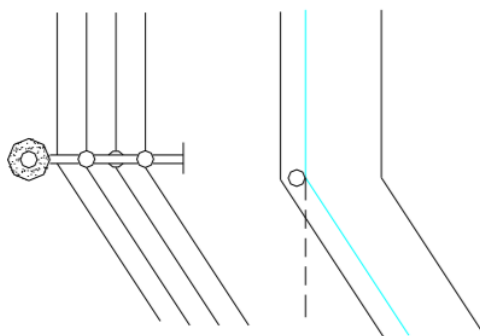


Figura 8 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CE2.

Fonte: EDP, 2014.

A ilustração da Figura 8 demonstra claramente uma considerável angulação de deflexão horizontal realizada pela linha tangente ao poste. A Figura 9 apresenta dois esboços da estrutura para um ponto de vista lateral e superior.

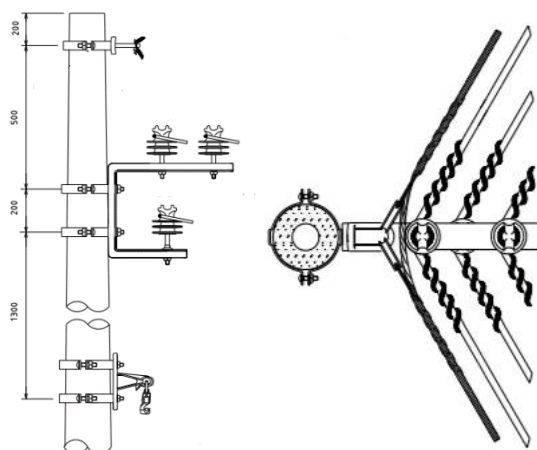


Figura 9 - Esboço de uma estrutura CE2 - Vista lateral e superior respectivamente.

Fonte: ND 2.9, 2016.

A Figura 9 evidencia a estrutura do poste do ponto de vista lateral e superior, no qual pode-se perceber que esta estrutura conta com a utilização de um braço suporte do tipo C, que auxilia na sustentação mecânica dos cabos.

3.4.1.3 Estrutura CE3

Para finais de circuito de média tensão utiliza-se a estrutura CE3. A Figura 10 demonstra um exemplo de aplicação.

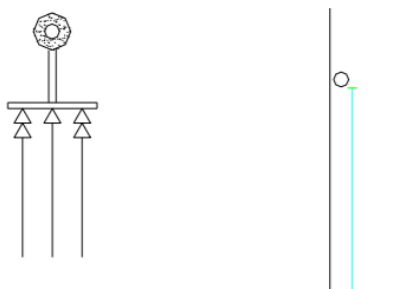


Figura 10 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CE3.

Fonte: EDP, 2014.

Analisando a Figura 10 percebe-se a ausência de estruturas posteriores interligadas ao poste, conseqüentemente não há a necessidade de uma estrutura de sustentação tangencial como demonstrados para CE1 e CE2. A Figura 11 apresenta um esboço do ponto de vista lateral e superior da estrutura estudada.

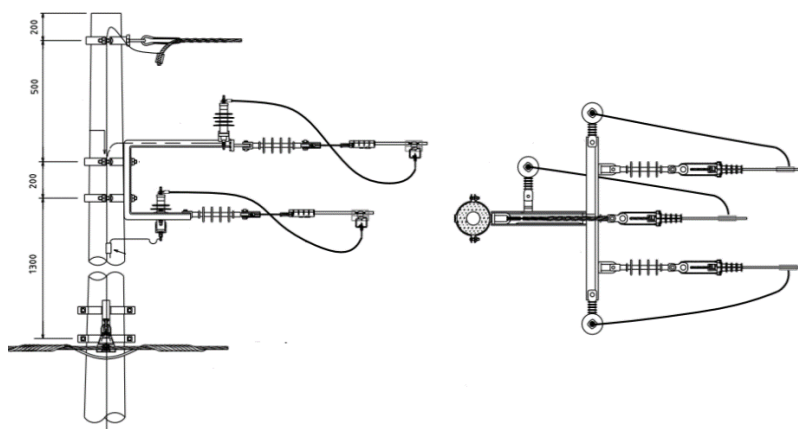


Figura 11 - Esboço de uma estrutura CE3 - Vista lateral e superior respectivamente.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Ao analisar o esboço da Figura 11 percebe-se também a utilização do Braço Suporte Tipo C, que realiza a sustentação da ancoragem dos cabamentos de média tensão. Outro aspecto importante é a utilização de para-raios e aterramentos, isso deve-se a aplicabilidade da estrutura em finais de circuitos de média tensão.

3.4.1.4 Estrutura CE4

Para aplicações nos quais há a necessidade de ancoragem da rede primária, utiliza-se a estrutura CE4. Para descrever melhor a utilização da estrutura, a Figura 12 apresenta um exemplo de aplicação.

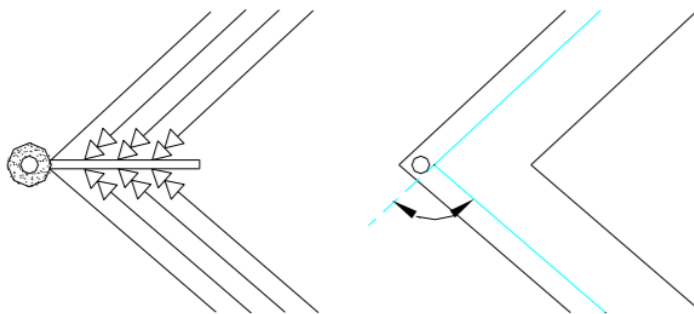


Figura 12 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CE4.

Fonte: EDP, 2014.

Ao observar a Figura 12, nota-se uma ancoragem do cabeamento de média tensão de forma tangencial ao poste de sustentação. Devido a utilização da estrutura para amarração dos cabos, há a necessidade de uma maior resistência mecânica do poste. A Figura 13 demonstra um esboço da estrutura de dois pontos de vista diferentes.

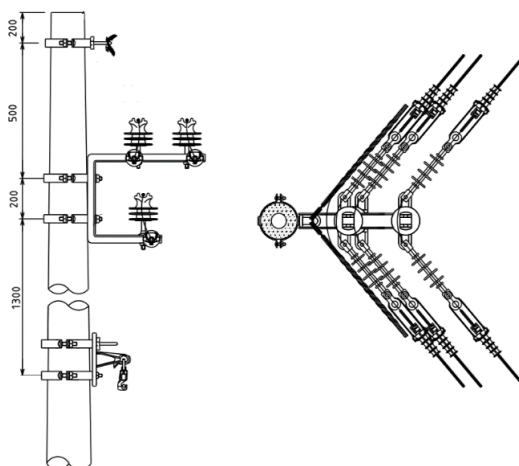


Figura 13 - Esboço de uma estrutura CE4 - Vista lateral e superior respectivamente.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Observando a Figura 13, como se verifica em algumas das estruturas anteriores há a utilização do Suporte Tipo C, visto que há um grande esforço mecânico devido a amarração dos cabos. Outro aspecto de extrema importância é a utilização da estrutura para ângulos entre 6° e 90°.

3.4.1.5 Estrutura CEJ1

Para localidades com presenças de edificações utiliza-se a estrutura CEJ1. A Figura 14 apresenta um exemplo de aplicação desta estrutura.

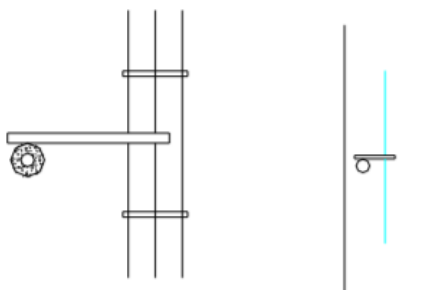


Figura 14 - Esquemático de aplicabilidade da estrutura CEJ1.

Fonte: EDP, 2014.

A utilização de um Braço Tipo J possibilita o distanciamento da linha em relação as edificações próximas ao poste, eliminando então possíveis acidentes com a média tensão. A Figura 15 demonstra um esboço da estrutura de dois pontos de vista.

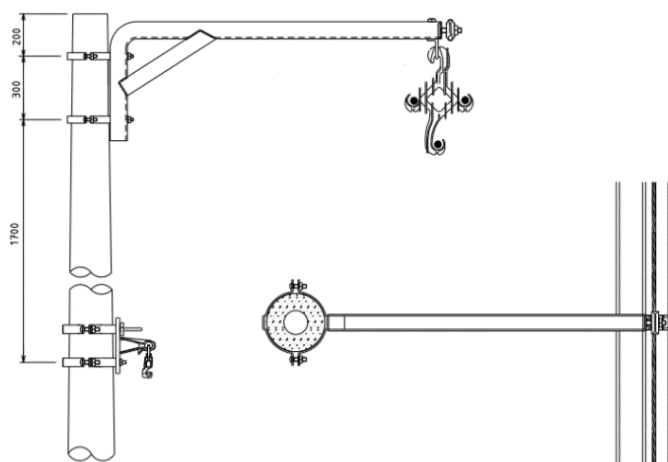


Figura 15 - Esboço de uma estrutura CEJ1 - Vista lateral e superior respectivamente.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Ao observar a Figura 15 pode-se perceber a utilização do Braço Tipo J proporcionando um afastamento considerável entre o poste e as linhas de média tensão. Para aplicações com as mesmas características, porém com ângulo acima de 6° deve-se utilizar a estrutura CEJ2.

3.4.2 Estruturas secundárias

As estruturas secundárias são utilizadas com a finalidade de realizar a sustentação dos cabos de baixa tensão em uma linha de distribuição. A seguir, são evidenciados as principais estruturas e suas respectivas aplicações.

- Estrutura SI-1

A Figura 16 demonstra um esboço da estrutura SI-1.

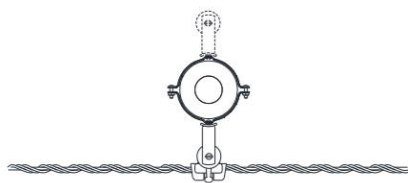


Figura 16 - Estrutura SI-1.

Fonte: NTC-D 06, 2016.

Estrutura utilizada para sustentação da rede de distribuição de baixa tensão tangente ao poste, aspecto que pode ser observado na Figura 16.

- Estrutura SI-3

A Figura 17 apresenta uma ilustração da estrutura SI-3.



Figura 17 - Estrutura SI-3.

Fonte: NTC-D 06, 2016.

Como pode-se observar na Figura 17, a linha de distribuição secundária é conectada em apenas um lado do poste, logo a estrutura é empregada em finais de circuitos.

- Estrutura SI-4

A Figura 18 apresenta uma ilustração da estrutura SI-4

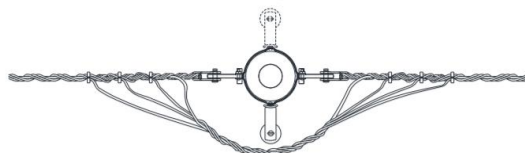


Figura 18 - Estrutura SI-4.

Fonte: NTC-D 06, 2016.

Ao analisar a Figura 18 nota-se que os cabos de baixa tensão não realizam a passagem tangente, isso deve-se a aplicação da estrutura para casos de ancoragens duplas.

3.4.3 Postes

Para finalização do projeto de distribuição é de extrema importância o dimensionamento dos postes adequados para cada estrutura já dimensionada. Segundo a normativa de distribuição da CEMIG ND 3.1 (2014), os postes são padronizados da seguinte maneira: seção circular, duplo T e madeira. As Tabelas 3, 4 e 5 demonstram para cada tipo de poste a altura e resistência:

Tabela 3 - Poste de concreto circular.

Altura (m)	9	10	11	12	13
Resistência (daN)	150	150	300	300	600
	300	300	600	600	1000
		600	1000	1000	

Fonte: ND 3.1, 2014.

Tabela 4 - Poste de madeira.

Altura (m)	9	10	11	12	13	15	18
Resistência (daN)	150	150	300	300	300	600	600
	300	300	600	600	600		
	600						

Fonte: ND 3.1, 2014.

Tabela 5 - Poste duplo T.

Altura (m)	Resistência face A (daN)	Resistência face B (daN)
9	75	150
10	75	150
	150	300
	300	600
11	150	300
	300	600
12	150	300
	300	600
13	150	300
	300	600
15	300	600
18	300	600

Fonte: ND 3.1, 2014.

Comparando as três configurações de postes demonstradas nas Tabelas 3, 4 e 5, percebe-se que o poste duplo T não apresenta resistência uniforme, diferenciando-se então do poste circular que também é feito de concreto.

Em projetos com a finalidade de extensão de linhas de distribuição deve-se utilizar postes com altura de no mínimo 11 metros observando as seguintes características:

- Rede secundária;
- Circuitos múltiplos primários;
- Nível de estrutura primária;
- Religador, banco de capacitores e reguladores de tensão.

O esforço resultante para cada estrutura deve ser calculado observando os seguintes critérios:

- Ângulo;
- Fins de rede;
- Mudança de seção dos condutores;
- Mudança da quantidade de condutores;
- Esforço resultante dos cabos de uso mútuo.

Por fim, após a apresentação da metodologia necessária para o dimensionamento do projeto proposto, no Capítulo 4, os resultados obtidos neste Trabalho de Conclusão de Curso são discutidos e relatados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este Capítulo apresenta de maneira sucinta as etapas de elaboração do projeto e estimativa do tempo de retorno do investimento utilizando os conceitos apresentados na metodologia deste trabalho.

4.1 Estudo básico da área

A primeira etapa para a realização do projeto é a coleta dos dados topográficos do local da obra. O residencial Parque das Florestas conta com uma área total de 62.125,00 m², deste total 59,72% são lotes, 18,07% ruas, 20,65% áreas verdes e 1,56% área institucional, logo o empreendimento possui 172 lotes e 13 quadras. O projeto de georreferenciamento realizado pela construtora D' Ávila Reis LTDA é apresentado no ANEXO 1 deste trabalho.

As coordenadas do local em Universal Transversa de Mercator (UTM) são demonstradas no Tabela 6:

Tabela 6 - Coordenadas do local da obra.

	E	N
Coordenada UTM inicial	442458	7759447
Coordenada UTM final	442581	7758134

Fonte: Autor.

A unidade consumidora a ser projetada neste trabalho possui as seguintes características de localização:

- Não está localizada em Zona de amortecimento, entorno ou interior de Unidade de Conservação de Proteção Integral;
- Não está localizada em Zona de amortecimento, entorno ou interior de Unidade de Conservação de Uso Sustentável;
- Não está localizada em reservas legais ou áreas que comprometem patrimônio turístico, cultural ou arqueológico;
- Não é próxima a riacho, ribeirão ou rio;
- Não é próxima a lagoa, barragem ou reservatório;
- Não é próxima a veredas e brejo;
- Não é próxima a nascentes d'água;

- Não está situada em topo de morro, encosta ou aclive acentuado;
- Não é próxima a reservatório de Usina Hidrelétrica;

Através do aplicativo Google Earth Pro, pode-se observar o local exato da construção do loteamento, como pode ser visto pela Figura 19.



