

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS**  
**CÂMPUS ITUMBIARA**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**WILDSON MIRANDA DOS SANTOS**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE REDES DE DISTRIBUIÇÃO  
SUBTERRÂNEA E AÉREA: ESTUDO DE CASO**

**ITUMBIARA-GO**

**2024**

### **TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

#### **Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese                                        | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação                  | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |                                                         |

**Nome Completo do Autor:** Wildson Miranda dos Santos

**Matrícula:** 20191040070289

**Título do Trabalho:** Análise Comparativa entre Redes de Distribuição Subterrânea e Aérea: Estudo de Caso

#### **Autorização - Marque uma das opções**

1. ( **X** ) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ( ) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (Embargo);
3. ( ) Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ( ) O documento está sujeito a registro de patente.  
( ) O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.  
( ) Outra justificativa: \_\_\_\_\_

### **DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção tecnicocientífica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 07/04/2025.  
Local Data

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** WILDSON MIRANDA DOS SANTOS  
Data: 07/04/2025 13:43:30-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS**  
**CÂMPUS ITUMBIARA**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE REDES DE DISTRIBUIÇÃO  
SUBTERRÂNEA E AÉREA: ESTUDO DE CASO**

**WILDSON MIRANDA DOS SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Goiás, campus Itumbiara, sob a orientação do prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco.

Itumbiara – GOIÁS – BRASIL

Setembro/2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

S237      Santos, Wildson Miranda dos  
            Análise comparativa entre redes de distribuição subterrânea e  
            aérea: estudo de caso. -- Itumbiara, 2025.  
            73 p. : il.

            Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia  
            Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
            de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2025.

            Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco.

            1.Energia elétrica - Distribuição. 2.Espaços Urbanos.3.Canais  
            de distribuição. I. Título. II. Santos, Wildson Miranda dos.  
            III. Pacheco, Cláudio Roberto. IV. Instituto Federal de  
            Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.319

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara  
Bibliotecário: Marla de Souza Correia CRB-1/3011



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
CÂMPUS ITUMBIARA

### **Termo de Aprovação**

**WILDSON MIRANDA DOS SANTOS**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA E AÉREA: ESTUDO DE CASO**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.**

**Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 17 de Setembro de 2024, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:**

#### **BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco - Orientador**

**Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.**

***(Assinado Eletronicamente).***

**Prof. MSc. Wellington do Prado - membro interno**

**Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.**

***(Assinado Eletronicamente).***

**Prof. Dr. Victor Régis Bernardeli - membro interno**

**Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.**

***(Assinado Eletronicamente).***

**Itumbiara – GO**

**2024**

Documento assinado eletronicamente por:

- Wellington do Prado, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/09/2024 20:01:09.
- Claudio Roberto Pacheco, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/09/2024 17:45:39.
- Victor Regis Bernardeli, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/09/2024 15:40:03.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 565342

Código de Autenticação: 9eb6bccefd



**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás**  
Avenida Furnas, nº 55, None, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010  
(64) 2103-5612 (ramal: 5612)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e fé para superar todos os desafios ao longo desta jornada acadêmica.

À minha mãe e ao meu irmão, meu mais sincero agradecimento pelo amor incondicional, pelo apoio em todos os momentos e por acreditarem em mim quando mais precisei.

Aos professores do IFG Campus Itumbiara, que compartilharam conhecimento, incentivaram o pensamento crítico e contribuíram significativamente para minha formação.

Ao meu orientador, Claudio Roberto Pacheco, sou grato pela paciência, orientação e pelo compromisso em me guiar durante este trabalho, sempre com palavras de incentivo e direcionamento preciso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria para enfrentar os desafios ao longo desta jornada.

À minha família, pelo apoio incondicional, paciência e incentivo em cada etapa do meu percurso acadêmico.

Aos meus professores, que compartilharam seus conhecimentos e me guiaram com dedicação e compromisso durante todo o curso.

Ao meu orientador, por sua orientação, paciência e por acreditar no potencial deste trabalho.

Aos colegas e amigos, pela companhia, colaboração e pelas valiosas trocas de ideias, que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, participaram desta caminhada e ajudaram na realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho aborda a implementação de Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS) em condomínios fechados, uma solução tecnológica que tem ganhado destaque em empreendimentos de alto padrão no Brasil. A pesquisa explora as características técnicas, vantagens e desvantagens das RDS em comparação com as Redes de Distribuição Aéreas (RDA), com foco na melhoria da estética urbana e na eficiência energética. O estudo inclui uma análise comparativa de custos, métodos de execução e regulamentações aplicáveis, com base em um caso de estudo específico dentro da concessão da CEMIG. Os resultados mostram que, embora as RDS apresentem um custo inicial elevado, oferecem maior confiabilidade e segurança, além de reduzir as interrupções no fornecimento de energia e a necessidade de manutenção preventiva.

**Palavras-chave:** Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS), Redes de Distribuição Aéreas (RDA), Estética Urbana, Custo de Implementação, Infraestrutura Energética.

## **ABSTRACT**

This paper discusses the implementation of Underground Distribution Networks (UDN) in gated communities, a technological solution that has gained prominence in high-end developments in Brazil. The research explores the technical characteristics, advantages, and disadvantages of UDN compared to Overhead Distribution Networks (ODN), focusing on improving urban aesthetics and energy efficiency. The study includes a comparative analysis of costs, execution methods, and applicable regulations, based on a specific case study within the concession area of CEMIG. The results show that although UDNs have a high initial cost, they offer greater reliability and safety, as well as reduce power supply interruptions and the need for preventive maintenance.

**Key-words:** Underground Distribution Networks (UDN), Overhead Distribution Networks (ODN), Urban Aesthetics, Implementation Cost, Energy Infrastructure.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Comparativo de custos de atendimento.....                                | 18 |
| <b>Tabela 2.</b> Dimensionamento dos dutos corrugados PEAD por diâmetro do circuito ..... | 29 |
| <b>Tabela 3.</b> Dimensionamento dos eletrodutos de aço por diâmetro do circuito.....     | 30 |
| <b>Tabela 4.</b> Dimensionamento das caixas, poços de inspeção.....                       | 30 |
| <b>Tabela 5.</b> Valor nominal para tensão igual ou inferior a 1Kv.....                   | 33 |
| <b>Tabela 6.</b> Valor nominal para potência igual ou inferior a 1Kv. ....                | 34 |
| <b>Tabela 7.</b> Tipo de fita isolante por fase .....                                     | 34 |
| <b>Tabela 8.</b> Seção bitola de cabo para tensão igual ou inferior a 1kV. ....           | 35 |
| <b>Tabela 9.</b> Identificação das fases.....                                             | 38 |
| <b>Tabela 10.</b> Identificação do tipo de terminação. ....                               | 38 |
| <b>Tabela 11.</b> Valor nominal para tensão nos condutores.....                           | 39 |
| <b>Tabela 12.</b> Valores construção das linhas.....                                      | 55 |
| <b>Tabela 13.</b> Custos % de cada item da construção. ....                               | 57 |
| <b>Tabela 14.</b> Custos por quilômetros da implantação da rede .....                     | 57 |
| <b>Tabela 15.</b> Custos de manutenção preventiva rede aérea .....                        | 60 |
| <b>Tabela 16.</b> Custos manutenção corretiva rede aérea .....                            | 60 |
| <b>Tabela 17.</b> Custos totais de manutenção rede aérea.....                             | 61 |
| <b>Tabela 18.</b> Custos totais de manutenção rede subterrânea .....                      | 62 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Desenho Esquemático Distribuição de Energia.....                                               | 14 |
| <b>Figura 2.</b> Desenho Esquemático das Redes de Distribuição de Média e Baixa Tensão. ....                    | 16 |
| <b>Figura 3.</b> Esquema de Rede de Distribuição Aérea de Energia Elétrica .....                                | 17 |
| <b>Figura 4.</b> Esquema de Rede de Distribuição Subterrânea de Energia Elétrica .....                          | 18 |
| <b>Figura 5.</b> Rede de Distribuição Subterrânea Reticulado .....                                              | 26 |
| <b>Figura 6.</b> Detalhe da Instalação dos Bancos de Dutos .....                                                | 28 |
| <b>Figura 7.</b> Detalhe da Instalação dos Bancos de Dutos .....                                                | 28 |
| <b>Figura 8.</b> Rede de Distribuição Subterrânea Reticulado .....                                              | 38 |
| <b>Figura 9.</b> Execução da Marcação para Escavação Rede de Energia Subterrânea.....                           | 46 |
| <b>Figura 10.</b> Execução Escavação para Execução da Rede de Energia Subterrânea .....                         | 46 |
| <b>Figura 11.</b> Preparação para Execução do Montagem dos Espaçadores.....                                     | 47 |
| <b>Figura 12.</b> Início da Execução da Montagem dos Espaçadores - Detalhe Posicionamento dos Espaçadores. .... | 47 |
| <b>Figura 13.</b> Início da Execução da Montagem dos Espaçadores.....                                           | 48 |
| <b>Figura 14.</b> Execução da Montagem do Banco de Dutos. ....                                                  | 48 |
| <b>Figura 15.</b> Execução Rede Elétrica de Média e Baixa Tensão. ....                                          | 49 |
| <b>Figura 16.</b> Envelopamento da Rede Elétrica Subterrânea .....                                              | 49 |
| <b>Figura 17.</b> Envelopamento da Rede Elétrica Subterrânea - Detalhe da Ponta da Tubulação com Proteção ..... | 50 |
| <b>Figura 18.</b> Execução do Reaterro e Compactação da Rede Elétrica Subterrânea.....                          | 50 |
| <b>Figura 19.</b> Aplicação das Fitas de Identificação da Rede de Energia Subterrânea .....                     | 51 |
| <b>Figura 20.</b> Instalação das caixas de passagem.....                                                        | 51 |
| <b>Figura 21.</b> Caixa de Passagem - Rede Subterrânea de Energia .....                                         | 52 |
| <b>Figura 22.</b> Passagem de Cabos Elétricos.....                                                              | 52 |
| <b>Figura 23.</b> Passagem de Cabos Elétricos.....                                                              | 53 |
| <b>Figura 24.</b> Bases dos Transformadores e Quadros de Distribuição. ....                                     | 53 |
| <b>Figura 25.</b> Passagem dos Cabos Elétricos. ....                                                            | 54 |
| <b>Figura 26.</b> Montagem dos Transformadores e o Quadro de Distribuição. ....                                 | 54 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 27.</b> Custos x Tipo de Rede.....                                   | 57 |
| <b>Figura 28.</b> Percentuais Referentes a Cada Item da Construção .....       | 58 |
| <b>Figura 29.</b> Custo por km para Implantação da Rede.....                   | 59 |
| <b>Figura 30.</b> Divisão de Custos com Manutenção Preventiva Rede Aérea.....  | 61 |
| <b>Figura 31.</b> Divisão dos Custos com Manutenção Corretiva Rede Aérea ..... | 62 |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                                           | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                                                | <b>15</b> |
| 2.1      | OBJETIVOS.....                                                                                   | 15        |
| 2.1.1    | Objetivo Geral.....                                                                              | 15        |
| 2.1.2    | Justificativa.....                                                                               | 15        |
| 2.1.3    | Caracterização do Sistema de Energia no Brasil.....                                              | 16        |
| 2.1.4    | Regulamentação e Fiscalização do Setor Energético Brasileiro.....                                | 16        |
| 2.1.5    | A Estrutura do Sistema de Distribuição de Energia.....                                           | 17        |
| 2.1.6    | Tipos de Redes de Distribuição de Energia.....                                                   | 18        |
| 2.1.7    | Vantagens e Desvantagens do Sistema de Rede de Distribuição Subterrâneo.....                     | 21        |
| 2.1.8    | Projetos de Redes de Distribuição Subterrâneas para Atendimento a Condomínios e Loteamentos..... | 22        |
| 2.1.9    | Roteiro para Elaboração de Projetos.....                                                         | 23        |
| 2.2      | LEVANTAMENTO DE CARGA E DETERMINAÇÃO DE DEMANDAS.....                                            | 23        |
| 2.3      | DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO.....                                                                    | 24        |
| 2.4      | DIMENSIONAMENTO CIVIL E ELETROMECAÂNICO.....                                                     | 24        |
| 2.5      | AUTOMAÇÃO.....                                                                                   | 24        |
| 2.6      | RELAÇÃO.....                                                                                     | 24        |
| 2.7      | APRESENTAÇÃO DO PROJETO.....                                                                     | 25        |
| 2.8      | TIPOS DE PROJETOS.....                                                                           | 25        |
| 2.9      | EXPANSÃO.....                                                                                    | 25        |
| 2.10     | REFORMA.....                                                                                     | 26        |
| 2.11     | REFORÇO.....                                                                                     | 27        |
| 2.12     | CRITÉRIOS GERAIS.....                                                                            | 28        |
| <b>3</b> | <b>REDES SUBTERRÂNEA DE ENERGIA RETICULADO.....</b>                                              | <b>30</b> |
| 3.1      | DIMENSIONAMENTO CIVIL.....                                                                       | 31        |
| 3.1.1    | Caminhamentos de Dimensionamentos de Dutos.....                                                  | 31        |
| 3.2      | LOCAÇÃO DE CÂMARAS, POÇOS E CAIXAS DE INSPEÇÃO.....                                              | 36        |
| 3.2.1    | Câmaras.....                                                                                     | 36        |
| 3.2.2    | Poços de Inspeção.....                                                                           | 36        |
| 3.2.3    | Caixas de Inspeção.....                                                                          | 37        |
| 3.3      | CRITÉRIOS PARA INSTALAÇÕES DE CÂMARAS, CAIXAS E POÇOS DE INSPEÇÃO.....                           | 37        |
| 3.4      | DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO.....                                                                    | 37        |
| 3.4.1    | Rede Secundária.....                                                                             | 37        |
| 3.4.2    | Níveis de Tensão.....                                                                            | 38        |
| 3.4.3    | Configuração Básica e Faseamento.....                                                            | 39        |
| 3.4.3.1  | Configuração Básica.....                                                                         | 39        |
| 3.4.3.2  | Faseamento.....                                                                                  | 40        |
| 3.4.4    | Condutores de B.T.....                                                                           | 40        |
| 3.4.4.1  | Tipo de Seção.....                                                                               | 40        |
| 3.4.4.2  | Dimensionamento.....                                                                             | 41        |
| 3.4.5    | Transformadores.....                                                                             | 41        |
| 3.4.6    | Equilíbrio de Carga.....                                                                         | 42        |
| 3.4.7    | Correções dos Níveis de Tensão.....                                                              | 42        |
| 3.5      | CONFIGURAÇÕES BÁSICAS, TRAJETO, IDENTIFICAÇÕES E FASEAMENTO.....                                 | 42        |
| 3.5.1    | Configurações Básica dos Sistemas.....                                                           | 42        |
| 3.5.2    | Trajetos.....                                                                                    | 43        |
| 3.5.3    | Faseamento e Identificação.....                                                                  | 44        |
| 3.6      | CONDUTORES DE MÉDIA TENSÃO.....                                                                  | 45        |
| 3.6.1    | Tipo e Seção.....                                                                                | 45        |
| 3.6.2    | Dimensionamento.....                                                                             | 45        |
| 3.6.3    | Números de Alimentadores.....                                                                    | 46        |
| 3.6.4    | Carregamento.....                                                                                | 46        |
| 3.6.5    | Proteção Contra Sobre Corrente.....                                                              | 46        |

|           |                                                                                    |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6.6     | <i>Rede Reticulado</i> .....                                                       | 46        |
| 3.6.7     | <i>Proteção Contra Sobre Tensão</i> .....                                          | 46        |
| <b>4</b>  | <b>METODOLOGIA</b> .....                                                           | <b>46</b> |
| <b>5</b>  | <b>EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL</b> .....                                             | <b>48</b> |
| 5.1       | MOTIVAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO .....                                                   | 48        |
| 5.2       | FINANCIAMENTO .....                                                                | 48        |
| 5.3       | PRINCIPAIS LIÇÕES APRENDIDAS .....                                                 | 49        |
| <b>6</b>  | <b>BENEFÍCIOS DAS REDES SUBTERRÂNEA PARA SETORES E SOCIEDADE</b> .....             | <b>50</b> |
| 6.1       | BENEFÍCIOS PARA AS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA .....                        | 50        |
| <b>7</b>  | <b>INSTALAÇÃO DE REDE SUBTERRÂNEA EM CONDOMÍNIO FECHADO</b> .....                  | <b>52</b> |
| 7.1       | APRESENTAÇÃO DA OBRA .....                                                         | 52        |
| 7.1.1     | <i>Processo de Execução de Infraestrutura para Rede Elétrica Subterrânea</i> ..... | 52        |
| 7.1.2     | <i>Execução de Infraestrutura para Rede Elétrica Subterrânea</i> .....             | 53        |
| <b>8</b>  | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                                | <b>62</b> |
| 8.1       | CUSTOS .....                                                                       | 62        |
| 8.1.1     | <i>Exposição do Assunto</i> .....                                                  | 62        |
| 8.1.2     | <i>Estudo de Caso</i> .....                                                        | 63        |
| <b>9</b>  | <b>CONCLUSÕES</b> .....                                                            | <b>71</b> |
| <b>10</b> | <b>REFERENCIAS</b> .....                                                           | <b>73</b> |

## INTRODUÇÃO

Devido à crescente demanda das empresas de construção nos últimos anos, impulsionando a expansão urbana nos centros urbanos, e à necessidade de fornecer soluções tecnológicas que agreguem valor aos produtos disponibilizados, as empresas do setor têm optado pela implementação de Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS). Este tipo de infraestrutura energética oferece não apenas um desenvolvimento urbano mais estético, mas também uma solução eficiente quando comparada às Redes de Distribuição Aéreas (RDA), que são menos protegidas e requerem mais manutenção devido a fatores ambientais como o crescimento de vegetação e intempéries. As redes aéreas, ao longo de sua vida útil, tendem a apresentar uma maior incidência de falhas, o que reflete diretamente nos custos de manutenção e reparo.

Com o aumento da demanda por empreendimentos de médio e alto padrão, especialmente condomínios fechados, cresce também a expectativa dos clientes por soluções mais sofisticadas e visualmente agradáveis. Neste cenário, as Redes de Distribuição Subterrâneas tornaram-se uma escolha cada vez mais popular, principalmente devido à sua integração com o paisagismo urbano e menor impacto visual. Entretanto, essa escolha exige um planejamento cuidadoso, sobretudo no que se refere ao levantamento dos custos reais envolvidos em sua implementação.

O objetivo principal deste estudo é apresentar a metodologia de implementação do sistema de redes de distribuição de energia em um condomínio fechado, com foco na análise dos aspectos técnicos, vantagens, e desafios dessa solução. No entanto, é crucial ressaltar que um dos principais diferenciais desta pesquisa é o levantamento detalhado dos custos reais associados à construção de uma Rede de Distribuição Subterrânea (RDS) para um condomínio fechado. Este levantamento visa proporcionar uma visão clara e objetiva sobre os investimentos necessários, levando em consideração os materiais, mão de obra, escavação, instalação, e eventuais custos de manutenção.

Diferente de análises teóricas generalizadas, que muitas vezes utilizam estimativas baseadas em dados aproximados ou projeções de mercado, este estudo busca apresentar dados reais obtidos diretamente das etapas práticas da construção. O levantamento de custos foi feito com base em orçamentos reais de fornecedores, incluindo a aquisição de materiais como cabos subterrâneos, transformadores, invólucros de proteção, além de serviços especializados como escavação e instalação. Esse enfoque prático é essencial para que construtoras e

investidores possam tomar decisões embasadas, entendendo com precisão o montante necessário para a implementação desse tipo de infraestrutura.