Figura 19 - Loteamento Parque da Floresta
Autor: Retirado de Google Earth Pro, 2017.

Por meio da Figura 19, pode-se perceber que o residencial já possui casas e pavimentação já construídas.

4.2 Dimensionamento da carga

Para que seja possível a escolha dos transformadores a serem utilizados na obra é necessário que seja dimensionada a carga total do empreendimento. Segundo a Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014) as cargas de Loteamentos Residenciais e Condomínios Fechados Horizontais devem ser dimensionadas em consonância com

o tamanho dos lotes, como demonstrado na Tabela 1 apresentada no Capítulo 3 deste trabalho.

Analisando o projeto de georreferenciamento (ANEXO 1), verificou-se o tamanho dos lotes e percebeu-se que o maior lote do empreendimento contém cerca de 371,81 m², logo, o empreendimento se encaixa na opção de 1 KVA por lote. Assim calculou-se o valor total da demanda de potência como evidenciado nas Equações 4.1 e 4.2:

$$\text{Demanda} = \text{N}^\circ \text{ Total de lotes} \times \text{Potência por lote} \quad (4.1)$$

Sendo o número total de lotes do empreendimento igual a 172 encontrou-se:

$$\text{Demanda} = 172 \times 1 \text{ KVA} = 172 \text{ [KVA]} \quad (4.2)$$

Com a demanda total do loteamento estimada, pôde-se dimensionar os transformadores a serem utilizados. Segundo a Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014), para loteamentos ou empreendimentos que contém características residenciais, devem ser utilizados transformadores de 45 KVA e 75 KVA. Assim, verificou-se a necessidade de três transformadores para suprir a demanda de potência estimada, como demonstra a Tabela 7.

Observado o valor total de potência dos transformadores dimensionados percebe-se que o mesmo foi superior a demanda estimada segundo a Norma de Distribuição. Tendo em vista que ainda não há consumidores no empreendimento, é sensato que a potência total dos transformadores seja maior, já que a carga pode variar.

Tabela 7 - Transformadores dimensionados.

Equipamento	Potência [KVA]
Transformador 1	75
Transformador 2	75
Transformador 3	45
Total	195

Fonte: Autor

Após o dimensionamento das cargas totais do empreendimento, realizou-se a etapa de locação dos postes apresentada no próximo tópico.

4.3 Locação dos postes

Nesta etapa de projeto observou-se a largura das ruas do empreendimento, a fim de determinar o tipo de disposição dos postes, se os mesmos serão unilaterais, bilaterais, alternados ou bilaterais frente a frente.

Analisando o projeto de georreferenciamento (ANEXO 1), percebe-se que as larguras das vias variam entre 10 e 12 metros, logo, a obra contém características adequadas para a disposição unilateral.

Como especificado na Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014), os postes devem ser alocados de forma que os vãos de cabos não ultrapassem 45 metros, evitando locais onde necessitam de desmate e procurando sempre divisa de lotes, mantendo os vãos da quadra equidistantes. Outro aspecto importante a considerar, em casos onde o eixo da rua estiver no sentido Norte-Sul, deve-se alocar os postes no lado oeste e em vias com o eixo no sentido Leste-Oeste, alocar sempre os postes no lado Norte.

Com o auxílio do *software* Autocad foi realizado um esboço do loteamento e alocação dos postes considerando todos os parâmetros descritos nas normas. As Figura 20, 21 e 22 demonstram a alocação dos postes realizada.

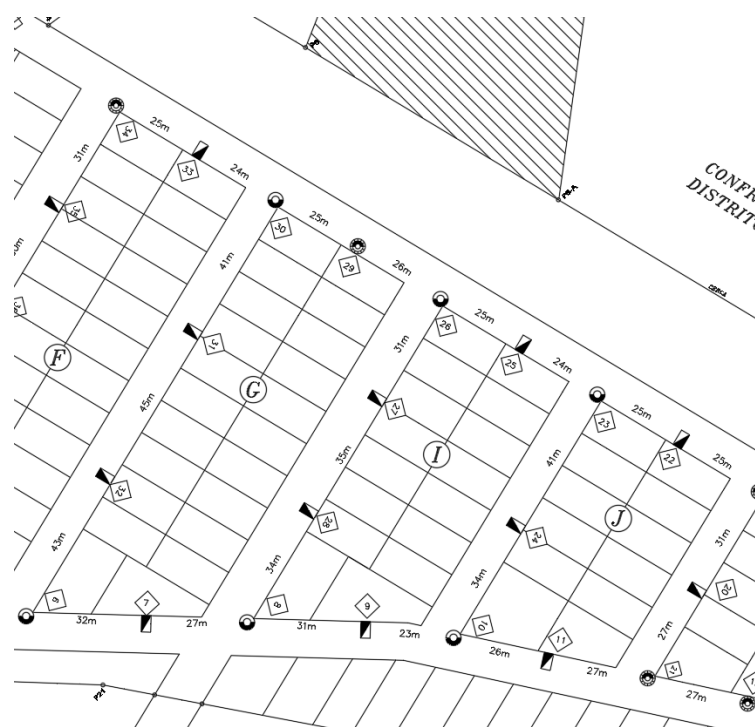


Figura 20 - Alocação de postes - Quadras G, I e J.

Fonte: Autor.

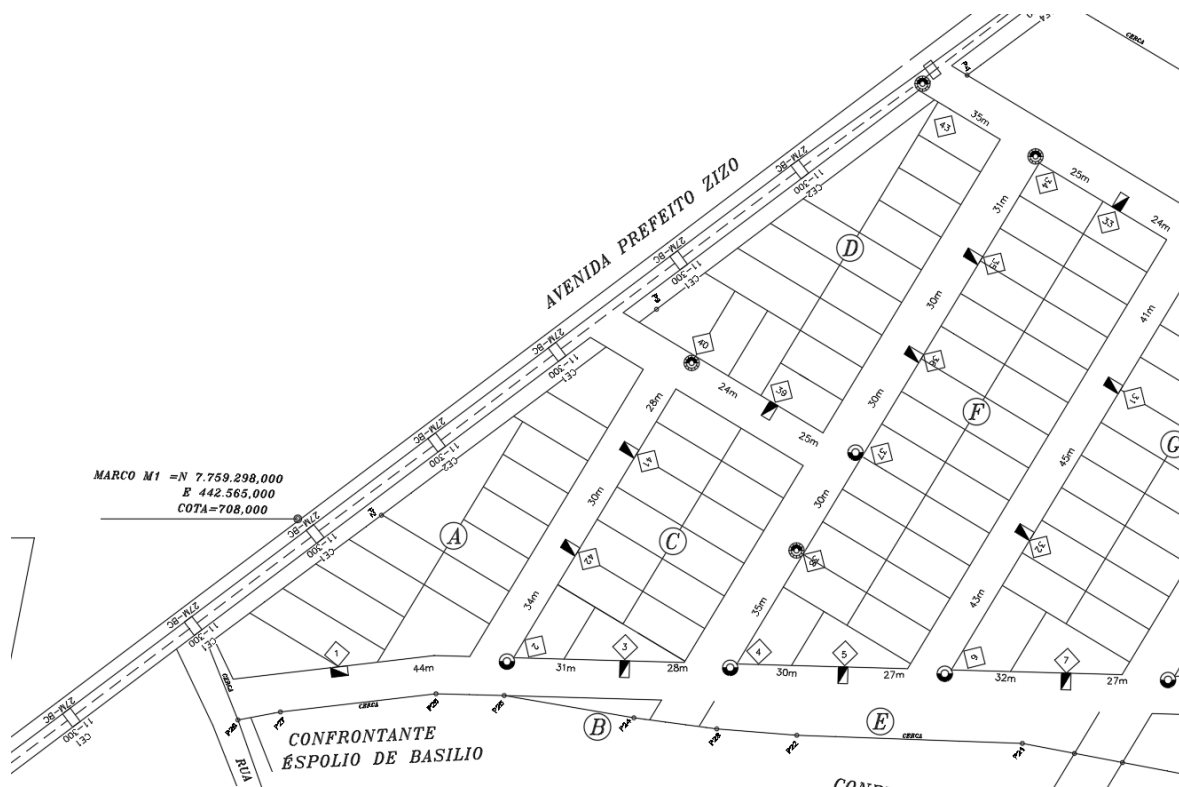


Figura 21 - Alocação de postes - Quadras A, C, D e F.

Fonte: Autor.

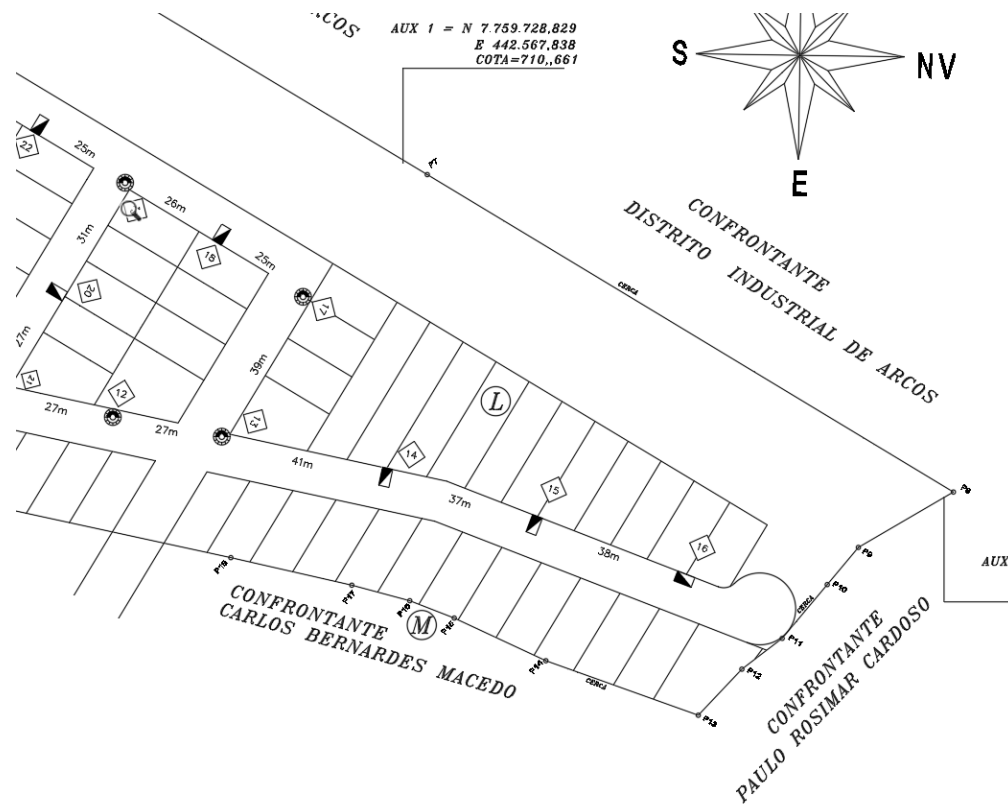


Figura 22 - Alocação de postes - Quadra K e L.

Fonte: Autor.

Para melhor entendimento das simbologias apresentadas nas Figuras 20, 21 e 22, a Figura 23 apresenta o significado de cada símbolo utilizado.

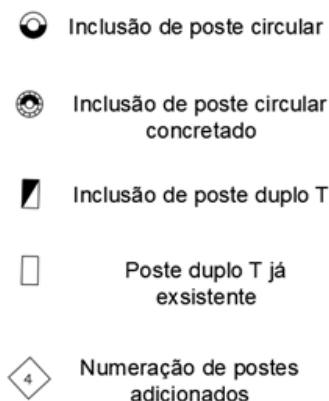


Figura 23 - Simbologia utilizada (Alocação de postes).

Fonte: Autor

Através das Figuras 20, 21 e 22 nota-se que todos os parâmetros descritos na norma foram atendidos. Percebe-se a numeração dos postes destacadas em um retângulo, contendo um total de 43 postes, número necessário para que a distância de 45 metros não seja ultrapassada.

Após realizar a alocação de todos os postes do loteamento foi possível verificar a melhor localização para os transformadores e dimensionar os circuitos de média e baixa tensão, assuntos que serão abordados a seguir.

4.4 Dimensionamento elétrico

Neste tópico serão apresentados os locais de instalação dos transformadores, dimensionamento dos condutores de média e baixa tensão e cálculo de queda de tensão em todos seguimentos dos circuitos.

4.4.1 Locação dos transformadores

Primeiramente, para que seja possível o dimensionamento dos caminhos onde serão locadas as linhas de média e baixa tensão, foram escolhidos os locais onde serão instalados os transformadores. Como os transformadores dimensionados são

trifásicos, as linhas de média tensão são alocadas em pontos que correspondem ao caminho até os transformadores.

Como descrito na Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014), a distância mínima entre o transformador de distribuição trifásico e o último poste atendido por ele, deve ser de no máximo 160 metros de linha. Para a escolha de quais postes devem ser adicionados os transformadores, analisa-se a alocação de tal maneira que todos os postes sejam atendidos, sendo assim foram escolhidos os postes 12 para o transformador A, 29 para o transformador B e 38 para o transformador C.

A Figura 24 evidencia os postes que podem ser atendidos pelo transformador A. Para melhor compreensão, na Figura 24 foi destacado a distância entre os postes na cor azul e a localização do transformador A de cor vermelha. Percebe-se que o transformador A pode atender no máximo 18 postes.

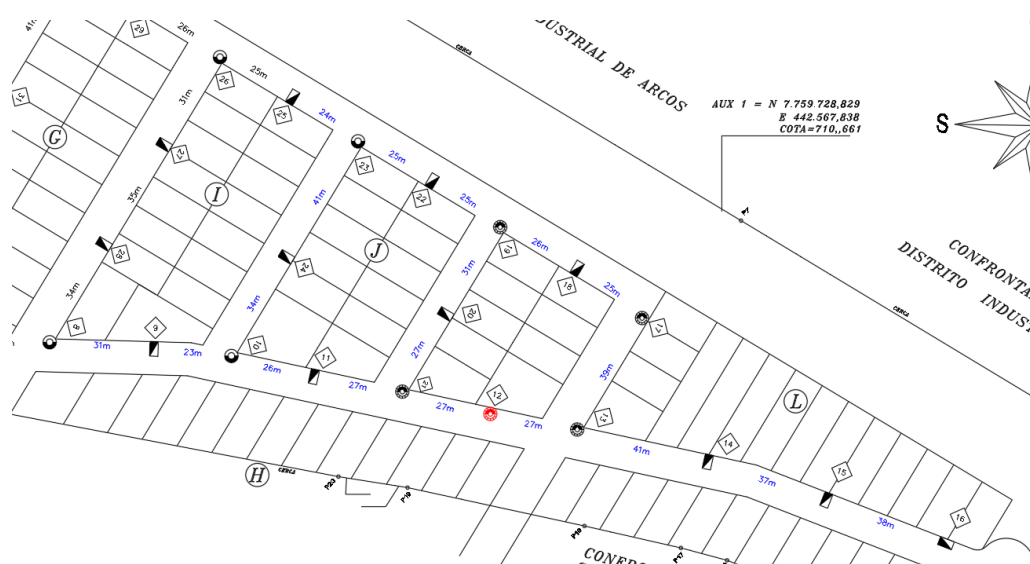


Figura 24 - Possíveis postes atendidos pelo transformador A.