Para a obtenção dos dados de custo, foi realizada uma pesquisa de campo em um condomínio fechado, que estava em fase de implementação de sua rede subterrânea. Foram consultados diversos fornecedores de materiais e serviços, desde grandes distribuidores de componentes elétricos até empresas locais especializadas em instalação de infraestrutura subterrânea. Além disso, foram levadas em consideração as particularidades do terreno onde o condomínio está localizado, visto que características como o tipo de solo e a topografia podem influenciar diretamente nos custos.

A metodologia de levantamento de custos aplicada neste estudo tem como objetivo fornecer uma base sólida para as construtoras e investidores que consideram a implementação de uma rede subterrânea. Com os dados reais obtidos, é possível planejar de forma precisa o orçamento e o cronograma de obras, evitando surpresas durante a execução do projeto. Além disso, o levantamento ajuda a identificar pontos críticos que podem impactar os custos, permitindo ajustes no planejamento antes do início das obras.

Por fim, o estudo não se limita a apresentar os custos, mas também oferece uma análise comparativa com outros tipos de redes de distribuição, como as redes aéreas e compactas, destacando as vantagens e desvantagens de cada solução. Esse enfoque proporciona uma visão holística do processo de escolha e implementação de uma infraestrutura energética em um condomínio fechado, levando em consideração não apenas os custos imediatos, mas também os benefícios a longo prazo para a construtora e os moradores.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Objetivos

#### 1.1.1 Objetivo Geral

O propósito deste trabalho é conduzir uma pesquisa sobre a metodologia de implantação de redes de distribuição subterrânea (RDS) dentro da área sob concessão da CEMIG. Isso inclui a apresentação das características, vantagens e desvantagens desse sistema. Além disso, busca-se realizar o acompanhamento da aplicação da metodologia RDS em uma obra de condomínio fechado.

#### Objetivos Específicos

Os objetivos deste estudo compreendem:

- Conduzir uma pesquisa sobre a metodologia de execução das redes de distribuição de energia elétrica sob a concessão da CEMIG.
- Comparar as características da Rede de Distribuição Subterrânea (RDS) com a Rede de Distribuição Aérea (RDA).
- Acompanhar a aplicação da metodologia de execução de Rede de Distribuição Subterrânea (RDS) em uma obra de condomínio fechado.

#### 1.1.2 Justificativa

A importância deste trabalho decorre do fato de que a distribuição de energia para o consumidor final é um dos principais desafios sociais e econômicos no Brasil. Isso se deve a diversos fatores, incluindo o elevado custo de manutenção, influências ambientais, danos provocados por ligações clandestinas, impactos da natureza, entre outros.

Assim, as redes de distribuição de energia subterrânea surgem como uma alternativa viável, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas, podendo proporcionar melhorias significativas na qualidade e eficiência do fornecimento de energia ao consumidor final.

### 1.1.3 Caracterização do Sistema de Energia no Brasil

A Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) é uma entidade civil de direito privado, sem fins lucrativos, dedicada ao desenvolvimento do setor de distribuição de energia elétrica no Brasil. Esta associação congrega 47 concessionárias de distribuição de energia elétrica, tanto estatais quanto privadas, que operam em todas as regiões do país. Juntas, essas concessionárias são responsáveis pelo atendimento de 99,6% dos consumidores brasileiros (<http://www.abradee.com.br>).

Segundo a ABRADEE, sistema de energia no Brasil é caracterizado por estar integrado à própria topografia das cidades, conectando-se fisicamente ao sistema de transmissão. Este sistema se ramifica por toda a extensão das ruas e avenidas, alcançando os consumidores finais de energia elétrica.

Ainda de acordo com a ABRADEE, as distribuidoras de energia são encarregadas de conectar, atender e fornecer energia elétrica ao consumidor dentro de um ambiente regulado e de responsabilidade de uma concessionária específica. A distribuição dessa energia ocorre basicamente de duas maneiras possíveis: através de redes aéreas, que são suportadas por postes, ou através de redes subterrânea, que utilizam uma rede de dutos subterrâneos para distribuir fios e cabos.

No Brasil, entre as empresas associadas à ABRADEE, a distribuição de energia elétrica é dividida, com aproximadamente 60% de responsabilidade atribuída ao setor privado e cerca de 40% de responsabilidade incumbida às empresas públicas.

### 1.1.4 Regulamentação e Fiscalização do Setor Energético Brasileiro

A regulação e fiscalização do setor energético brasileiro são atribuições da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, uma autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Criada para regulamentar o setor elétrico brasileiro, a ANEEL baseia-se na lei nº 9.427/1996 e no Decreto nº 2.335/1997. Suas principais atribuições incluem:

- Promover leilões para contratação de novos empreendimentos de geração de energia elétrica.
- Regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

- Estabelecer tarifas e condições de prestação de serviços, visando o equilíbrio econômico-financeiro das concessionárias.
- Promover ações para garantir a qualidade e a continuidade dos serviços de energia elétrica.
- Estimular a eficiência e a competitividade no setor elétrico, promovendo a concorrência e a livre escolha dos consumidores.
- Zelar pela segurança e pela adequada prestação de serviços de energia elétrica em todo o território nacional.

O Operado Nacional do Sistema (ONS) é uma entidade adicional que opera sob a fiscalização e regulamentação da ANEEL. Sua função primordial é coordenar e supervisionar as operações das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN).

#### 1.1.5 A Estrutura do Sistema de Distribuição de Energia

De acordo com informações fornecidas pela ABRADÉE, as redes de distribuição no Brasil são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão. Algumas empresas transmissoras também possuem linhas com tensões abaixo de 230 kV, conhecidas como Demais Instalações de Transmissão (DIT). As empresas distribuidoras são responsáveis por uma parte significativa das linhas de transmissão com tensão entre 60 kV e 138 Kv, também chamadas de linhas de subtransmissão ou redes primárias e secundárias.

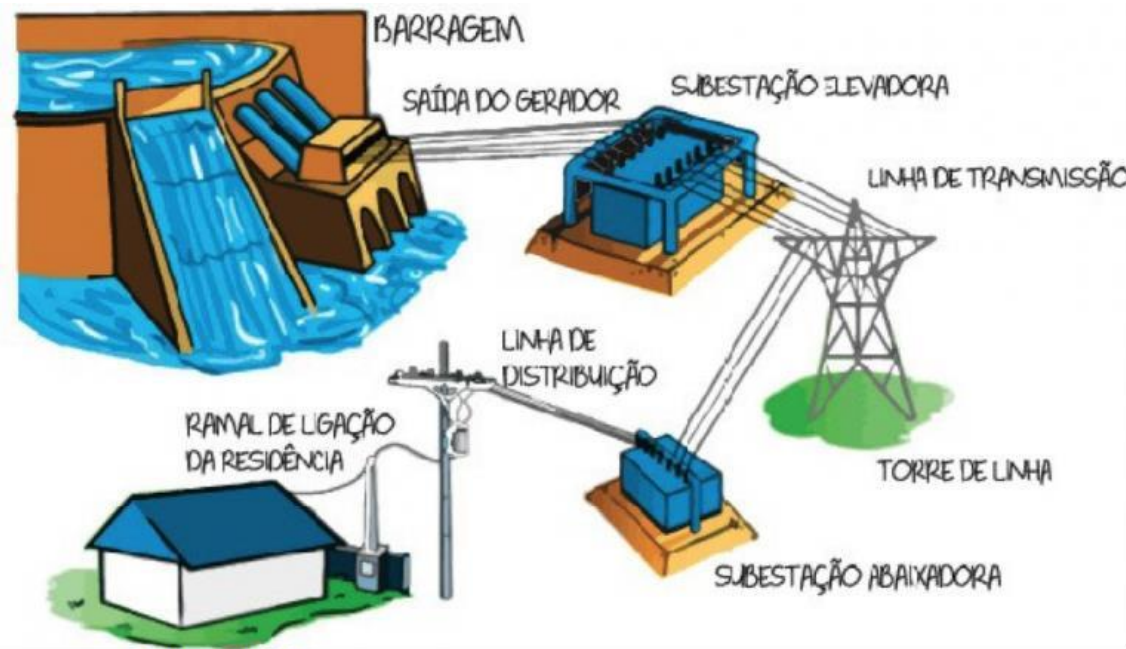
As linhas de média tensão elétrica são facilmente identificadas nas ruas e avenidas das grandes cidades, geralmente compostas por três fios condutores aéreos e sustentadas por cruzetas de madeira fixadas em postes de concreto. Essas linhas possuem uma tensão média entre 2,3 kV e 44 kV. (fonte: <http://www.abradee.com.br>).

De acordo com a ABRADÉE, as redes de baixa tensão também são instaladas nos mesmos postes de redes de média tensão, porém em alturas inferiores. Sua tensão pode variar entre 127V e 440v, e essas redes são responsáveis por fornecer energia elétrica a pequenos comércios e residências por meio de ramais de ligação.

Para consumidores de médio porte, como indústrias, comércios e supermercados, a energia é fornecida diretamente das redes de média tensão. A transformação para níveis menores de tensão é realizada internamente e fica sob a responsabilidade desses mesmos consumidores.

A Figura 1 ilustra um diagrama que representa a distribuição de energia elétrica desde o momento de sua geração até chegar ao consumidor final:

*Figura 1: Desenho Esquemático Distribuição de Energia*



Fonte: <https://www.universidadetrisul.com.br/etapas-construtivas/como-e-feita-a-distribuicao-de-energia-eletrica-no-brasil>

#### 1.1.6 Tipos de Redes de Distribuição de Energia

Conforme Velasco (2003), existem numerosos tipos de redes de distribuição de energia elétrica, sendo que, na maioria das vezes, essas redes são configuradas em circuitos mistos. Isso resulta em diversas combinações entre redes de baixa e média tensão. Essa variação é principalmente atribuída às necessidades locais ou às políticas das concessionárias de energia elétrica.

De modo geral, as redes de distribuição de energia elétrica podem ser classificadas como aéreas ou subterrâneas, sendo que as aéreas são as mais utilizadas. Isso ocorre principalmente por razões econômicas, visto que a instalação e manutenção das redes aéreas tendem a ser mais acessíveis em comparação com as subterrâneas.

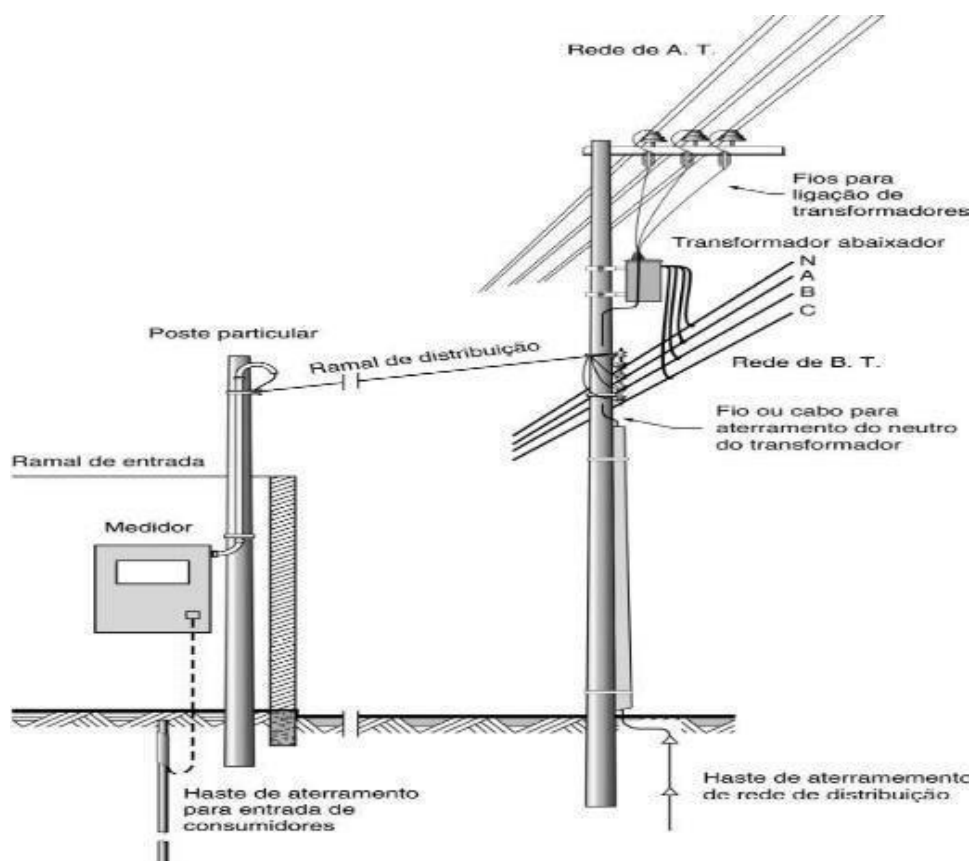
Conforme Sardeto (1999), as redes de distribuição aérea, também conhecidas como redes convencionais, são caracterizadas pelo uso de condutores nus apoiados em isoladores, que podem ser de porcelana ou vidro. Nos circuitos de média tensão, os condutores são

fixados horizontalmente sobre cruzetas de madeira, enquanto nos circuitos de baixa tensão, a fixação é feita verticalmente.

O autor destaca que esse tipo de rede de distribuição é desprotegido contra as intempéries causadas pela influência do meio ambiente. Além disso, ressalta-se que esses sistemas apresentam altas taxas de falhas, exigindo manutenções preventivas, como podas de árvores. O simples contato de galhos de árvores com os condutores nus pode resultar em desligamentos parciais da rede de distribuição.

A figura abaixo ilustra a configuração física das redes de distribuição de média e baixa tensão aérea:

*Figura 2: Desenho Esquemático das Redes de Distribuição de Média e Baixa Tensão*



Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Desenho-da-rede-de-alta-tensao-ate-o-medidor-de-consumo-Fonte-Creder-2016\\_fig1\\_367013799](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Desenho-da-rede-de-alta-tensao-ate-o-medidor-de-consumo-Fonte-Creder-2016_fig1_367013799)

Conforme (Sardeto, 1999), diversos prejuízos são ocasionados pela ocorrência de interrupções devido a contatos acidentais da arborização e também por objetos com os condutores nus, destacando-se:

- Constantes ocorrências de curto-circuito, resultando na queima de transformadores.
- Mau contato nas conexões, levando oscilações de tensão na rede.

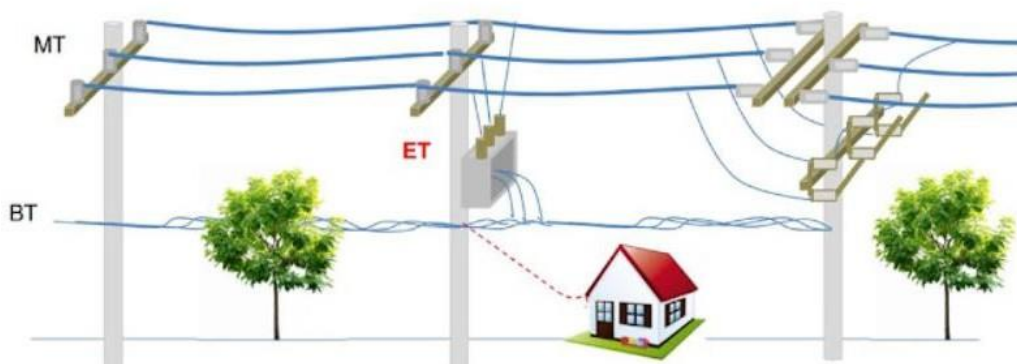
- Queima de equipamentos industriais e domésticos.
- Perda de faturamento e prejuízos para indústrias e comércios.
- Interrupção no fornecimento de serviços públicos devido aos transtornos causados em estabelecimentos da rede pública, como hospitais e escolas.
- Aumento significativo de gastos devido à necessidade de manutenção na rede para podas corretivas ou emergenciais.

Segundo a NBR 5410, as redes subterrâneas são definidas como sistemas localizados abaixo do nível do solo, ou seja, são “linhas enterradas”.

A rede de distribuição subterrânea é caracterizada por sua complexidade, que se manifesta desde a sua concepção até a sua manutenção. Sua utilização varia de acordo com a região e é mais indicada devido à sua contribuição para a arborização urbana.

As imagens abaixo oferecem uma representação clara de como operam os dois tipos de rede de distribuição de energia: aérea convencional e subterrânea.

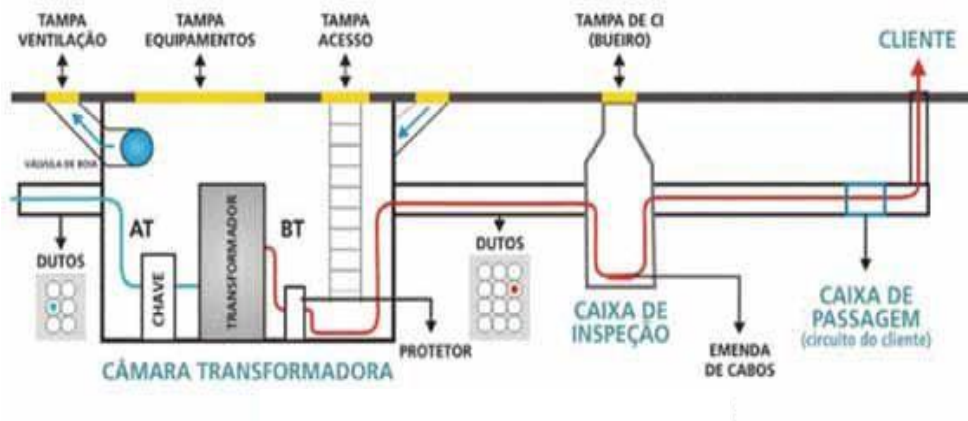
*Figura 3: Esquema de Rede de Distribuição Aérea de Energia Elétrica*



*Fonte: <https://ensinandoeletrica.blogspot.com/2021/05/saiba-como-e-constituída-rede-eletrica.html> (adaptado pelo autor)*

Na Figura 3, é apresentado o esquema da rede de distribuição de energia aérea, no qual é possível identificar os condutores nus, os isoladores, as cruzetas e os postes. Os circuitos de média tensão são identificados como (MT) na horizontal, enquanto os de baixa tensão (BT) são representados na vertical, e o consumidor final (CF) também mostrado na vertical.

Figura 4: Esquema de Rede de Distribuição Subterrânea de Energia Elétrica



Fonte: [https://www.osetoreletrico.com.br/wp-](https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed85_fasciculo_redes_subterraneas_cap2.pdf)

[content/uploads/2013/03/Ed85\\_fasciculo\\_redes\\_subterraneas\\_cap2.pdf](https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed85_fasciculo_redes_subterraneas_cap2.pdf)

A Figura 4, é apresentado o esquema da rede de distribuição subterrânea, onde é possível identificar os dutos pelos quais os condutores passam, bem como as caixas de visita para emenda e conexão. Além disso, é perceptível a diferença em relação à limpeza da imagem em comparação com a rede de distribuição aérea.

#### 1.1.7 Vantagens e Desvantagens do Sistema de Rede de Distribuição Subterrâneo

De acordo com (Boccuzzi et al. 1997), as redes de distribuição subterrânea apresentam diversos benefícios, tais como:

- **Estética Urbana:** A instalação subterrânea contribui para a melhoria da estética urbana, eliminando a presença de postes e fios aparentes.
- **Menos Suscetibilidade a Intempéries:** As redes subterrâneas estão menos sujeitas a danos causados por intempéries, como ventos fortes, tempestades e descargas atmosféricas.
- **Redução de Interrupções no Fornecimento de Energia:** A proteção contra elementos externos resulta em uma redução significativa nas interrupções no fornecimento de energia elétrica.
- **Menor Interferência na Arborização Urbana:** A ausência de postes e fios aéreos contribui para a preservação da arborização urbana, minimizando a necessidade de podas.