Fonte: Autor.

A Tabela 8 apresenta os possíveis caminhos de linhas e o total em metros que o transformador pode atender.

Tabela 8 - Possíveis postes atendidos pelo transformador A.

Caminho	Postes	Total de linha [Metros]
1	12, 13, 14, 15 e 16	143
2	12, 13, 17, 18, 19 e 22	142
3	12, 13, 17, 18, 19 e 31	148
4	12, 21, 20, 19, 22, 23 e 25	159
5	12, 21, 11, 10, 9 e 8	134
6	12, 21, 11, 10, 24, e 23	155

Fonte: Autor

Tabela 9 - Possíveis postes atendidos pelo transformador B.

Caminho	Postes	Total de linha [Metros]
1	29, 30, 33, 34, 35 e 36	135
2	29, 30, 33, 34, 35 e 43	109
3	29, 30, 31, 32 e 9	154
4	29, 26, 27, 28, 8 e 7	153
5	29, 26, 27, 28, 8 e 9	157
6	29, 26, 25, 23, 22, 19 e 18	151
7	29, 26, 25, 23, 24 e 10	150
8	29, 26, 25, 23, 22, 19 e 20	156

Fonte: Autor

A Figura 26 apresenta os postes que podem ser atendidos pelo transformador

C.

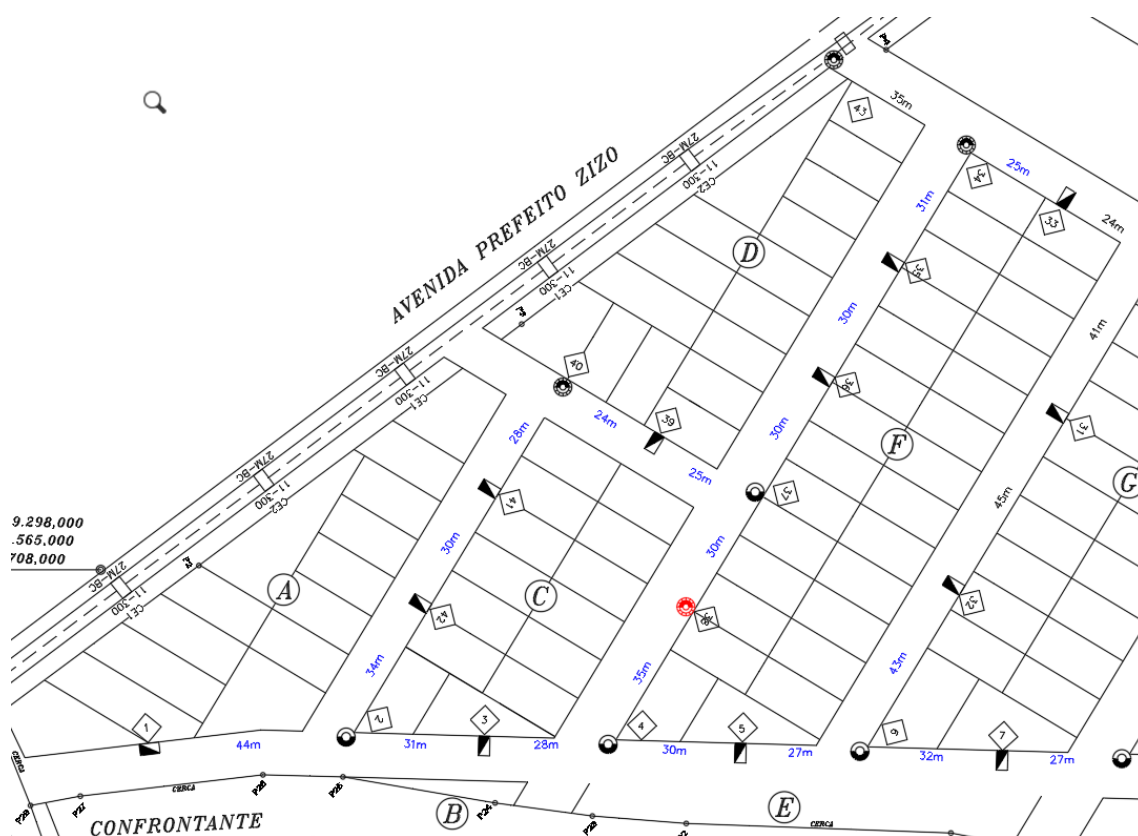


Figura 26 – Possíveis postes atendidos pelo transformador C.

Fonte: Autor.

Para melhor compreensão, na Figura 26 foi destacado a distância entre os postes na cor azul e a localização do transformador C de cor vermelha. Percebe-se que o transformador C pode atender no máximo 20 postes.

A Tabela 10 evidencia os possíveis caminhos de linhas e o total em metros no qual o transformador C pode atender.

Tabela 10 - Possíveis postes atendidos pelo transformador C.

Caminho	Postes	Total de linha [Metros]
1	38, 4, 3, 2 e 1	138
2	38, 4, 3, 2, 42 e 41	158
3	38, 4, 5, 6, 7 e 8	151
4	38, 37, 39, 40, 41 e 42	137
5	38, 37, 36, 35, 34 e 33	146
7	38, 4, 5, 6 e 32	135

Fonte: Autor

A Tabela 10 demonstra que a maior distância entre o poste do transformador C e o último poste a ser atendido é de 158 metros.

Por fim nota-se que todos os 43 postes do loteamento podem ser atendidos de acordo com as especificações das Normas de Distribuição.

4.4.2 Circuito dos transformadores

Neste tópico é apresentada a metodologia utilizada para a escolha dos postes integrantes de cada um dos três circuitos.

4.4.2.1 Transformador A

Com o posicionamento dos transformadores já realizado foram escolhidos os postes atendidos por cada um deles. Primeiramente, dimensionou-se os postes atendidos pelo transformador A e verificou-se a quantidade de luminárias necessárias para os postes do circuito, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Circuito transformador A.

Transformador A		
Postes atendidos	Número total de postes	Número de Luminárias
08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24	17	20

Fonte: Autor

Para a verificação da quantidade de luminárias necessárias para o circuito do Transformador A, considerou-se 02 luminárias para postes localizados em esquinas e 01 para os que não se encontram em esquinas. O circuito equivalente do transformador A é demonstrado na Figura 27.

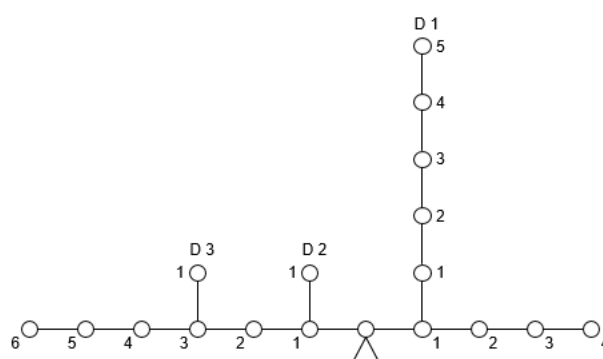


Figura 27 - Circuito equivalente - Transformador A.

Fonte: Autor

Pela Figura 27, pode-se observar que o transformador atende um total de 17 postes e contém três derivações, chamadas de D1, D2 e D3, o sexto e último poste a esquerda do transformador é utilizado apenas para interligação dos circuitos, logo as cargas acopladas nestes não serão alimentadas pelo Transformador A.

A quantidade total de lotes atendidos pelos postes do circuito do transformador A é de 63. Considerando a demanda de potência de cada lote de 1 KVA como informado pela Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014), e a potência de cada luminária de 100 VA, pode-se calcular a potência total absorvida pela carga do transformador A, como demonstra as Equações 4.3 e 4.4.

$$S_{\text{Total}} = \text{Potência iluminação} + \text{Potência dos lotes} \quad (4.3)$$

$$S_{\text{Total}} = 63 \text{ KVA} + 20 \times (100 \text{ VA}) = 65,0 \text{ KVA} \quad (4.4)$$

Entre as potências de transformadores dimensionados anteriormente, escolheu-se a de 75 KVA para o transformador A, isso devido a quantidade de potência total drenada pelo conjunto lotes e iluminação pública.

Percebe-se que a demanda de potência da carga em funcionamento total é inferior ao valor nominal do transformador, aspecto vantajoso, pois pode haver aumentos de carga em até 10,0 KVA sem a necessidade de troca do transformador.

4.4.2.2 Transformador B

Foi dimensionado a quantidade de postes na qual o transformador B atenderá e a quantidade de luminárias para os postes do circuito. A Tabela 12 apresenta os postes e luminárias atendidas pelo transformador B.

Tabela 12 - Circuito transformador B.

Transformador B		
Postes atendidos	Número total de postes	Número de Luminárias
25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 43	13	19

Fonte: Autor

Da mesma maneira realizada pelo transformador A, utilizou-se uma luminária para postes não localizados em esquinas e duas luminárias para os postes de esquina. O circuito equivalente atendido pelo transformador B é evidenciado na Figura 28.

Pela Figura 28 pode-se observar que o transformador atende um total de 13 postes e contém três derivações, chamadas de D1, D2 e D3. O terceiro poste a direita do transformador, terceiro poste da derivação D3 e o terceiro poste da derivação D1 são alimentados por outros circuitos, logo estes postes são utilizados apenas para acoplamento entre os circuitos do loteamento.

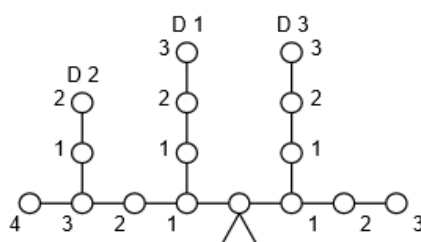


Figura 28 - Circuito equivalente - Transformador B.

Fonte: Autor

A quantidade total de lotes atendidos pelos postes do circuito do transformador B é de 62. Considerando a demanda de potência de cada lote de 1 KVA como informado pela Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014) e a potência de cada luminária

de 100 VA, pode-se calcular a potência total absorvida pela carga do transformador B, como apresenta as Equações 4.5 e 4.6.

$$S_{\text{Total}} = \text{Potência iluminação} + \text{Potência dos lotes} \quad (4.5)$$

$$S_{\text{Total}} = 62 \text{ KVA} + 19 \times (100 \text{ VA}) = 63,9 \text{ KVA} \quad (4.6)$$

Entre as potências de transformadores dimensionadas anteriormente escolheu-se a de 75 KVA para o transformador B, isso devido a quantidade de potência total drenada pelo conjunto lotes e iluminação pública.

Percebe-se que a demanda de potência da carga em funcionamento total é inferior ao valor nominal do transformador, logo há a possibilidade de um aumento de carga em até 11,1 KVA.

4.4.2.3 Transformador C

Dimensionou-se a quantidade de postes que o transformador C atenderá e a quantidade de luminárias para os postes do circuito. A Tabela 13 demonstra os postes e luminárias atendidas pelo transformador C.

Tabela 13 - Circuito transformador C.

Transformador C		
Postes atendidos	Número total de postes	Número de Luminárias
42, 41, 40, 39, 37, 38, 07, 06, 05, 04, 03, 02 e 01	13	17

Fonte: Autor

O mesmo procedimento utilizado para o dimensionamento das luminárias nos transformadores A e B foi utilizado para o transformador C. O circuito equivalente atendido pelo transformador C é apresentado na Figura 29.

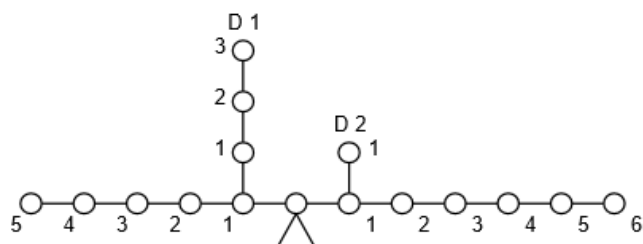


Figura 29 - Circuito equivalente - Transformador C.

Fonte: Autor

Pela Figura 29 observa-se que o circuito do transformador C contém duas derivações chamadas de D1 e D2, alimentando um total de 13 postes e 16 luminárias.

A quantidade total de lotes atendidos pelos postes do circuito do transformador C é de 37 lotes. Considerando a demanda de potência de cada lote de 1 KVA como informado pela Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014), e a potência de cada luminária de 100 VA pode-se calcular a potência total absorvida pela carga do transformador C, como evidencia as Equações 4.7 e 4.8.

$$S_{\text{Total}} = \text{Potência iluminação} + \text{Potência dos lotes} \quad (4.7)$$

$$S_{\text{Total}} = 37 \text{ KVA} + 17 \times (100 \text{ VA}) = 38,7 \text{ KVA} \quad (4.8)$$

Entre as potências de transformadores dimensionadas anteriormente, escolheu-se a de 45 KVA para o transformador C, isso devido a quantidade de potência total drenada pelo conjunto lotes e iluminação pública.

4.4.3 Circuito de média tensão

Por se tratar de um empreendimento residencial, o circuito de média tensão alimentará apenas os três transformadores do loteamento. Logo, o circuito de média tensão deve ser disposto no projeto de forma a alimentar os transformadores com a menor quantidade de linha possível. Assim foi traçado o menor caminho para o circuito, como demonstra a Figura 30 e 31.



Figura 30 - Circuito de média tensão - Transformadores B e C.

Fonte: Autor.

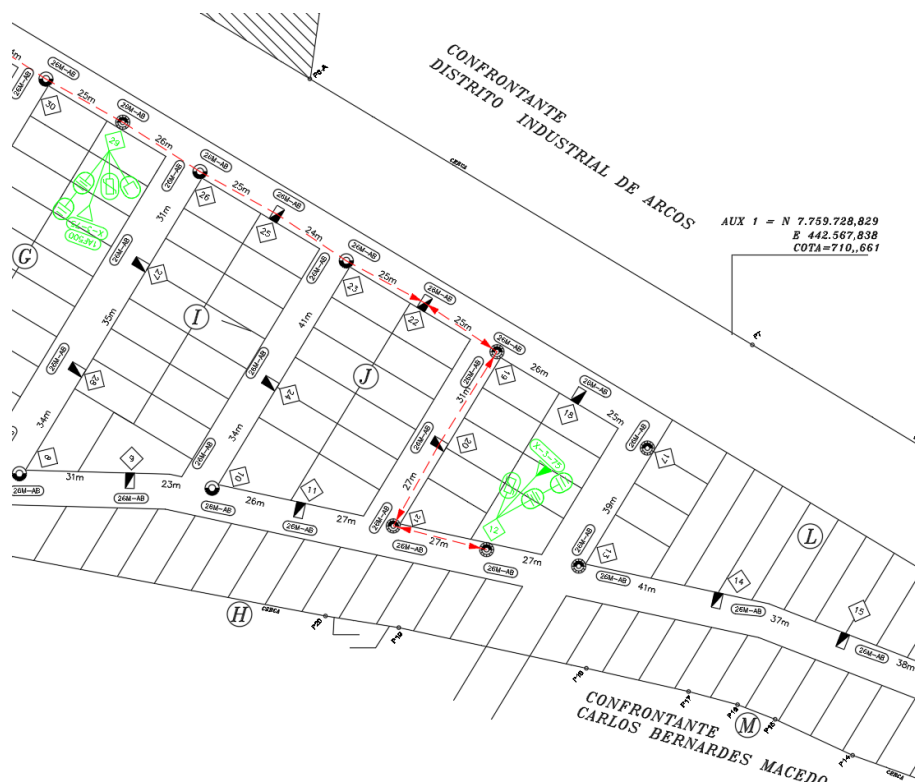


Figura 31 - Circuito de média tensão - Transformadores A e B.

Fonte: Autor.

Destacado na cor vermelha, pode-se observar nas Figuras 30 e 31 o circuito de média tensão simbolizado por uma linha tracejada. Os postes onde se encontram os transformadores A, B e C são apresentados na cor verde para a fácil identificação.

A alimentação de média tensão do loteamento é realizada pela linha mais próxima, localizada no poste 43. Para que seja possível a alimentação dos transformadores A, B e C foram projetados respectivamente 319, 109 e 156 metros de cabo.

Devido ao circuito de média tensão próximo ao loteamento ser de 13,8 KV e uma derivação de alimentador, segundo a Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014), deve-se utilizar cabo coberto isolado CA de 50 mm², características estas evidenciadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Características físicas e elétricas do cabo de rede compacta projetado.

CABO PROTEGIDO – 15 KV				
Cabo	Corrente Admissível (A) T _c = 90°C	Carga de ruptura do cabo coberto (daN)	Peso unitário do cabo coberto (Kg/Km)	Carga de ruptura do cabo de aço (daN)
50 (2AWG ou 70mm ²)	225	650	260	4900

Fonte: ND 3.1, 2014.

Observando a Tabela 14, nota-se as informações de corrente máxima, carga de ruptura para o cabo coberto e nu, e o seu peso unitário, informações importantes para o dimensionamento dos postes que sustentam os cabos de média tensão.

4.4.4 Circuito de baixa tensão

Para a realização do dimensionamento dos condutores de baixa tensão verificou-se a Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014). Em projetos de rede secundária os condutores a serem utilizados devem ser do tipo isolado multiplexados, onde as seções são padronizadas da seguinte maneira:

- 2 x 1 x 35 + 70 mm²;
- 2 x 1 x 70 + 70 mm²;
- 3 x 1 x 70 + 70 mm²;
- 3 x 1 x 120 + 70 mm².

As duas primeiras opções de seções foram descartadas devido ao empreendimento ser do tipo residencial e por conter rede de média tensão.

Utilizando uma tabela programada no *software* Excel disponibilizada pela CEMIG, foi possível verificar as seções ideais para todos os circuitos do loteamento.

Primeiramente foram preenchidos os dados necessários dos circuitos dos transformadores A, B e C para a realização dos cálculos como demonstram as Figuras 32, 33 e 34.

Entrada de Dados							
Dados do Sistema							
Número de fases da rede primária	3						
Tensão Máxima de Operação	15						
Taxa Anual de crescimento da carga	0,2						
É necessário o atendimento trifásico ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim						
Rede Secundária							
<i>Direita</i>	<i>Esquerda</i>	<i>Poste Redução de Bitola do Cabo LD</i>	1				
Número de Postes	4	Poste Redução de Bitola do Cabo LE	1				
Quant. de Derivações	3	Queda de tensão máxima (%)	7				
Vão médio entre Postes (m)	30						
Consumidores residenciais - Novos							
Consumidor 1	Quantidade	64	Consumo Previsto por Consumidor (kWh)	401			
	Unid. Cons.	B					
Iluminação Pública							
Potência da lâmpada (W)							
	70	80	100	125	150	250	400
Quantidade de Lâmpadas			20				

Figura 32 - Entrada de dados - Circuito transformador A.

Fonte: Tabela de cálculos de condutores CEMIG, 2017.

Entrada de Dados							
Dados do Sistema							
Número de fases da rede primária	3						
Tensão Máxima de Operação	15						
Taxa Anual de crescimento da carga	0,2						
É necessário o atendimento trifásico ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim						
Rede Secundária							
<i>Direita</i>	<i>Esquerda</i>	<i>Poste Redução de Bitola do Cabo LD</i>	1				
Número de Postes	3	Poste Redução de Bitola do Cabo LE	1				
Quant. de Derivações	3	Queda de tensão máxima (%)	7				
Vão médio entre Postes (m)	32						
Consumidores residenciais - Novos							
Consumidor 1	Quantidade	62	Consumo Previsto por Consumidor (kWh)	401			
	Unid. Cons.	B					
Iluminação Pública							
Potência da lâmpada (W)							
	70	80	100	125	150	250	400
Quantidade de Lâmpadas			19				

Figura 33 - Entrada de dados - Circuito transformador B.

Fonte: Tabela de cálculos de condutores CEMIG, 2017.

Entrada de Dados

Dados do Sistema	
Número de fases da rede primária	3
Tensão Máxima de Operação	15
Taxa Anual de crescimento da carga	0,2
É necessário o atendimento trifásico ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim
Rede Secundária	
Direita	Esquerda
Número de Postes	6
Quant. de Derivações	2
Vão médio entre Postes (m)	30
Poste Redução de Bitola do Cabo LD	1
Poste Redução de Bitola do Cabo LE	1
Queda de tensão máxima (%)	7

Consumidores residenciais - Novos			
Consumidor 1	Quantidade	37	Consumo Previsto por Consumidor (kWh)
	Unid. Cons.	B	401

Iluminação Pública						
Potência da lâmpada (W)						
	70	80	100	125	150	250
Quantidade de Lâmpadas			17			

Figura 34 - Entrada de dados - Circuito transformador C.

Fonte: Tabela de cálculos de condutores CEMIG, 2017.

Para a entrada de dados verificou-se no projeto a quantidade de postes a direita e a esquerda de onde o transformador está locado. A quantidade de consumo previsto preenchida equivale ao valor dos lotes atendidos pelo circuito, e a quantidade de lâmpadas de iluminação pública foi preenchida de acordo com o valor demonstrado nas Tabelas 11, 12 e 13 respectivamente.

As seções dos cabos calculados pelo *software* disponibilizado pela CEMIG são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Seção dos condutores encontrados utilizando o *software* disponibilizado pela CEMIG.

Linha de baixa tensão	Até o primeiro poste a direita	Até o primeiro poste a esquerda	Restante
Circuito – Transformador A			
Seção	$3 \times 1 \times 120 + 70$ mm^2	$3 \times 1 \times 120 + 70$ mm^2	$3 \times 1 \times 70 + 70$ mm^2
Circuito – Transformador B			
Seção	$3 \times 1 \times 120 + 70$ mm^2	$3 \times 1 \times 120 + 70$ mm^2	$3 \times 1 \times 70 + 70$ mm^2
Circuito – Transformador C			
Seção	$3 \times 1 \times 70 + 70$ mm^2	$3 \times 1 \times 70 + 70$ mm^2	$3 \times 1 \times 70 + 70$ mm^2

Fonte: Tabela de cálculos de condutores CEMIG, 2017.

A Tabela 15 indica a seção dos cabos de cada circuito para os postes adjacentes ao transformador e para o restante do circuito. A diferença da seção entre os postes adjacentes e o restante da malha do circuito deve-se a divisão de corrente.

4.4.4.1 Queda de tensão

Segundo a Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014), a queda de tensão máxima permitida para circuitos de baixa tensão está limitada a 5% para municípios que não possuem subestação de (AT e MT) e 7% para aqueles que possuem tal instalação.

Para encontrar os valores de queda de tensão foram utilizadas as seguintes Equações 4.9 e 4.10.

$$E = \left(\frac{C}{2} + D\right) \times B \quad (4.9)$$

$$H_{\%} = E \times G_{\%} \quad (4.10)$$

Nas quais

E = Carga em função da distância;

C = Carga distribuída entre os pontos;

D = Carga acumulada no final do trecho;

B = Distância entre os pontos especificados (d/100m)

H = Percentual no final do trecho estabelecido;

G = Coeficiente de cálculo de queda de tensão conforme o tipo de cabo.

Os valores de coeficiente de queda de tensão para cada tipo de cabo são evidenciados na Tabela 16.

Tabela 16 - Coeficientes de queda de tensão para cada cabo.

CABOS ISOLADOS DE BT			
Cabos	FP = 1	FP = 0,92	FP = 0,80
2x1x35+70	0,3518	0,3356	0,2998
2x1x70+70	0,1832	0,1792	0,1631
3x1x35+70	0,2305	0,2207	0,1977
3x1x70+70	0,1181	0,1165	0,1066
3x1x120+70	0,0706	0,0721	0,0676

Fonte: ND 3.1, 2014.

- Circuito A

Para a realizar os cálculos do circuito A primeiramente dividiu-se as cargas de iluminação pública e lotes para cada poste como apresenta a Tabela 17.

Tabela 17 - Divisão de cargas por poste (Circuito A).

Circuito Direita							Total
	0	1	2	3	4	#	
Postes	12	13	14	15	16	#	
Lotes	4	4	7	7	7	#	29
Luminárias	1	2	1	1	1	#	6
Derivação 1							
	1	2	3	4	5	#	
Postes	17	18	19	22	23	#	
Lotes	4	2	1	1	0	#	8
Luminárias	1	1	2	1	0	#	5
Circuito Esquerda							
	1	2	3	4	5	6	
Postes	21	11	10	9	8	7	
Lotes	4	4	3	4	0	0	15
Luminárias	2	1	2	1	1	0	7
Derivação 2							
	1	#	#	#	#	#	
Postes	20	#	#	#	#	#	
Lotes	6	#	#	#	#	#	6
Luminárias	1	#	#	#	#	#	1
Derivação 3							
	1	#	#	#	#	#	
Postes	24	#	#	#	#	#	
Lotes	6	#	#	#	#	#	6
Luminárias	1	#	#	#	#	#	1
Total de Lotes							63
Total de IP's							20

Fonte: Autor

Para o cálculos do circuito A, foi analisado o esquemático demonstrado na Figura 35. Considerando um fator de potência de 0,92 e verificando os dados apresentados na Tabela 17, foi possível atribuir valores as variáveis das equações, analisando o trecho entre 00 e 01 do lado direito do transformador.

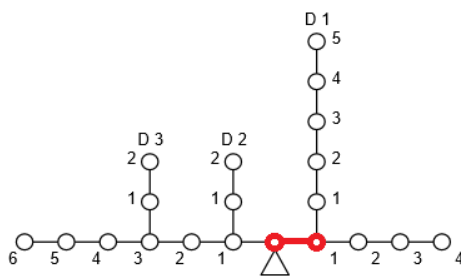


Figura 35 - Trecho 00 - 01 do lado direito (Circuito A).

Fonte: Autor.

$C = 8\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + 0,3 KVA (Carga de iluminação pública)

$D = 8\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + 0,3 KVA (Carga de iluminação pública)

$$G = 0,0721 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}}$$

$D = 27$ metros

Logo,

$$E = \left(\frac{8,3}{2} + 8,3 \right) \times \frac{27}{100} = 3,3615 \text{ KVA} \times \text{metros} \quad (4.11)$$

$$H_{\%(0-1)} = (3,3615 \text{ KVA} \times \text{m}) \times 0,0721 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}} = 0,2423 \% \quad (4.12)$$

Do poste 01 ao 04 do lado direito evidenciado na Figura 36 do transformador encontrou-se:

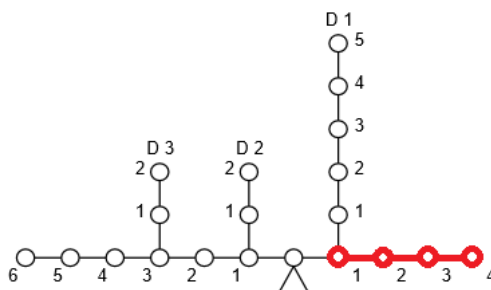


Figura 36 - Trecho 01 -04 do lado direito (Circuito A).

Fonte: Autor

$C = 25\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + 0,5 KVA (Carga de iluminação pública)

$D = 29\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + 0,6 KVA (Carga de iluminação pública)

$$G = 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}}$$

$$D = 116 \text{ metros}$$

$$E = \left(\frac{25,5}{2} + 29,6 \right) \times \frac{116}{100} = 49,126 \text{ KVA} \times \text{metros} \quad (4.13)$$

$$H_{\%(1-4)} = (49,126 \text{ KVA} \times \text{m}) \times 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}} = 5,723 \% \quad (4.14)$$

Com os valores das quedas de tensão dos postes 0 a 1 e 1 a 4, pode-se encontrar a queda de tensão total no final do circuito do lado direito do transformador A.

$$H_{\% \text{Total(Direita)}} = H_{\%(0-1)} + H_{\%(1-4)} = 0,2423\% + 5,723\% = 5,9653\% \quad (4.15)$$

Para a derivação 1 demonstrada na Figura 37, calculou-se a queda de tensão no final da linha:

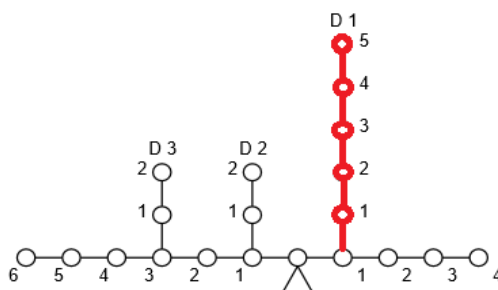


Figura 37 - Trecho 01 - 05 da derivação 1 (Circuito A).