- **Menor Risco de Acidentes:** A instalação subterrânea reduz o risco de acidentes relacionados à infraestrutura elétrica, como choques elétricos e incêndios causados por curto-circuito.

As desvantagens do uso da rede de distribuição subterrânea se dão principalmente pela questão dos custos de execução, que podem chegar, em alguns casos, a até 10 vezes mais do que o custo da rede de distribuição aérea convencional, conforme demonstrado na tabela abaixo, de um estudo realizado pela LMDM Consultoria Empresarial.

*Tabela 1: Comparativo de Custos de Atendimento*

| Rede Subterrânea           |                       | Rede Aérea Convencional |                      |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| Cabos                      | R\$ 60.600,00         | Cabos                   | R\$ 3.100,00         |
| Transformador              | R\$ 26.700,00         | Transformador           | R\$ 12.200,00        |
| Chaves a gás               | R\$ 38.000,00         | Postes                  | R\$ 3.100,00         |
| Acessórios (emendas, etc.) | R\$ 3.300,00          | Estruturas, Acessórios  | R\$ 2.000,00         |
| Construção Civil           | R\$ 69.800,00         |                         |                      |
| <b>Total</b>               | <b>R\$ 197.800,00</b> | <b>Total</b>            | <b>R\$ 20.400,00</b> |

*Fonte: <http://www.lmdm.com.br> (Adaptado pelo Autor)*

#### 1.1.8 Projetos de Redes de Distribuição Subterrâneas para Atendimento a Condomínios e Loteamentos

Nas cidades de Minas Gerais, a execução das redes de distribuição de energia subterrânea em condomínios e loteamentos requer que o projeto atenda aos requisitos técnicos estabelecidos pela concessionária CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. Esses requisitos são descritos no manual de distribuição N.D 2.3 – Instalação Básica de Redes de Distribuição Subterrânea e N.D 3.3 – Projetos de Redes de Distribuição Subterrânea para Atendimento a Condomínios e Loteamentos. Esses manuais estabelecem todos os requisitos técnicos obrigatórios para realização do projeto desse tipo de rede.

Outra norma técnica da CEMIG a ser seguida à N.D 5.5 – Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária – Rede de Distribuição Subterrânea tem como objetivo estabelecer diretrizes técnicas para o fornecimento de energia elétrica em tensão secundária para unidades consumidoras individuais e unidades consumidoras situadas em edificações de

uso coletivo ou agrupadas. Ela também define os requisitos mínimos para as entradas de serviços dessas edificações a partir das redes de distribuição subterrânea da CEMIG.

#### 1.1.9 Roteiro para Elaboração de Projetos

A norma técnica N.D 3.3 (2014) estabelece uma série de passos a serem seguidos para a elaboração do projeto de redes de distribuição subterrânea, conforme descrito abaixo:

- **Levantamento Topográfico:** Realizar um levantamento topográfico detalhado da área onde será implantada a rede de distribuição subterrânea.
- **Estudo de Carga:** Realizar um estudo de carga para determinar a demanda de energia elétrica da região a ser atendida pela rede subterrânea.
- **Definição de Equipamentos:** Selecionar os equipamentos necessários para a implantação da rede, como transformadores, cabos, disjuntores, entre outros.
- **Dimensionamento dos Condutores:** Dimensionar os condutores elétricos de acordo com a carga prevista e as distâncias a serem percorridas.
- **Elaboração do Projeto:** Desenvolver o projeto detalhado da rede de distribuição subterrânea, incluindo a localização dos elementos, como caixas de inspeção, dutos, pontos de conexão entre outros.
- **Análise de Viabilidade:** Realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica do projeto, considerando custos de implantação, manutenção e operação.
- **Aprovação pelo Órgãos Competentes:** Submeter o projeto aos órgãos competentes para aprovação, como a concessionária de energia elétrica e os órgãos reguladores.
- **Implantação e Monitoramento:** Após a aprovação, proceder com a implantação da rede conforme projeto elaborado, e realizar monitoramento do seu funcionamento para garantir a sua eficiência e segurança.

### 1.2 **Levantamento de Carga e Determinação de Demandas**

De acordo com a norma técnica N.D 3.3 (2014), esta etapa compreende o levantamento da carga a ser atendida e a definição da demanda total. Essa definição deve ser realizada considerando os critérios apresentados no item 4.1 da norma.

### **1.3 Dimensionamento Elétrico**

Conforme a N.D 3.3 (2014), o dimensionamento elétrico está relacionado à determinação da configuração do circuito, do carregamento e da seção transversal dos condutores, tanto da rede primária quanto da rede secundária. Isso inclui também a definição da localização e dimensionamento de transformadores, bem como a escolha da forma de proteção contra sobre corrente e sobre tensão.

### **1.4 Dimensionamento Civil e Eletromecânico**

Conforme estabelecido na N.D 3.3, o dimensionamento dos dutos, poços, valas, câmeras e caixas de inspeção deve ser realizado de acordo com a área a ser atendida. Isso é essencial para evitar futuros ajustes, os quais podem acarretar em custos elevados e grandes transtornos durante a execução do projeto. Portanto, o correto dimensionamento desde o início é fundamental para garantir a eficiência e a durabilidade da rede de distribuição subterrânea.

### **1.5 Automação**

Conforme estabelecido na N.D 3.3 (2014), o projeto deve ser encaminhado para a gerência de operação, a fim de que esta defina o tipo de automação da rede a ser adotado, seguindo os requisitos técnicos estabelecidos. Essa etapa é crucial para garantir que a automação da rede seja adequada às necessidades operacionais e técnicas, visando a eficiência e a segurança de distribuição subterrânea de energia elétrica.

### **1.6 Relação**

Conforme especificado na N.D 3.3 (2014), esta etapa consiste no levantamento do material necessário para a elaboração do orçamento e, posteriormente, para a construção da rede de distribuição subterrânea de energia elétrica. Este processo é fundamental para garantir que todos os materiais necessários estejam disponíveis durante a fase de construção, evitando atrasos e garantindo a eficiência do projeto.

## **1.7 Apresentação do Projeto**

Conforme estabelecido na N.D 3.3 (2014), esta etapa refere-se à apresentação do projeto e das demais informações pertinentes, tais como formulários, cálculos, levantamentos, conjuntos de desenhos, entre outros. Essas informações são indispensáveis para que os requisitos legais sejam atendidos. Além disso, devem ser considerados procedimentos para a execução de sinalização de redes e projetos transversais, garantindo que estejam em conformidade com suas respectivas normas. Essa etapa é crucial para assegurar a qualidade e a conformidade do projeto de redes de distribuição subterrânea de energia elétrica.

## **1.8 Tipos de Projetos**

Dentro da norma N.D 3.3, a CEMIG estabelece os tipos de projetos de redes subterrâneas conforme descrito abaixo:

- **Projeto Básico (PB):** Este tipo de projeto define os aspectos fundamentais da rede subterrânea, como localização dos condutores, câmeras, caixas de inspeção e demais elementos essenciais. É o ponto de partida para o desenvolvimento do projeto detalhado.
- **Projeto Executivo (PE):** O projeto executivo é uma versão mais detalhada do projeto básico incluindo informações mais precisas sobre os materiais a serem utilizados, especificações técnicas, cálculos de dimensionamento, detalhamento de instalações elétricas, entre outros aspectos.
- **Projeto As Built (PAB):** Após a conclusão da instalação da rede subterrânea, é elaborado o projeto as built, que documenta as modificações realizadas durante a execução, refletindo fielmente como a rede foi realmente construída. Este projeto é essencial para manter um registro preciso das instalações realizadas.

## **1.9 Expansão**

No projeto de expansão, voltado para atender novos consumidores urbanos, as obras apresentam as seguintes características:

- **Extensão de Redes:** Envolve o prolongamento de uma rede já existente, visando alcançar novas áreas ou consumidores. Esse tipo de obra é realizado quando há necessidade de expandir a cobertura da rede elétrica para atender a demanda crescente em determinadas regiões urbanas.
- **Modificação:** Refere-se à necessidade de realizar alterações na rede elétrica existente, que não envolvem seu prolongamento. Essas modificações podem ser necessárias para melhorar a eficiência da rede, corrigir problemas de funcionamento, atender a novos requisitos técnicos ou operacionais, entre outros aspectos.

Essas características definem as diferentes abordagens adotadas no projeto de expansão para atender às demandas de novos consumidores urbanos, seja por meio da extensão das redes existentes ou por meio de modificações nas instalações elétricas já existentes.

### **1.10 Reforma**

De acordo com a Norma N.D 3.3 (2014), são considerados projetos de reforma aqueles destinados a obras com as seguintes características:

- **Questões de segurança:** Projetos voltados para melhoria que visam garantir a segurança das instalações elétricas, prevenindo acidentes e protegendo os usuários e trabalhadores.
- **Melhora dos Indicadores de Desempenho:** Obras com o objetivo de aprimorar os indicadores de desempenho da rede elétrica, buscando aumentar sua eficiência e confiabilidade no fornecimento de energia.
- **Maior Flexibilidade Operacional:** Intervenções que visam proporcionar uma operação mais flexível da rede elétrica, permitindo adaptações mais ágeis e eficazes às demandas do sistema.
- **Redução de Interrupções no Fornecimento:** Projetos destinados a reduzir as interrupções no fornecimento de energia, seja por meio de melhorias na infraestrutura ou na implementação de tecnologias mais robustas.
- **Troca de Condutores:** Obras que envolvem a substituição de condutores elétricos, visando modernizar a rede e garantir sua eficiência e segurança.
- **Recuperação Física da Rede:** Intervenções cujo o objetivo é restaurar fisicamente a rede elétrica, reparando danos, substituindo componentes desgastados e garantindo sua funcionalidade e durabilidade ao longo do tempo.

### 1.11 Reforço

Conforme especificado na Norma N.D 3.3 (2014), os projetos de reforço estão relacionados a obras que envolvem:

- Alterações em Subestações ou Alta Tensão: Intervenções destinadas a realizar modificações nas subestações ou em equipamentos de alta tensão, visando melhorar sua eficiência, capacidade ou funcionalidade.
- Regulação do Carregamento ou dos Níveis de Tensão: Obras voltadas para ajustar o carregamento da rede elétrica ou os níveis de tensão, garantindo um fornecimento estável e adequado de energia elétrica aos consumidores.
- Troca de Transformadores de Distribuição em Sobrecarga: Intervenções que envolvem a substituição de transformadores de distribuição que estão operando em sobrecarga, visando garantir a segurança e a eficiência do sistema elétrico.
- Atendimento da Demanda de Mercado: Projetos destinados a atender a demanda crescente do mercado por energia elétrica, por meio da implementação de melhorias na infraestrutura de distribuição ou na capacidade de fornecimento.

#### 1 Tipos de Redes Subterrâneas e Critérios de Aplicação Conforme a N.D 3.3 (2014)

Conforme estabelecido na Norma N.D 3.3 (2014), a CEMIG define os tipos de rede de distribuição subterrânea da seguinte forma:

- Mergulhada: Uma rede em que condutores estão completamente imersos no solo, proporcionando proteção adicional contra interferências externas e maior segurança.
- Anel Aberto: Uma configuração que se fecha, oferecendo redundância e maior confiabilidade no fornecimento de energia.
- Radial com Recurso: Uma rede que se estende radialmente a partir de um ponto central, mas que também inclui conexões de “recursos” para garantir o fornecimento de energia em caso de falha em um trecho da rede.
- Dupla Alimentação: Uma rede que fornece energia aos consumidores a partir de duas fontes independentes, oferecendo redundância e segurança adicional contra interrupções no fornecimento.
- Reticulado: Uma configuração de rede em que os condutores estão dispostos em uma malha ou padrão reticular, oferecendo flexibilidade e redundância no fornecimento de energia.

Esses tipos de rede de distribuição subterrânea são definidos pela CEMIG para atender às diferentes necessidades e condições de operação em sua área de concessão.

### **1.12 Critérios Gerais**

De acordo com a Norma N.D 3.3 de 2014, são estabelecidos os seguintes critérios gerais para as Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS):

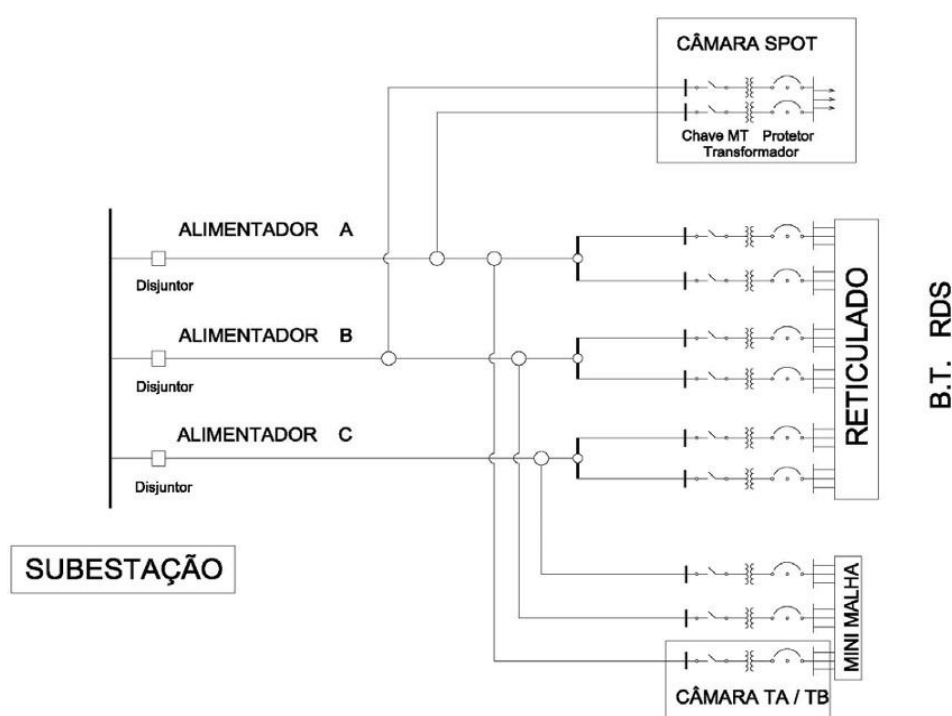
- ✓ Se houver rede aérea na área da obra, esta deve ser removida completamente, incluindo as redes de outras concessionárias que estejam instaladas nos postes da CEMIG;
- ✓ O consumidor deve instalar uma caixa de inspeção no passeio público, com um espaçamento máximo de 20cm da divisa de sua propriedade, para permitir a conexão do ramal de ligação ao ramal de entrada;
- ✓ Para a instalação do ramal de ligação, deve ser utilizado um duto de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) de 125mm. A distância máxima entre a caixa de inspeção da rede e a caixa de inspeção da divisa da propriedade não deve exceder 30 metros;
- ✓ Deve ser instalado um barramento de derivação Tipo 2, com cinco polos, por fase/neutro, nas caixas de inspeção da rede, e os ramais de ligação devem ser conectados a este barramento. Uma folga adequada deve ser deixada nos cabos para permitir o puxamento ou remoção dos barramentos para fora das caixas de inspeção;
- ✓ Para atender ao sistema de baixa tensão, será necessário utilizar o conector de perfuração na rede subterrânea para conectar o ramal de ligação ao ramal de entrada.
- ✓ É crucial seguir os raios de curvatura mínimos aceitáveis nas instalações de cabos para garantir a integridade dos mesmos;
- ✓ Ao executar o traçado do circuito secundário, é recomendado dar preferência às calçadas ou passeios;
- ✓ Deve-se garantir a proteção das fases dos circuitos de baixa tensão derivados dos barramentos de derivação ou barramentos isolados, utilizando fusíveis limitadores. No entanto, essa proteção não é necessária para circuitos conectados aos barramentos isolados nas caixas de inspeção de rede subterrânea do tipo reticulado;
- ✓ O neutro e as fases de um mesmo circuito devem ser conectados ao mesmo polo dos seus barramentos respectivos;

- ✓ Os circuitos de baixa tensão devem ser trifásicos, compostos por cabos de alumínio com 4 fios (três fases e um neutro), radiais, com o neutro da mesma seção das fases.
- ✓ As tensões nominais padronizadas devem ser consideradas, assim como as correntes máximas aceitáveis dos cabos conforme indicado.
- ✓ A seleção dos cabos de baixa e média tensão deve ser baseada na carga estima para os próximos 10 anos, levando em conta os limites de queda de tensão nos pontos de entrega de energia;
- ✓ Cada circuito, tanto de baixa quanto de média tensão, deve ser instalado em um duto exclusivo;
- ✓ Ao definir os comprimentos dos cabos, é necessário considerar um acréscimo no comprimento dos condutores;
- ✓ O traçado dos circuitos primários deve ser realizado na pista de rolamento o mais próximo possível do meio-fio;
- ✓ Os bancos de dutos devem contar com no mínimo um duto reserva. Além disso, nos bancos de dutos onde está prevista a instalação de circuitos de média tensão, é necessário reservar um duto para a automação;

## Redes Subterrânea de Energia Reticulado

Conforme descrito na Norma N.D 3.3 de 2014, o sistema reticulado, também conhecido como network, é constituído por uma malha de cabos de baixa tensão. Esses cabos são provenientes de diversos transformadores conectados a múltiplos alimentadores primários, os quais são dispostos paralelamente através da interconexão dos cabos de baixa tensão. Essa configuração permite que a interrupção no fornecimento de energia não seja causada pela falha de um único alimentador ou transformador, conforme ilustrado na figura 5.

Figura 5: Rede de Distribuição Subterrânea Reticulado



De acordo com a Norma N.D 3.3 de 2014, na rede subterrânea reticulada, a média tensão radial é distribuída a partir da subestação. O alimentador se ramifica até os Poços de Inspeção para atender às chaves de média tensão instaladas na Câmaras Transformadoras. Os circuitos de baixa tensão dos transformadores retornam aos Poços de Inspeção e são interligados pelos Barramentos Isolados. Essa configuração permite uma distribuição eficiente e confiável de energia na rede subterrânea reticulada.

No lado de baixa tensão do transformador, é necessário acoplar o Protetor de Reticulado, conforme estabelecido na norma. Esse dispositivo desempenha um papel crucial

na proteção do sistema, garantindo a segurança e a confiabilidade da rede subterrânea reticulada.

### 1.13 Dimensionamento Civil

Conforme estipulado na Norma N.D 3.3, são definidos os parâmetros para o dimensionamento civil na execução das redes de distribuição subterrânea de energia. É crucial seguir esses critérios para garantir que a obra esteja em conformidade com os requisitos estabelecidos pela CEMIG. Esses parâmetros abrangem uma série de aspectos, como a profundidade dos dutos, a largura das valas, o espaçamento entre as caixas de inspeção, entre outros detalhes fundamentais para a adequada instalação e funcionamento da rede subterrânea de energia.