Fonte: Autor

$$C = 12\text{KVA (Carga dos lotes)} + 0,7 \text{ KVA (Carga de iluminação pública)}$$

$$D = 16\text{KVA (Carga dos lotes)} + 0,8 \text{ KVA (Carga de iluminação pública)}$$

$$G = 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}}$$

$$D = 140 \text{ metros}$$

$$E = \left(\frac{12,7}{2} + 16,8 \right) \times \frac{140}{100} = 32,41 \text{ KVA} \times \text{metros} \quad (4.16)$$

$$H_{\%(1-5)} = (32,41 \text{ KVA} \times m) \times 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100m} = 3,775 \% \quad (4.17)$$

Com os valores das quedas de tensão dos postes 0 a 1 e 1 a 5, pode-se encontrar a queda de tensão total no final do circuito da derivação 1 do transformador A.

$$H_{\%Total(D1)} = H_{\%(0-1)} + H_{\%(1-5)} = 0,2423\% + 3,775\% = 4,01\% \quad (4.18)$$

Após os cálculos do lado direito do circuito calculou-se a queda de tensão até o último poste a esquerda do transformador. Para os cálculos dos postes 0 a 1 destacados na Figura 38 encontrou-se:

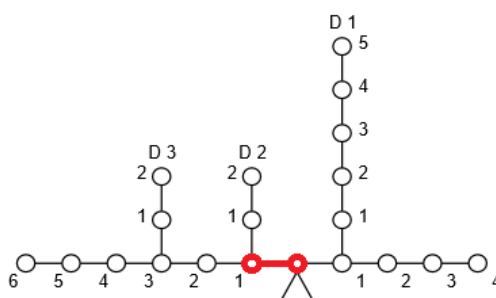


Figura 38 - Trecho 00 - 01 do lado esquerdo (Circuito A).

Fonte: Autor

$C = 8\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + 0,3 KVA (Carga de iluminação pública)

$D = 8\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + 0,3 KVA (Carga de iluminação pública)

$$G = 0,0721 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100m}$$

$D = 27$ metros

$$E = \left(\frac{8,3}{2} + 8,3 \right) \times \frac{27}{100} = 3,36 \text{ KVA} \times \text{metros} \quad (4.19)$$

$$H_{\%(0-1)} = (3,3615 \text{ KVA} \times m) \times 0,0721 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100m} = 0,2423 \% \quad (4.20)$$

Para o circuito do poste 01 ao 06 localizado na esquerda do transformador como destacado na Figura 39 encontrou-se:

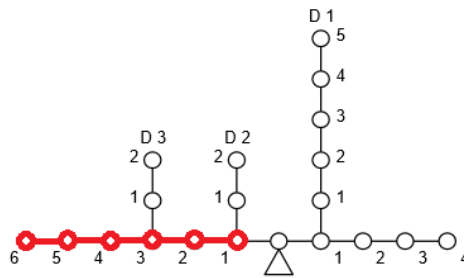


Figura 39 - Trecho 01 - 06 do lado esquerdo (Circuito A).

Fonte: Autor.

$C = 15\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + $0,7\text{ KVA}$ (Carga de iluminação pública)

$D = 19\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + $0,8\text{ KVA}$ (Carga de iluminação pública)

$$G = 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}}$$

$D = 134$ metros

$$E = \left(\frac{15,7}{2} + 19,8 \right) \times \frac{134}{100} = 37,051 \text{ KVA} \times \text{metros} \quad (4.21)$$

$$H_{\%(1-6)} = (37,051 \text{ KVA} \times \text{m}) \times 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}} = 4,3164 \% \quad (4.22)$$

Com os valores das quedas de tensão dos postes 0 a 1 e 1 a 6, pode-se encontrar a queda de tensão total no final do circuito da esquerda do transformador A

$$H_{\% \text{Total}(\text{Esquerda})} = H_{\%(0-1)} + H_{\%(1-5)} = 0,2423\% + 4,3164\% = 4,5587\% \quad (4.23)$$

Da mesma maneira calculou-se a queda de tensão no final da derivação 2, como destacado na Figura 40:

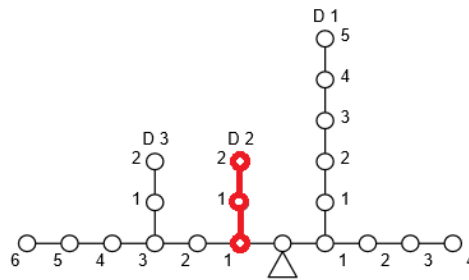


Figura 40 - Trecho 01 - 02 da derivação 2 (Circuito A).

Fonte: Autor.

$C = 11\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + $0,5\text{ KVA}$ (Carga de iluminação pública)

$D = 15\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + $0,6\text{ KVA}$ (Carga de iluminação pública)

$$G = 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}}$$

$D = 58$ metros

$$E = \left(\frac{11,5}{2} + 15,6 \right) \times \frac{58}{100} = 12,383 \text{ KVA} \times \text{metros} \quad (4.24)$$

$$H_{\%(1-2)} = (12,383 \text{ KVA} \times \text{m}) \times 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}} = 1,4426 \% \quad (4.25)$$

Com os valores das quedas de tensão dos postes 0 a 1 e 1 a 2, pode-se encontrar a queda de tensão total no final do circuito da derivação 2 do transformador A.

$$H_{\% \text{Total}(D2)} = H_{\%(0-1)} + H_{\%(1-2)} = 0,2423\% + 1,4426\% = 1,6849 \% \quad (4.26)$$

Por último, calculou-se a queda de tensão no final da derivação D3, iniciando dos postes 0 a 3, destacados na Figura 41:

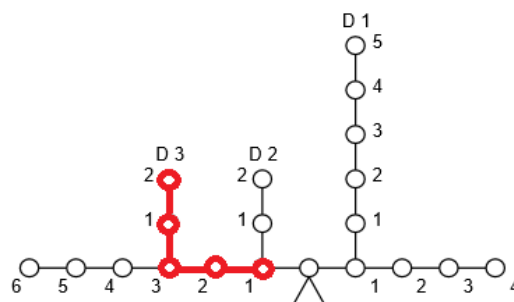


Figura 41 - Trecho 00 - 03 da derivação 3 (Circuito A).

Fonte: Autor

$C = 17\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + $0,6\text{ KVA}$ (Carga de iluminação pública)

$D = 21\text{KVA}$ (Carga dos lotes) + $0,7\text{ KVA}$ (Carga de iluminação pública)

$$G = 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}}$$

$D = 155$ metros

$$E = \left(\frac{17,6}{2} + 21,7 \right) \times \frac{155}{100} = 47,27 \text{ KVA} \times \text{metros} \quad (4.27)$$

$$H_{\%(1-2)} = (47,27 \text{ KVA} \times \text{m}) \times 0,1165 \frac{\%}{\text{KVA} \times 100\text{m}} = 5,50 \% \quad (4.28)$$

Com os valores das quedas de tensão dos postes 0 a 1 e 1 a 2, pode-se encontrar a queda de tensão total no final do circuito da derivação 2 do transformador A:

$$H_{\% \text{Total}(D3)} = H_{\%(0-1)} + H_{\%(1-2)} = 0,2423\% + 5,50\% = 5,749\% \quad (4.29)$$

Da mesma maneira realizada para o Circuito A, dividiu-se as cargas para cada poste nos Circuitos B e C como apresentam as Tabelas 18 e 19.

Com os dados apresentados nas Tabelas 18 e 19, foi possível o cálculo das quedas de tensão no circuito B e C respectivamente. Os valores encontrados são apresentados na Tabela 20.

Percebe-se que nenhum dos valores encontrados para as quedas de tensão dos circuitos secundários do loteamento apresenta valor maior ou igual a 7%, logo os condutores encontrados atendem aos requisitos especificados na Norma de Distribuição.

Analisando a quantidade de lotes atendidos pelos circuitos A, B e C apresentados nas Tabelas 17, 18 e 19, percebe-se que 162 lotes serão atendidos, porém o loteamento contém 172 lotes, logo, essa diferença deve-se aos 9 lotes localizados na Avenida Prefeito Zizo serem atendidos por um transformador já existente de 45 KVA, cadastrado na concessionária CEMIG com o número da companhia 76739.

Tabela 18 - Divisão de cargas por poste (Circuito B).

Circuito Direita							Total
	0	1	2	3	#	#	
Postes	29	26	25	23	#	#	
Lotes	2	2	1	4	#	#	9
Luminárias	1	2	1	2	#	#	6
Derivação 3							
	1	2	3	#	#	#	
Postes	27	28	8	#	#	#	
Lotes	6	7	3	#	#	#	16
Luminárias	1	1	1	#	#	#	3
Circuito Esquerda							
	1	2	3	4	#	#	
Postes	30	33	34	43	#	#	
Lotes	3	1	3	0	#	#	7
Luminárias	2	1	2	2	#	#	7
Derivação 1							
	1	2	3	#	#	#	
Postes	31	32	6	#	#	#	
Lotes	8	9	0	#	#	#	17
Luminárias	1	1	0	#	#	#	2
Derivação 2							
	1	2	#	#	#	#	
Postes	35	36	#	#	#	#	
Lotes	7	6	#	#	#	#	13
Luminárias	1	0	#	#	#	#	1
Total de Lotes							62
Total de IP's							19

Fonte: Autor

Tabela 19 - Divisão de cargas por poste (Circuito C).

Circuito Direita								Total
	0	1	2	3	4	5	6	
Postes	38	37	39	40	41	42	2	26
Lotes	5	3	4	2	3	6	3	
Luminárias	1	1	1	1	1	1	2	
Derivação 2								
	1	#	#	#	#	#	#	
Postes	36	#	#	#	#	#	#	0
Lotes	0	#	#	#	#	#	#	
Luminárias	1	#	#	#	#	#	#	
Derivação 1								
	1	2	3	#	#	#	#	
Postes	3	2	1	#	#	#	#	3
Lotes	1	0	2	#	#	#	#	
Luminárias	1	0	1	#	#	#	#	
Circuito Esquerda								
	1	2	3	4	5	#	#	
Postes	38	4	5	6	7	#	#	8
Lotes	0	3	1	3	1	#	#	
Luminárias	0	2	1	2	1	#	#	
Total de Lotes	37							
Total de IP's	17							

Fonte: Autor.

Tabela 20 - Queda de tensão total do loteamento.

Circuito A				
Direita	Esquerda	Derivação 1	Derivação 2	Derivação 3
5,96 %	4,55 %	4,01 %	1,68 %	5,74 %
Circuito B				
Direita	Esquerda	Derivação 1	Derivação 2	Derivação 3
1,28 %	1,49 %	4,30 %	3,75 %	3,21 %
Circuito C				
Direita	Esquerda	Derivação 1	Derivação 2	-----
6,61 %	2,35 %	2,21 %	1,77 %	-----

Fonte: Autor.

Após os cálculos de queda de tensão realizou-se a divisão das luminárias para cada fase dos circuitos de média tensão, os procedimentos utilizados são apresentados no próximo tópico.

4.4.4.2 Luminárias

Buscando um maior equilíbrio para os circuitos de baixa tensão, foram divididas as luminárias entre as fases AB, BC e CA nos circuitos A, B e C como evidenciado na Tabela 21.

Devido ao número total de luminárias em cada circuito não ser divisível por três, não foi possível obter o máximo equilíbrio de potência das cargas de iluminação pública.

Tabela 21 - Divisão de luminárias.

Circuitos	Fases AB	Fases BC	Fases CA	Total
A	7	7	6	20
B	7	6	6	19
C	6	6	5	17

Fonte: Autor.

4.4.4.3 Chave Fusível

Com o intuito de proteção dos transformadores foram escolhidas as chaves fusíveis para cada um dos três circuitos. Por meio da Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014) realizou-se a escolha dos elos fusíveis de acordo com a Tabela 22.

Tabela 22 - Escolha de elos fusíveis para transformadores.

Potência [KVA]	13,8 KV	22,0 KV	34,5KV
300	15K	10K	8k
225	12K	8K	6K
150	8K	5H	5H
112,5	6K	5H	3H
75	5H	3H	2H
45	3H	2H	2H
30	2H	1H	1H
15	1K	1H	1H

Fonte: ND 3.1, 2014.

Devido ao circuito de média tensão fornecer 13,8 KV, foram escolhidos os elos de acordo com a potência de cada transformador, logo para os transformadores de 75 KVA os elos escolhidos foram o 5H e para o transformador de 45 KVA o elo escolhido

foi o 3H. Para ambas as chaves foram projetadas porta-fusíveis de corrente nominal de 100 A, valor já pré-estabelecido pela Norma de Distribuição (ND 3.1, 2014).

Para os circuitos A e C, utilizou-se a alocação das chaves fusíveis de forma deslocada, devido a ambos os circuitos serem terminais, ou seja, em casos de manutenção ou troca destes transformadores, a chave deslocada provoca um desligamento da menor quantidade de consumidores possíveis. Obedecendo os critérios estabelecidos pela norma foram escolhidos os locais de instalação das chaves fusíveis utilizando uma distância inferior a 150 metros de linha de média tensão. Os postes de instalação das chaves fusíveis são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Locação das chaves fusíveis.

Transformador	Poste	Tipo
Transformador A	22	Deslocada
Transformador B	29	Não deslocada
Transformador C	36	Deslocada

Fonte: ND 3.1, 2014.

Para o transformador B não é realizado o deslocamento da chave fusível devido ao fato de que em casos de manutenção ou troca deste transformador, a chave deslocada não provocará uma diminuição de consumidores desligados, isso deve-se ao circuito estar alocado entre a alimentação do loteamento e os circuitos periféricos A e C.

Juntamente com as chaves fusíveis são instalados dois conjuntos de para-raios, sendo um ao lado da fonte e outro ao lado da carga, para proteção das chaves fusíveis. Como o loteamento fornecer uma tensão de 13,8 KV utilizou-se para-raios com tensão nominal de 12KV e corrente de descarga de 10KA, como especificado na ND 3.1.

A fim de proporcionar uma manobra mais rápida na linha de distribuição optou-se pela instalação de uma chave fusível no poste 43. Assim, utilizaram-se as mesmas especificações utilizadas nas outras chaves.

Com todo o dimensionamento elétrico realizado é possível dar prosseguimento à próxima etapa, no qual será realizado o dimensionamento mecânico do projeto. Os procedimentos utilizados nesta etapa são evidenciados no tópico a seguir.

4.5 Dimensionamento mecânico

Neste tópico será apresentado o dimensionamento das estruturas e esforço mecânico suportado por cada poste do loteamento.

4.5.1 Dimensionamento das estruturas secundárias

Para o dimensionamento das estruturas utilizadas para cada poste adicionado no loteamento, levou-se em consideração o ângulo de deflexão vertical da rede. Primeiramente, dimensionaram-se as estruturas de rede secundária utilizando a Norma de Distribuição (NTD-09, 2010), da concessionária Centrais Elétricas do Pará - CELPA devido a falta de informações deste tipo de estrutura nas normas de distribuição da CEMIG.

4.5.1.1 Estrutura SI-1

Analisando o projeto de distribuição verificou-se os postes que possuem a característica de passagem tangencial da rede secundária com cabos multiplexados, característica apresentada na Figura 42.

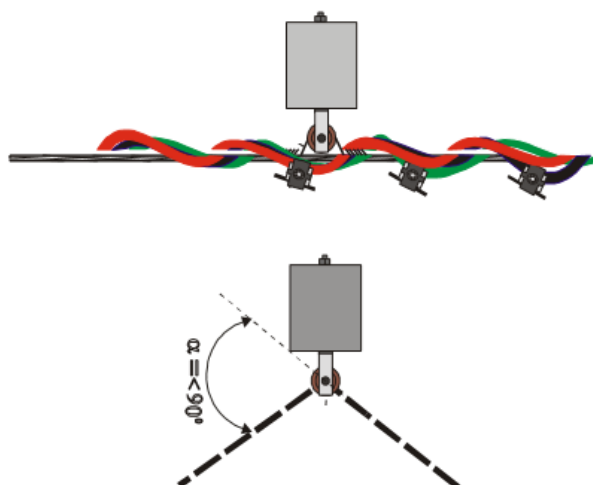


Figura 42 - Estrutura SI-1.

Fonte: NTD-09, 2014.

Os postes encontrados com as características citadas são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Postes com características para utilização da estrutura SI-1.

SI-1	Circuito A	Circuito B	Circuito C
Postes	09, 11, 12, 14, 15, 18, 20, 22 e 24	25, 27, 28, 29, 31, 32, 33 e 35	03, 05, 38, 39, 41 e 42
Ângulo	1°, 8°, 9°, 2°, 2°, 11°, 7°, 9° e 9°	14°, 5°, 3°, 9°, 3°, 2°, 9° e 6°	6°, 4°, 1°, 13°, 7° e 5°

Fonte: Autor.

A Tabela 24 apresenta os postes que utilizaram a estrutura SI-1 em cada circuito e seus respectivos ângulos com relação a roldana de sustentação.

4.5.1.2 Estrutura SI-3

Devido ao projeto de distribuição do loteamento apresentar apenas dois circuitos periféricos (A e C), apenas dois postes apresentam rede secundária com cabos multiplexados em finais de trecho. A Figura 43 demonstra um exemplo deste tipo de estrutura.



Figura 43 - Estrutura SI-3.

Fonte: NTD-09, 2014.

Assim os postes 01 do circuito C e o poste 16 do circuito A deverão utilizar a topologia SI-3. Nesta configuração os condutores de fase e neutro, deverão ser envolvidos com três voltas bem apertadas com fio isolado de cobre de 6mm².

4.5.1.3 Estrutura SI-4

Para a configuração SI-4, observou-se que um total de 18 postes se enquadram nas seguintes características:

- 02 postes utilizam rede secundária com cabos multiplexados em dois fins de linha;
- 05 postes utilizam rede secundária com cabos multiplexados em encabeçamento e fins de linha;
- 08 postes utilizam rede secundária com cabos multiplexados em encabeçamento e trecho tangente ao poste.
- 02 postes utilizam rede secundária com cabos multiplexados em encabeçamento.
- 01 poste utiliza rede secundária com cabos multiplexados em trecho passante com derivação.

As topologias citadas acima são derivadas da topologia de rede secundária com cabo multiplexado em encabeçamento, apresentada na Figura 44.

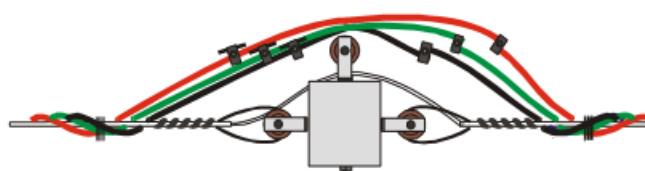


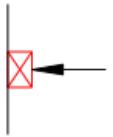
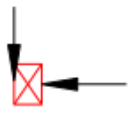
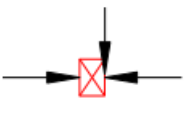
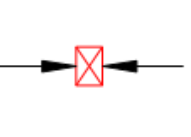
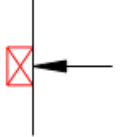
Figura 44 - Estrutura SI-1D.

Fonte: NTD-09, 2014.

Os 18 postes que deverão utilizar a topologia SI-4 são apresentados na Tabela 25.

Da mesma maneira que a topologia SI-3, a SI-1D deve utilizar o envolvimento dos condutores de fase e neutro com três voltas bem apertadas, realizadas com fio de cobre isolado de 6mm².

Tabela 25 - Postes com características para utilização da estrutura SI-1D.

Postes	2, 4, 6, 8, 10, 19 e 34	17 e 40	13, 21, 26, 27 e 30	7 e 36	37
Topologia					

Fonte: Autor.

Após o dimensionamento das estruturas de baixa tensão realizou-se o dimensionamento das estruturas primárias, os procedimentos utilizados são apresentados no tópico a seguir.

4.5.2 Dimensionamento das estruturas primárias

Com o auxílio das Normas de Distribuição (ND 2.9, 2016) e (ND 3.1, 2014), verificou-se as estruturas adequadas a serem utilizadas para cada poste de sustentação de circuitos de média tensão. Para isso utilizou-se a Tabela 26 para verificação.

Tabela 26 - Escolha de estrutura de rede compacta com braço J - Ângulo de deflexão em graus.

Classe de isolamento [kV]	Seção [mm ²]	CE1S	CE1	CE2	CE4	CE3-CE3	CEJ1	CEJ2
15	50	0°	>6°	0-90°	0-90°	>90°	0°	0-90°

Fonte: ND 3.1, 2014.

A Tabela 26 evidencia as faixas de ângulos para a classe de isolamento e seção do condutor de média tensão já dimensionados para o loteamento. Devido ao terreno do loteamento ser localizado em uma região plana, considerou-se apenas o ângulo horizontal para escolha das estruturas de média tensão.

4.5.2.1 Estrutura CE1

Ao analisar o projeto do loteamento, notou-se 07 postes com rede de média tensão atravessando tangencialmente os mesmos, aspecto característico da topologia

CE1. Para demonstração desta característica é apresentado na Figura 45 um exemplo da estrutura CE1.

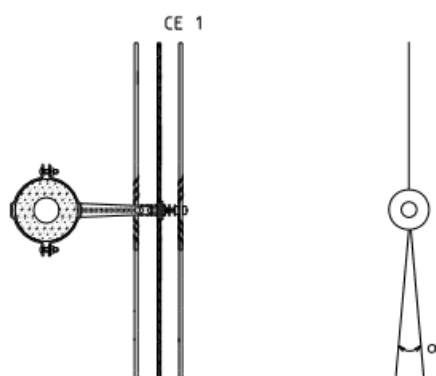


Figura 45 - Exemplo de estrutura CE1.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Na Tabela 27 são apresentados todos os 07 postes e seus devidos ângulos de deflexão horizontal.

Tabela 27 - Postes com características adequadas para estrutura CE1.

Postes	20	25	26	30	33	35	37
Ângulo	4°	5°	4°	4°	5°	0°	1°

Fonte: Autor.

Analisando a Tabela 27 percebe-se que todos os 07 postes apresentados possuem um ângulo de deflexão horizontal inferior a 6°, confirmando o requisito apresentado na Tabela 26.

4.5.2.2 Estrutura CE3

Nos finais das redes do circuito primário foram utilizados os postes 12 e 38, em ambos serão instalados transformadores trifásicos, dos quais um será de 75KVA e outro de 45KVA respectivamente. Verificando estas características notou-se que a estrutura CE3 seria a opção mais adequada. Para demonstração desta topologia é apresentado um exemplo na Figura 46.

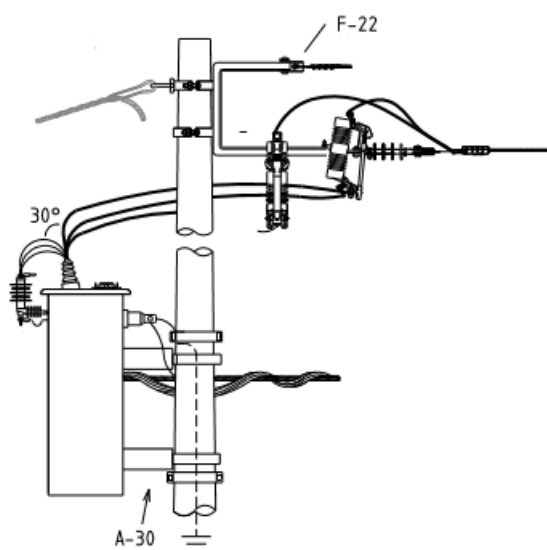


Figura 46 - Exemplo de estrutura CE3 com transformador trifásico.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Para a realização da ancoragem dos cabos de média tensão e estrutura CE3 utiliza um suporte tipo C referenciado na Figura 46 como F-22. Também é utilizada um suporte para transformadores trifásicos (A-30).

4.5.2.3 Estrutura CEM4

Como já descrito anteriormente no tópico de dimensionamento elétrico, foram utilizados os postes 22 e 36 para alocação das chaves fusíveis dos transformadores A e C, respectivamente. Levando em consideração estas características e devido à ancoragem da rede primária, notou-se a necessidade da utilização da estrutura CEM4 conforme apresentado um exemplo na Figura 47.

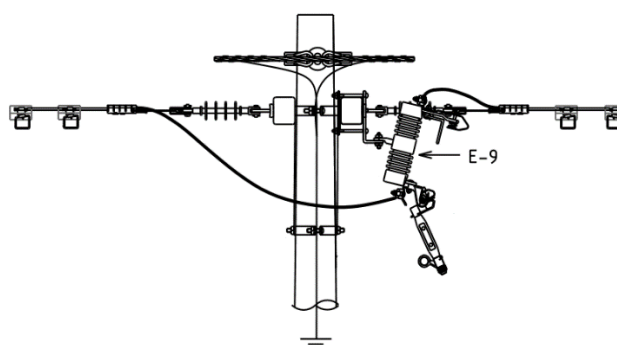


Figura 47 - Exemplo de estrutura CEM4 com chave fusível.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Na Figura 47 pode-se perceber a utilização da chave fusível referenciada como E-9, conectando as duas ancoragens da rede primária feitas de lados opostos.

4.5.2.4 Estrutura CE3-CE3

Nos postes 19 e 21 foram notadas uma angulação de deflexão horizontal de 91° e 101° respectivamente, além da necessidade de ancoragem de dois níveis devido à altura, isso devido aos postes serem de 12 metros (característica informada pelo topógrafo). Verificando a Tabela 26 e analisando a ND 2.9, notou-se que a estrutura mais adequada para os dois postes é a CE3-CE3. A Figura 48 apresenta um esboço desta estrutura.

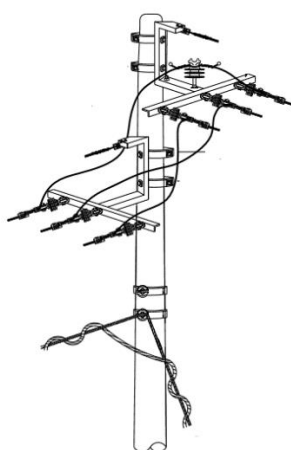


Figura 48 - Exemplo de estrutura CE3-CE3.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Ao observar a Figura 48, pode-se perceber a realização da ancoragem dos cabos de média tensão em dois níveis diferentes e de forma perpendicular.

4.5.2.5 Estrutura CEJ2

Ao observar o poste 29 nota-se um ângulo de deflexão horizontal de 3° e a utilização de um transformador trifásico com chave fusível não deslocada. Verificando a ND 2.9 e a Tabela 26 notou-se que a estrutura mais adequada para este poste é a CEJ2. A Figura 49 evidencia um exemplo deste tipo de estrutura.

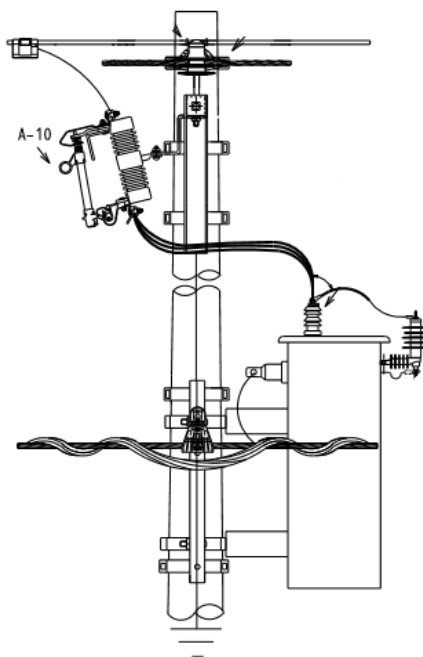


Figura 49 - Exemplo de estrutura CEJ2 com instalação de transformador trifásico.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Pode-se notar na Figura 49 a utilização de um suporte para sustentação do transformador trifásico e a chave fusível referenciada como (A-10).

4.5.2.6 Estrutura CE2

No poste 23 notou-se a passagem da linha de média tensão de forma tangencial, além disso, pode-se observar um ângulo de deflexão horizontal de 6° , assim eliminou-se a possibilidade de utilização da estrutura CE1. Levando em consideração estas características notou-se que a estrutura adequada para o poste é a CE2. A Figura 50 mostra um esboço desta estrutura.

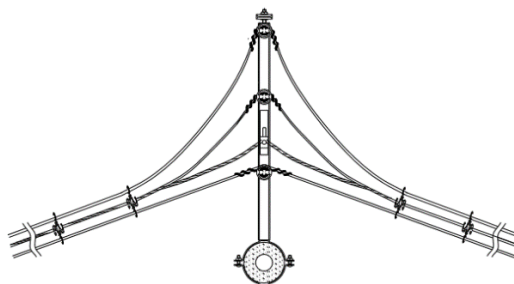


Figura 50 - Exemplo de estrutura CE2 com afastamento de rede passante em ângulo.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Ao observar a Figura 50, pode-se notar uma angulação considerável no cabeamento de média tensão passando tangencialmente ao poste.

4.5.2.7 Estrutura CE3-CE4

Ao analisar o poste 34, observou-se ancoragem da linha primária de três direções distintas. Assim, para a escolha da estrutura notou-se a necessidade de adotar dois níveis de altura para a linha de média tensão devido ao fato de não haver uma configuração simples para esta aplicação. Para o primeiro nível será instalado as duas ancoragens de forma oposta e no segundo nível a ancoragem perpendicular.