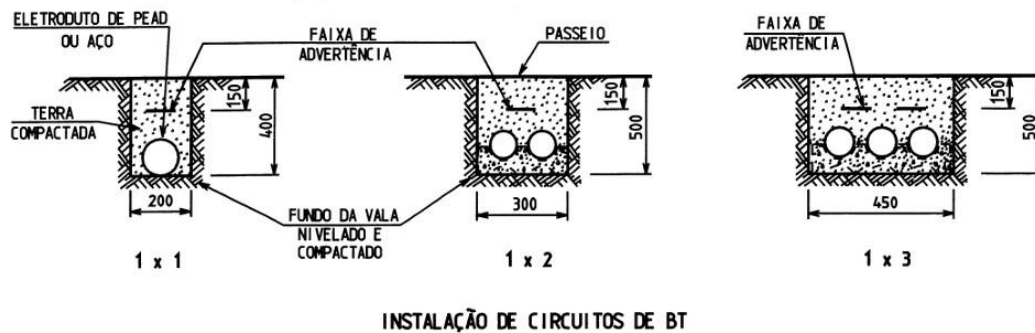
#### 1.13.1 Caminhamentos de Dimensionamentos de Dutos

Conforme estabelecido na Norma N.D 3.3, os requisitos a seguir devem ser seguidos:

- **Profundidade dos Dutos:** A profundidade dos dutos deve estar de acordo com as especificações definidas na norma, garantindo a proteção adequada dos cabos e equipamentos;
- **Largura das Valas:** As valas devem ter uma largura adequada para acomodar os dutos e permitir a instalação e manutenção adequadas da rede subterrânea de energia;
- **Espaçamento Entre as Caixas de Inspeção:** O espaçamento entre as caixas de inspeção deve ser definido de acordo com as diretrizes da norma, garantindo fácil acesso e inspeção das conexões e equipamentos.
- **Materiais Utilizados:** Os materiais utilizados na construção das redes subterrâneas devem atender aos padrões de qualidade e durabilidade estabelecidos na norma, garantindo a segurança e eficiência da infraestrutura.
- **Proteção Contra Intempéries:** Medidas adequadas de proteção contra intempéries devem ser implementadas para garantir a resistência da rede subterrânea condições ambientais diversas.
- **Acessibilidade:** Deve-se garantir a acessibilidade adequada às instalações subterrâneas para facilitar a manutenção e reparo em caso de necessidade.

Conforme especificado na Norma N.D 3.3, a instalação dos bancos de dutos dos cabos de baixa tensão deve ser realizada no passeio, em ambos os lados da rua, seguindo uma profundidade mínima conforme indicado na figura 6. Essa disposição visa garantir a proteção adequada dos cabos e facilitar o acesso para manutenção e reparos quando necessário. Assim, ao seguir essas diretrizes, é possível assegurar a eficiência e a segurança da instalação da rede subterrânea de energia elétrica.

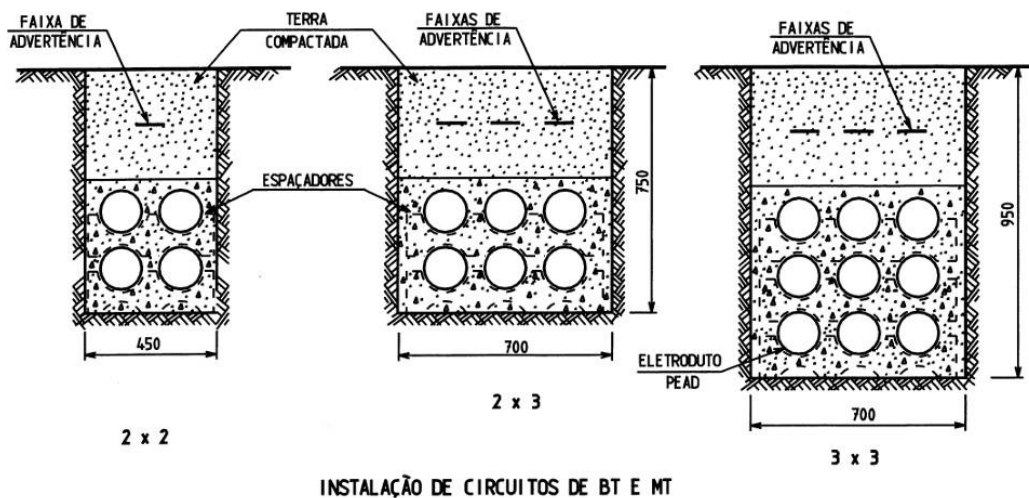
*Figura 6: Detalhe da Instalação dos Bancos de Dutos*



*Fonte: N.D 2.3 Instalações Básicas de Rede de Distribuição Subterrânea*

Conforme estabelecido na Norma, os dutos dos circuitos de média tensão devem ser instalados na pista de rolamento, próxima ao meio-fio, seguindo uma profundidade mínima conforme indicado na figura 7. Essa disposição visa garantir a proteção adequada dos cabos de média tensão e minimizar interferências externas que possam comprometer o funcionamento de sistema.

*Figura 7: Detalhe da Instalação dos Bancos de Dutos*



*Fonte: Instalações Básicas de Rede de Distribuição (2006)*

De acordo com algumas diretrizes estabelecidas, algumas considerações devem ser feitas durante a instalação dos bancos de dutos:

- **Canal de Comunicação para Automação:** É necessário prever um duto específico para a instalação do canal de comunicação do serviço de automação nos bancos de dutos. Isso garante uma infraestrutura adequada para a implementação de sistemas automatizados.
- **Duto Reserva:** Para cada banco de dutos, é imprescindível prever pelo menos um duto reserva. Esse duto reserva deve possuir o mesmo diâmetro do duto com maior seção, garantindo flexibilidade e prontidão para futuras expansões ou reparos.
- **Instalação de Média e Baixa Tensão:** Quando houver circuitos de média e baixa tensão no mesmo local, os bancos de dutos devem ser instalados na pista de rolamento, na mesma vala próxima ao meio-fio. Isso facilita a organização e manutenção dos cabos de diferentes tensões.
- **Concretagem dos Bancos de Dutos:** Nos locais onde está prevista a instalação de circuitos de média tensão, os bancos de dutos devem ser concretados. Isso proporciona estabilidade e segurança à infraestrutura, especialmente em áreas sujeitas a movimentações do solo.
- **Traçado dos Dutos:** O traçado dos dutos deve ser o mais retilíneo possível, evitando curvas reversas, e o ângulo de deflexão deve ser limitado a no máximo 30°. Isso minimiza o risco de danos aos cabos e facilita futuras inspeções e manutenções.
- **Padronização da Formatação dos Dutos:** A formatação dos dutos deve seguir o mesmo padrão entre poços de inspeção, câmaras e caixas. Isso garante consistência e organização na instalação de rede subterrânea.
- **Limitação de Circuitos por Duto:** Cada duto deve acomodar apenas um circuito de baixa tensão ou um circuito de média tensão. Isso assegura a integridade e o desempenho adequado dos cabos, evitando interferências e sobrecargas indesejadas.

Ao seguir essas orientações durante a instalação dos bancos de dutos, é possível garantir uma infraestrutura robusta e confiável para a rede de distribuição subterrânea e energia elétrica.

- Os dutos devem ser dimensionados conforme com as tabelas 2, 3 e 4

*Tabela 2: Dimensionamento dos Dutos Corrugados PEAD por Diâmetro do Circuito*

| <b>Dutos Corrugados PEAD (mm)</b>           |           |            |            |
|---------------------------------------------|-----------|------------|------------|
| <b>Circuito de B.T<br/>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>63</b> | <b>125</b> | <b>140</b> |
| 16                                          | X         |            |            |
| 25                                          | X         |            |            |
| 50                                          |           | X          |            |
| 70                                          |           | X          |            |
| 120                                         |           | X          |            |
| 240                                         |           | X          |            |
| <b>Circuito de M.T<br/>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>63</b> | <b>125</b> | <b>140</b> |
| 50                                          |           | X          |            |
| 120                                         |           | X          |            |
| 185                                         |           |            | X          |
| 240                                         |           |            | X          |
| 400                                         |           |            | X          |

*Fonte: N.D 2.3 - Instalações Básicas de Rede de Distribuições (2006)*

Tabela 3: Dimensionamento dos Eletrodutos de Aço por Diâmetro do Circuito

| ELETRODUTOS DE AÇO (polegadas)         |    |    |    |    |
|----------------------------------------|----|----|----|----|
| Circuito de B.T<br>(mm <sup>2</sup> )  | 2" | 3" | 4" | 5" |
| 16                                     | X  |    |    |    |
| 25                                     | X  |    |    |    |
| 50                                     |    | X  |    |    |
| 70                                     |    | X  |    |    |
| 120                                    |    |    | X  |    |
| 240                                    |    |    | X  |    |
| Circuitos de M.T<br>(mm <sup>2</sup> ) | 2" | 3" | 4" | 5" |
| 50                                     |    |    | X  |    |
| 120                                    |    |    | X  |    |
| 185                                    |    |    |    | X  |
| 240                                    |    |    |    | X  |
| 400                                    |    |    |    | X  |

Fonte: N.D 2.3 - Instalações Básicas de Rede de Distribuições (2006)

Tabela 4: Dimensionamento das Caixas, Poços de Inspeção

| Tipo                    | Caixas, Câmeras e Poços de Inspeção |    |    |    |
|-------------------------|-------------------------------------|----|----|----|
| Caixas de Inspeção      | ZA                                  | ZB | ZC | ZD |
| Poços de Inspeção       | XA                                  |    | XB |    |
| Câmaras Transformadoras | TA                                  | TB | TC | TD |
| Câmaras de Manobra      | VA                                  | VB | VC |    |

Fonte: N.D 2.3 - Instalações Básicas de Rede de Distribuições (2006)

- Poderão ser utilizados dutos corrugados de diâmetro para a rede de distribuição subterrânea diferentes quando houver a transferência de consumidores da rede aérea para a rede subterrânea, da qual a responsabilidade relativa a transferência do ramal de entrada for da CEMIG, entretanto o duto deverá estar homologado para fornecimento para a CEMIG;
- Deverá ser realizada a sinalização sob os bancos de dutos com fita de sinalização;
- Para a execução das travessias sob rodovias e ferrovias, poderá ser usado o Método não Destrutivo (MND), ficando a critério do projetista e considerando a complexidade envolvida.