Verificando a Norma de Distribuição (ND 2.9, 2016), percebeu-se a necessidade da junção de duas estruturas, para o primeiro nível será utilizado a estrutura CE4 e para o segundo nível a estrutura CE3. As Figuras 51 e 52 apresentam esboços das estruturas CE3 e CE4 de forma separada.

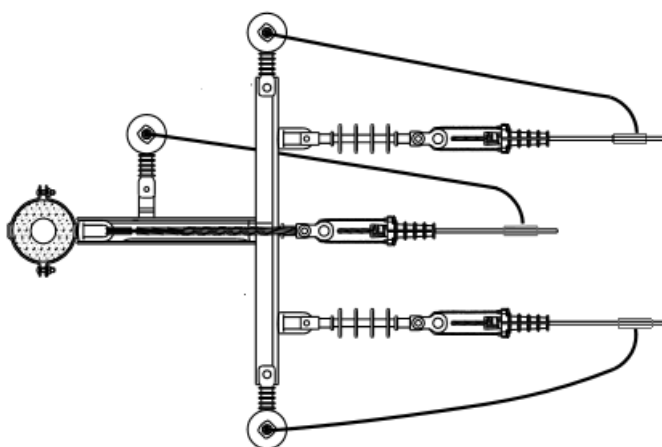


Figura 51 - Exemplo de estrutura CE3.

Fonte: ND 2.9, 2016.

Na Figura 51 observa-se a utilização de uma ancoragem utilizada para final de rede primária, porém, para este caso haverá uma interligação com as ancoragens que ficaram em um nível superior, apresentado na Figura 52.

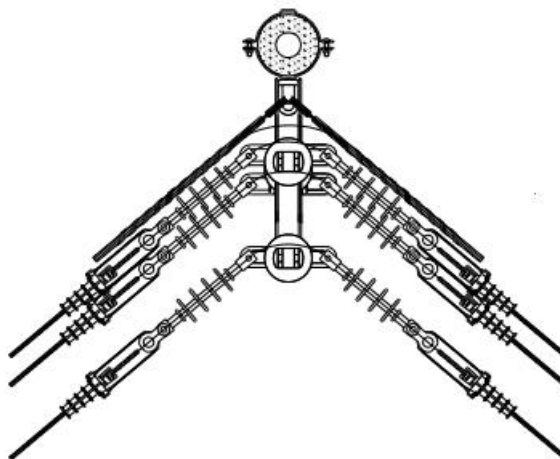


Figura 52 - Exemplo de estrutura CE4.

Fonte: ND 2.9, 2016.

4.5.2.8 Estrutura CE2-CEN3

No poste 43 pôde-se observar um ângulo de deflexão horizontal de 71° , e a instalação de uma chave fusível para isolamento total do circuito do loteamento. Por não haver uma estrutura que utiliza apenas um nível para estas características, adotou-se dois níveis, um será realizada a passagem tangencial ao poste da linha primária já existente e em outro a ancoragem da linha de alimentação do loteamento. Para atender aos dois níveis, serão utilizadas as estruturas CE2 e CEN3 em dois níveis diferentes, a estrutura CE2 realizará a passagem tangente da linha primária existente, e a topologia CEN3 fornecerá a ancoragem da linha primária de alimentação do loteamento, juntamente com a instalação da chave fusível.

4.5.3 Dimensionamento dos esforços mecânicos

Nesta última etapa do projeto verificou-se para cada poste incluso no loteamento os esforços mecânicos realizados pelas linhas de distribuição de média e baixa tensão. Para isso utilizou-se uma planilha de cálculos disponibilizada pela concessionária CEMIG.

O poste 28 é utilizado como exemplo para apresentação do dimensionamento realizado para todos os outros postes. A Figura 53 demonstra a entrada dos dados do poste 28.

Esforços

ESFORÇOS NO POSTE Nº 28 / (DT-11-300)

VÃO (m) ÂNGULO

35 3 0 0

	REDE	CABO
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Resultado referida

Transferir Poste Para Relatório Novo Poste Salva Relatório e Encerra

Rede Secundária Convencional

Modalidade

Convencional Isolada SÓ NEUTRO

Neutro Fase

 BT-3X1X70+70

Quantidade de Fases

1 2 3

(BT-3X1X70+70)

CONFIRMA?

daN

Figura 53 - Entrada de dados para o poste 28.

Fonte: Tabela de cálculos de esforços mecânicos CEMIG, 2017.

Como evidenciado na Figura 53, para a realização dos cálculos é necessário a inclusão da distância dos vãos de cabos tracionados no poste, ângulo de deflexão horizontal, tipo de rede e cabo dimensionado.

Como apresentado ao longo deste trabalho, o poste 28 contém apenas rede secundária, vãos de cabo com média de 35 metros e ângulo de deflexão horizontal de 3°, os cabos dimensionados para o circuito onde o poste está contido é de 3x1x70+70mm². Com os dados inclusos no *software* foram verificados os resultados como demonstrado na Figura 54.

Pela Figura 54 pode-se observar que para suportar os esforços de toda a estrutura é necessário um poste com suporte mínimo de 300 daN. O *software* demonstra que pode ser usado poste duplo T, madeira ou circular. Devido ao poste duplo T apresentar um menor custo, o mesmo será utilizado.



Figura 54 - Resultados do dimensionamento mecânico do poste 28.

Fonte: Tabela de cálculos de esforços mecânicos CEMIG, 2017.

Da mesma forma realizada para o poste 28, foram dimensionados os restantes dos postes do loteamento. A Tabela 28 apresenta a configuração encontrada para cada poste do loteamento.

Tabela 28 - Configuração dos postes do loteamento.

Tipo de poste	Número
11-300 DT	1, 3, 5, 7, 9, 11, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 27, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 39, 41 e 42
11-300 SC	2, 4, 6, 8, 10, 13, 17, 23, 26, 30, 37 e 40
11-600 SC	12, 29 e 38
12-Mill SC	19 e 21
12-600 SC	34 e 43

Fonte: Autor.

Pela Tabela 28 pode-se observar que os três postes que sustentam transformadores necessitam de estruturas mais resistentes. Também será necessária a troca do poste 11-300 DT número 43 já existente por um poste circular de 12-600 devido ao aumento da carga.

Desta forma conclui-se a etapa de projeto de distribuição de energia elétrica do Loteamento Parque das Florestas, como pode ser visto no APÊNDICE D, a simbologia utilizada é evidenciada no APÊNDICE A.

Após o dimensionamento do projeto de distribuição é possível realizar a verificação do preço final de construção e mão de obra e, conseqüentemente, a realização de uma análise de retorno de investimento para este empreendimento, tema que será abordado no próximo tópico.

4.6 Análise financeira – retorno de investimento

Neste tópico é abordada a metodologia utilizada para a realização da análise de retorno do investimento para a obra estudada neste trabalho. Para isso considerou-se o investimento sendo efetuado pela concessionária CEMIG, o pagamento desta aplicação será realizado pelo consumo de energia elétrica dos novos clientes que serão alocados neste loteamento.

Com o objetivo de realizar a análise financeira pretendida, verificou-se os seguintes parâmetros:

- Valor total do investimento;
- Estimativa do valor pago mensalmente para o consumo de energia elétrica no loteamento;
- Tarifa energética cobrada;
- Estimativa de crescimento populacional no empreendimento.

4.6.1 Valor total do investimento

Primeiramente verificou-se o valor total para a realização de projeto e construção do empreendimento. Para isso, foi realizada uma consulta perante a concessionária CEMIG com o objetivo de obter um orçamento, considerando a confecção do projeto, construção e materiais a serem utilizados. Assim os preços cobrados de mão-de-obra e materiais são respectivamente R\$ 95.173,87 e R\$ 87.661,96, totalizando em R\$ 182.835,83.

4.6.2 Estimativa de consumo de energia elétrica

Para estimar a quantidade de integrantes por residência no município de Arcos/MG, verificou-se o último Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro

de Geografia e Estatística (IBGE), datado do dia 1º de Julho de 2010, pôde-se certificar que a população do município desta cidade era de 36.597 pessoas. Para uma amostra de 10.340 famílias consultadas no município, verificou-se que 32,87% são constituídas por 03 pessoas, 28,21% constituídas por 02 pessoas, 27,79% constituídas por 04 pessoas, 8,46% são constituídas por 05 pessoas e 2,66% são constituídas por 05 ou mais integrantes.

Devido as famílias com características de 03 integrantes por residências se apresentarem em maior número nos dados estatísticos apresentados acima, a estimativa de consumo energético foi realizada considerando estas características de consumidor em todo o empreendimento.

Com o intuito de verificar a quantidade consumida por cada cliente no loteamento, realizou-se uma consulta relacionada aos dados estatísticos de consumo médio residencial mensal em todo o Brasil, executada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017). Foi constatado que para residências com três integrantes, a média de consumo mensal no mês de Agosto de 2017 foi de aproximadamente 157 KWh. Para este parâmetro também será considerado o consumo igual para todas as unidades consumidoras calculadas para o loteamento.

4.6.3 Tarifas cobradas

Para que seja possível o cálculo de custo energético por cliente do empreendimento, verificou-se o preço cobrado por KWh.

Devido ao empreendimento projetado ser do tipo residencial, foram consultadas as tarifas convencionais do tipo B1. Os dados encontrados são apresentados na Tabela 29.

Com base nos dados demonstrados na Tabela 29, será utilizada a média das tarifas para o cálculo do valor cobrado na conta de energia elétrica de cada cliente, que equivale a 0,82081 R\$/KWh. Esse valor será corrigido, a partir do segundo ano de consumo, com a inflação média de 6,78 % obtida nos últimos anos, segundo o IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo), que é o indicativo oficial do Governo Federal com objetivo de obtenção dos índices de inflação. Os índices de inflação de 2010 a 2016, segundo a (ADVFN, 2017), são apresentados na Tabela 30 a seguir.

Tabela 29 - Tarifa energética cobrada entre Dezembro de 2016 à Outubro de 2017.

Mês	Tarifa cobrada / KWh
Dezembro	0,82898
Janeiro	0,80585
Fevereiro	0,81300
Março	0,83762
Abril	0,86642
Maio	0,86288
Junho	0,84789
Julho	0,78497
Agosto	0,77746
Setembro	0,79259
Outubro	0,81133
Média	0,82081

Fonte: Autor.

Tabela 30 - Índice de inflação.

Ano	Acumulado (%)
2016	6,29
2015	10,67
2014	6,41
2013	5,91
2012	5,83
2011	6,50
2010	5,90
Média	6,78

Fonte: ADVFN, 2017.

Para se calcular o retorno de investimento, são considerados 22 % do valor total da fatura de consumo de energia elétrica destinados ao sistema de distribuição (valor empregado na fatura do mês de Setembro de 2017 pela CEMIG). Na realização dos cálculos não serão consideradas taxa de juros de forma direta, tendo em vista que na própria fatura de energia elétrica da concessionária já são realizadas tais cobranças em caso de vencimento.

4.6.4 Estimativa de crescimento populacional

A fim de estimar a quantidade de consumidores no loteamento ao decorrer dos anos, verificou-se a taxa de crescimento anual no município de Arcos/MG. Para isso foi consultado os dados estatísticos apresentados pelo IBGE, foi estimado que a população do município para o ano de 2017 seria de 39.811 pessoas.

Utilizando a quantidade de pessoas do município no ano de 2010 e a estimativa para o ano de 2017, é possível calcular a taxa de crescimento como demonstra a Equação 4.29.

$$\%_{\text{Cresc}}(2010-2017) = \frac{\text{População}_{2017} - \text{População}_{2010}}{\text{População}_{2010}} \times 100 \quad (4.29)$$

$$\%_{\text{Cresc}}(2010-2017) = \frac{39.811 - 36.597}{36.597} \times 100 = 8.782 \% / 7\text{anos} \quad (4.30)$$

Como o valor encontrado na Equação 4.30 equivale a uma taxa de sete anos, encontrou o valor para um ano, como demonstra a Equação 4.31 a seguir.

$$\%_{\text{Cres}}(\text{Anual}) = \frac{\%_{\text{Cres}}(2010-2017)}{2017-2010} = \frac{8,782}{2017-2010} = 1,254 \% / \text{ano} \quad (4.31)$$

Logo a taxa de crescimento anual estimada para o loteamento será de 1,254 % ao ano.

4.6.5 Cálculo de retorno de investimento

Com todos os parâmetros de interesse determinados, foi possível realizar o dimensionamento do tempo gasto para o retorno do investimento do empreendimento para duas situações: considerando a taxa de crescimento anual do município e para o loteamento totalmente preenchido após a realização da obra.

Foi calculada a quantidade de anos gastos para o preenchimento de todo o loteamento, utilizou-se a taxa de crescimento encontrada na Equação 4.31 de 1,254 % ao ano. Para isso empregou-se os conceitos de progressão aritmética, utilizou-se:

- Termo geral A_N igual ao número total de lotes disponíveis no loteamento;
- Primeiro termo da sequência A_1 sendo nulo, devido ao empreendimento ser inaugurado com nenhuma unidade consumidora;
- Razão R igual ao produto da taxa de crescimento anual em relação ao número total de lotes.

Sendo assim, foi possível encontrar o número de termos N como demonstra as equações 4.32, 4.33 e 4.34:

$$A_N = A_1 + (N - 1) \times R \quad (4.32)$$

Isolando N obteve-se:

$$N = \frac{A_N + R - A_1}{R} \quad (4.33)$$

Logo,

$$N = \frac{172 + 2,15 - 0}{2,15} = 81 \text{ anos} \quad (4.34)$$

Assim notou-se que são necessários 81 anos para o preenchimento total do empreendimento de acordo com a taxa de crescimento populacional do município. Com base neste dado deve-se realizar os cálculos de investimento considerando que pode haver variações nas parcelas em até um período de 81 anos.

4.6.5.1 Com base na taxa de crescimento anual do município

Com base em todos os parâmetros apresentados, realizou-se o cálculo de tempo de retorno do investimento utilizando o *software* MATLAB®, encontrou-se o equivalente a 16 anos para quitação total do valor do empreendimento. A Figura 55 evidencia o valor pago ao investidor ao longo do tempo.

Ao analisar a Figura 55, percebe-se que a curva não apresenta características lineares, isso deve-se ao aumento dos consumidores a cada ano no loteamento.

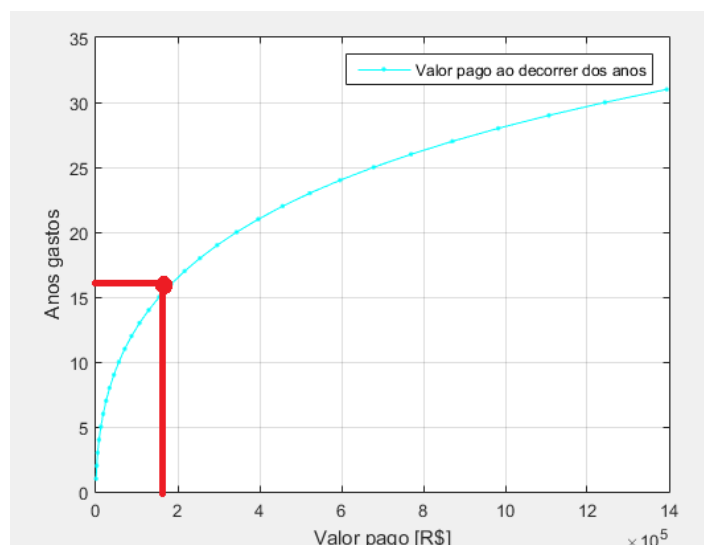


Figura 55 - Valor pago ao decorrer dos anos considerando a taxa de crescimento anual.

Fonte: Autor.

Também é observado que nos primeiros 5 anos o pagamento realizado pelos consumidores é relativamente baixo quando comparado ao restante dos anos. A Tabela 31 apresenta o fluxo de caixa do ponto de vista do investidor com intervalos de 3 anos, para um prazo de 30 anos após o investimento.

Tabela 31 - Fluxo de caixa - (Taxa de crescimento anual).

Anos	Tarifa (R\$/KWh)	Valor pago (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
0	0	0	- 182.835,83
1	0,82	680,42	- 182.155,41
3	0,94	4.460,95	- 178.374,88
6	1,14	17.864,80	- 164.971,03
9	1,39	43.890,69	- 138.945,14
12	1,69	87.395,18	- 95.440,65
15	2,06	154.750,32	- 28.085,51
18	2,50	254.273,18	+ 71.437,35
21	3,05	396.770,46	+ 213.934,63
24	3,71	596.228,09	+ 413.392,26
27	4,52	870.682,91	+ 687.847,08
30	5,50	1243.323,25	+ 1060.487,42

Fonte: Autor.

A Tabela 31 apresenta os valores pagos pelos consumidores ao decorrer dos anos, o valor das tarifas aplicadas em cada ano observado e o fluxo de caixa. Observa-se que para este caso o tempo necessário para o surgimento de lucro referente ao investimento são de aproximadamente 16 anos.

O código utilizado para a realização destes cálculos é apresentado no APÊNDICE B.

4.6.5.2 Com todo o empreendimento ocupado

Da mesma maneira, utilizando os dados já apresentados, realizou-se o cálculo de tempo de retorno do investimento utilizando o *software* MATLAB®, considerando o loteamento totalmente preenchido logo após a realização da obra. Obteve-se um retorno de investimento em aproximadamente 3 anos, tempo notavelmente menor quando comparado ao tempo obtido considerando a taxa de crescimento anual. A Figura 56 evidencia o valor pago ao investidor ao longo do tempo.

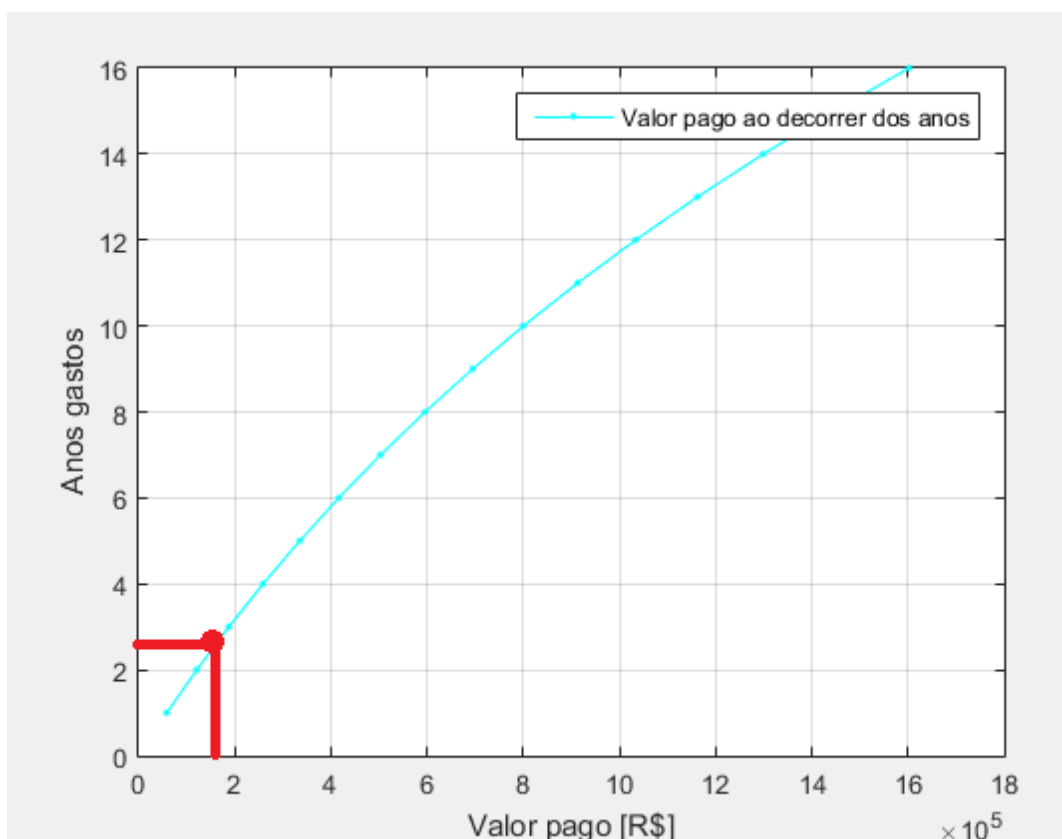


Figura 56 - Valor pago ao decorrer dos anos considerando o empreendimento preenchido após a realização da obra.

Fonte: Autor.

Observando a Figura 56, percebe-se que a curva gerada apresenta características lineares, isso deve-se a quantidade de consumo ser sempre a mesma, apenas a tarifa empregada apresenta variações referentes a inflação. A Tabela 32

apresenta o fluxo de caixa do ponto de vista do investidor com intervalos de 3 anos, para um prazo de 30 anos após o investimento.

Tabela 32 - Fluxo de caixa - (Loteamento preenchido).

Anos	Tarifa (R\$/KWh)	Valor pago (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
0	0	0	- 182.835,83
1	0,82	58.516,00	- 124.319,83
3	0,94	187.719,16	+ 4.883,33
6	1,14	416.267,64	+ 233.431,81
9	1,39	694.525,92	+ 511.690,09
12	1,69	1033.305,99	+ 850.470,16
15	2,06	1445.771,45	+ 1262.935,62
18	2,50	1947.949,06	+ 1765.113,23
21	3,05	2559.351,40	+ 2376.515,57
24	3,71	3303.735,08	+ 3120.899,25
27	4.52	4210.023,84	+ 4027.188,01
30	5.50	5313.432,39	+ 5130.596,56

Fonte: Autor.

A Tabela 31 apresenta os valores pagos pelos consumidores ao decorrer dos anos, o valor das tarifas aplicadas em cada ano observado e o fluxo de caixa. Observa-se que para este caso o tempo necessário para o surgimento de lucro referente ao investimento são de aproximadamente 3 anos.

O código utilizado para a realização destes cálculos são apresentados no APÊNDICE C.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas as etapas de dimensionamento de uma extensão de linhas aéreas de distribuição e uma análise de retorno de investimento, considerando como investidor do empreendimento a própria concessionária CEMIG.

Ao longo da realização do projeto, percebeu-se uma grande ausência de referências bibliográficas relacionadas aos procedimentos de projetos de distribuição. Com isso, além das referências utilizadas, foram necessárias buscas de informações com profissionais que trabalham na área. Assim foi possível realizar uma metodologia de trabalho para esta aplicação.

Para os dimensionamentos apresentados ao longo deste trabalho, utilizam-se como parâmetro as normas estabelecidas pela concessionária responsável, sendo assim alguns aspectos não são utilizados em todo o Brasil.

O prazo de retorno de investimento se apresentou longo quando utilizada a taxa de crescimento anual do município, tendo em vista que são adicionados dois novos consumidores a cada ano para auxiliar no pagamento da dívida. Pôde-se observar que após 21 anos de construção do empreendimento a concessionária passa a ter um lucro superior a 100% em relação ao valor investido.

Esta forma de pagamento de investimento torna-se ainda mais interessante quando o empreendimento já possui uma grande quantidade de consumidores logo após a realização da obra. Além de apresentar um tempo de retorno consideravelmente menor, os lucros em relação ao valor investido são aproximadamente 5 vezes maiores, quando comparados os dois cenários utilizados em um mesmo intervalo de tempo.

Na prática, as etapas de projeto e execução de obras relacionadas a distribuição de energia elétrica podem ser executadas tanto pelas concessionárias responsáveis quanto por empreiteiras. Em casos de loteamento, os pagamentos são realizados pelo próprio proprietário do investimento, o mesmo reflete o valor pago pela obra nos preços de venda dos lotes.

Desta forma, conclui-se que, mesmo que o tempo de retorno do investimento para ambos os cenários apresentem um valor alto, o investimento pela própria concessionária se apresenta bastante atrativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo de energia em Agosto de 2017**. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/ConsumodeEnergiaSeMan.aspx>>. Acesso em: 18 de Out. 2017.

DUGAN, R. C. et al. **Electrical Power Systems Quality**. 3. ed. New York: McGrawHill, 2012.

KERSTING. Introduction to Distribution Systems. **Distribution system modeling and analysis**. 3. ed. New Mexico: CRC Press, 2001.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica: **Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Acesso em: . Acesso em: 18 Out. 2017.

KAGAN, N., et al. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. São Paulo: Blucher, 2010

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Valores de Tarifas e Serviços** Disponível em: <http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 18 de Out. 2017.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **ND-3.1 Projeto de Redes de distribuição Aéreas Urbanas** .Disponível em: < http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Paginas/norma_tecnica.aspx>. Acesso em: 18 de Out. 2017.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **ND-2.9 Instalações Básicas de Redes de Distribuição Compactas** .Disponível em: < http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Paginas/norma_tecnica.aspx>. Acesso em: 18 de Out. 2017.

CERES. Cooperativa de Eletrificação Rural de Resende. **NTC-D-06 Redes de Distribuição de Energia Elétrica Aérea Secundária com Condutores Isolados** .Disponível em: < <http://www.ceres.coop.br/normas-tecnicas/>>. Acesso em: 18 de Out. 2017.

CELPA. Centrais Elétricas do Pará. **NTD-09 Montagem de Rede Aérea Secundária com Cabos Multiplex** .Disponível em: < <http://www.celpa.com.br/conheca-a-celpa/informacoes/normas-tecnicas>>. Acesso em: 18 de Out. 2017.

























IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Belo Horizonte, 2013

ADVFN. **Indicadores Econômicos**. Disponível em: < <http://br.advfn.com/indicadores/ipca>>. Acesso em: 18 Out. 2017.

EDP. **Estruturas para redes de distribuição aéreas compactas – Detalhes de montagem** .Disponível em: < <http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/tecnicas/padrao-e-especificacoes-tecnicas/Documents/PT.DT.PDN.03.05.001.pdf>>. Acesso em: 18 de Out. 2017.

ANEXO I – PLANTA GEORREFERENCIADA

APÊNDICE A – LEGENDAS

	Poste Circular não concretado já existente
	Poste Circular não concretado já existente
	Poste Duplo T já existente
X-3-45 	Transformador já existente de 45 KVA, trifásico e com chave deslocada
X-3-45 	Transformador já existente de 45 KVA, trifásico, e sem chave deslocada
X-3-45 	Transformador já existente, auto protegido, de 45 KVA, e trifásico
	Aterramento já existente
	Aterramento provisório já existente
100A/10KA/8K 	Chave Fusível deslocada já existente
	Fim de circuito já existente
11-300	Poste de 11 metros e 300 Dan já existente
CE3-CE3	Estrutura existente já existente
26M-AB	Luminária nas fases A e B já existente
	Para-raios de MT já existente
3#50+9,5	Linha de MT já existente
3X1X70+70	Linha de BT já existente
	Ancoragem BT
	Poste Circular não concretado adicionado
	Poste Circular não concretado adicionado
	Poste Circular não concretado adicionado
X-3-45 	Transformador adicionado de 45 KVA, trifásico e com chave deslocada
X-3-45 	Transformador adicionado de 45 KVA, trifásico, e sem chave deslocada
X-3-45 	Transformador adicionado, auto protegido, de 45 KVA, e trifásico
	Aterramento adicionado
	Aterramento provisório adicionado
100A/10KA/8K 	Chave Fusível deslocada já existente
	Fim de circuito adicionada
11-300	Poste de 11 metros e 300 Dan adicionado
CE3-CE3	Estrutura existente já adicionado
26M-AB	Luminária nas fases A e B já adicionado
	Para-raios de MT adicionado
3#50+9,5	Linha de MT já existente
3X1X70+70	Linha de BT já existente
	Ancoragem MT

Fonte: Autor.


```

    anos=anos+1 %% Contador de anos gastos para o pagamento
total do empreendimento
    y(anos)=quitado;
    x(anos)=anos;
    end
    if(anos>preenchimento) %% Caso o loteamento esteja todo
preenchido
        precoanual=consumo*tarifa*12*0.22; %% Calcula a fatura de
energia para um cliente.
        sprintf(' Tarifa para o ano %.f: %f',anos,tarifa)
        lotes=fix(lotes);
        quitado=quitado+(lotes*precoanual) %% Calculo do valor
quitado a cada ano.
        fluxodecaixa=quitado-total; %% Calculo de fluxo de caixa.
        tarifa=tarifa+(tarifa*inflacao); %% Ajusta a tarifa de
acordo com a inflação.
        sprintf(' O valor pago até ano %.f: %f',anos,quitado)
        sprintf(' O fluxo de caixa no ano %.f:
%f',anos,fluxodecaixa)
        anos=anos+1 %% Contador de anos gastos para o pagamento
total do empreendimento
        y(anos)=quitado;
        x(anos)=anos;
        end

end

plot(y(1:anos),x(1:anos),'-c.')
xlabel('Valor pago [R$]')
ylabel('Anos gastos')
legend('Valor pago ao decorrer dos anos')
grid on
sprintf('\n A quantidade de anos gasta para o pagamento total
da divida é: %.1f \n', anos)

```



```
sprintf('\n A quantidade de anos gasta para o pagamento total  
da divida é: %.1f \n', anos)
```

APÊNDICE D – PROJETO DE DISTRIBUIÇÃO