## **1.14 Locação de Câmaras, Poços e Caixas de Inspeção**

### **1.14.1 Câmaras**

Segundo a N.D 3.3 (2014) os projetos das câmaras transformadoras devem ser feitos abaixo dos passeios das vias públicas. Quando não houver a possibilidade física de execução das câmaras, por causa de aproximação com edificações que possam a vir provocar cargas adicionais em suas paredes, deverá ser feito o deslocamento da câmara para a pista de rolamento, devendo ficar instalados nos passeios os poços de ventilação/acesso.

Nas câmaras transformadoras não inundáveis poderá ser feita a instalação de transformadores a seco com chaves tipo painéis não submersíveis.

### **1.14.2 Poços de Inspeção**

De acordo com a N.D 3.3 (2014) a execução dos poços de inspeção deverá ser feita sob as pistas de rolamento, os poços de inspeção frequentemente são instalados nas esquinas.

Quando não for fisicamente possível a construção do poço de inspeção sob as pistas de rolamento, o mesmo deverá ser remanejado para o passeio.

### 1.14.3 Caixas de Inspeção

A N.D 3.3 (2014) determina que as caixas de inspeção ZA, ZB e ZC deverão ser executadas no passeio. As caixas ZB e ZC poderão ser construídas em passeios em que haja trânsito de veículos desde que as tampas sejam adaptadas para a pista de rolamento.

Caso haja necessidade as caixas de inspeção do tipo ZC podem ser construídas na pista de rolamento, com tampa adequada.

A caixa de inspeção ZD deve ser construída no passeio ou na pista de rolamento.

## 1.15 Critérios para Instalações de Câmaras, Caixas e Poços de Inspeção

A N.D 3.3 (2014) determina as distâncias máximas entre as caixas de baixa tensão e os poços de inspeção para os projetos de redes subterrâneas:

- ✓ Entre as caixas de baixa tensão deve de, no máximo, 80m;
- ✓ Entre os poços de inspeção da rede primária deve ser de, no máximo, 150m;

A N.D 3.3 (2014) ainda faz a seguinte nota:

- Os circuitos de média tensão não devem ser instalados nas caixas de inspeção ZA e ZB;
- Deverão ser feitos o envelopamento com fita de sinalização e a tampa da caixa de concreto para os circuitos de média tensão instalados em caixa de inspeção ZC;
- Não deverão ser montados circuitos de baixa tensão nas caixas de inspeção ZD com emendas de média tensão;
- Quando necessário o compartilhamento de baixa e média tensão com emendas, deverá ser projetado poços de inspeção XA/XB

## 1.16 Dimensionamento Elétrico

### 1.16.1 Rede Secundária

A N.D 3.3 (2014) define a rede secundário 0 neutros é muito aterrado e comum ao primário e secundário.

### 1.16.2 Níveis de Tensão

A tensão nominal da rede secundária é de 220/127V e a mesma é alimentada por transformadores trifásicos.

As faixas de tensão adequadas no ponto de entrega devem obedecer às informações dispostas na tabela 5.

*Tabela 5: Valor Nominal para Tensão Igual ou Inferior a 1kV*

| Tensão de Atendimento (TA) | Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts) |                                                                                                                     |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adequada                   | 220/127                                        | $(201 \leq TL \leq 231) / (116 \leq TL \leq 133)$                                                                   |
|                            | 380/220                                        | $(348 \leq TL \leq 396) / (201 \leq TL \leq 231)$                                                                   |
| Precária                   | 220/127                                        | $(189 \leq TL \leq 201 \text{ ou } 231 \leq TL \leq 233) / (109 \leq TL \leq 116 \text{ ou } 133 \leq TL \leq 140)$ |
|                            | 380/220                                        | $(327 \leq TL \leq 348 \text{ ou } 396 \leq TL \leq 403) / (189 \leq TL \leq 201 \text{ ou } 231 \leq TL \leq 233)$ |
| Crítica                    | 220/127                                        | $(TL < 189 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 109 \text{ ou } TL > 140)$                                                 |
|                            | 380/220                                        | $(TL < 327 \text{ ou } TL > 403) / (TL < 189 \text{ ou } TL > 233)$                                                 |

*Fonte: N.D 2.3 - Instalações Básicas de Rede de Distribuição (2006)*

A máxima queda de tensão permissível na rede secundária é de 4% entre a bucha de BT do transformador e a última caixa de inspeção (ponto de entrega), em condições normais de operação.

Este valor máximo é fixado para verificação da possibilidade de ligação de novos consumidores sem necessidade de modificação de rede, dentro do horizonte de planejamento considerado.

### 1.16.3 Configuração Básica e Faseamento

#### 1.16.3.1 Configuração Básica

Segundo a N.D 3.3 (2014) dois importantes parâmetros devem ser considerados para a realização do dimensionamento elétrico de um circuito de distribuição em baixa tensão, são eles, as correntes admissíveis dos cabos e a queda de tensão.

De acordo com a N.D 3.3 (2014) os limites determinados de queda de tensão são capazes de limitar as perdas dentro dos limites mínimos aceitáveis, desta forma não existe restrições com relação a perdas.

A N.D 3.3 (2014) determina a escolha dos circuitos, de acordo com o tipo de rede a ser executada, podendo ser reticulados ou radiais, esses circuitos serão compostos por condutores isolados montados nos dutos corrugados (dutos PEAD), esses tubos devem ser enterrados nos passeios.

A N.D 3.3 (2014) determina a seguinte padronização para os transformadores:

*Tabela 6: Valor Nominal para Potência Igual ou Inferior a 1kV*

| Transformador | Potência kVA |    |     |     |     |     |      |
|---------------|--------------|----|-----|-----|-----|-----|------|
|               | 45           | 75 | 150 | 300 | 500 | 750 | 1000 |
| Submersível   |              |    |     |     | X   | X   | X    |
| Pedestal      | X            | X  | X   | X   | X   |     |      |
| Seco          |              |    |     |     | X   | X   | X    |

*Fonte: N.D 2.3 - Instalações Básicas de Rede de Distribuição (2006)*

De acordo com a N.D 3.3 (2014) na rede de iluminação pública e na rede de ligação de ramais, deverão ter suas conexões realizadas por barramentos de derivações, conectores e barramentos isolados. Os quadros de distribuição a ser instalados na saída de baixa tensão e os transformadores deverão ser respectivamente quadro de distribuição e transformadores tipo pedestal, tanto o quadro de distribuição quanto o transformador devem ser apoiados em cima de bases de concreto e a distância máxima entre eles é de 3 metros. A localização dos transformadores em pedestal deve ser, de preferência, ilhas, vielas, praças e/ou terrenos dos proprietários (próximo a vias públicas).

### 1.16.3.2 Faseamento

Segundo a N.D 3.3 (2014) os condutores instalados nas câmaras, caixas e poços de inspeção deve ter a seguinte identificação:

*Tabela 7: Tipo de Fita Isolante por Fase*

| Tipo de Fase | Fita Isolante (cor)    |
|--------------|------------------------|
| Fase A       | Fita Isolante Branca   |
| Fase B       | Fita Isolante Amarela  |
| Fase C       | Fita Isolante Vermelha |
| Neutro       | Fita Isolante Azul     |

*Fonte: N.D 3.3 - Projetos de Rede de Distribuição Subterrânea (2014) - Adaptado pelo Autor*

### 1.16.4 Condutores de B.T

#### 1.16.4.1 Tipo de Seção

A N.D 3.3 (2014) determina que os condutores sejam isolados em EPR (Borracha Etileno Propileno) com capa externa de PVC (Composto Termoplástico à Base de Vinila) e os condutores XLPE (Composto Extrudado Termo fixo à Base de Polietileno Reticulado) sem capa externa, podendo ser de cobre ou alumínio as seções:

*Tabela 8: Seção Bitola de Cabo para Tensão Igual ou Inferior a 1kV*

| Tipo de Condutor       | Seção (mm <sup>2</sup> )  |
|------------------------|---------------------------|
| Condutores de Alumínio | 16, 25, 50, 70, 120 e 240 |
| Condutores de Cobre    | 240                       |

*Fonte: N.D 3.3 - Projetos de Rede de Distribuição Subterrânea (2014) - Adaptado pelo Autor*

Para o condutor neutro a N.D 3.3 (2014) determina os seguintes critérios para dimensionamento:

- Circuitos de baixa tensão: o condutor neutro deverá ter o mesmo diâmetro dos condutores chave da baixa tensão, deverá ser utilizado um condutor neutro para cada circuito e o condutor deverá ser de alumínio isolado;

- Nas mudanças de diâmetro do condutor, em razão das conexões dos circuitos, deverão ser utilizados conectores em formato H, devendo ainda ser impermeabilizados com fita de auto fusão e fita isolante, em cada uma deverá ser feita duas camadas, sobrepostas por meia fita, respectivamente.

#### 1.16.4.2 Dimensionamento

Para a N.D 3.3 (2014) a proteção das redes secundárias deve ser realizada com objetivo primário de se evitar as trocas dos condutores, sendo realizada, quando houver o crescimento da rede, em divisões de circuitos de forma a atender à demanda de carga.

Ainda segundo a N.D 3.3 (2014) deve-se atentar à queda de tensão máxima permitida, nas condições normais. A carga máxima de corrente que os condutores podem suportar é estabelecida a 90°C, em regime normal de trabalho, considerando uma temperatura ambiente de até 40°C.

#### 1.16.5 Transformadores

De acordo com a N.D 3.3 (2014) a instalação dos transformadores deverá ser feita com a maior proximidade possível do centro de carga do circuito secundário ao qual o transformador pertence e também é necessário que o transformador esteja mais perto possível das cargas concentradas.

A N.D 3.3 (2014) determina que, para novos circuitos de baixa tensão, programados para possibilitar a ligação de novas cargas, regularizar níveis de tensão e carregamento, reequilibrar circuitos, etc., os transformadores de Média e Baixa tensão devem ter o carregamento máximo aceitável de 80% da capacidade de trabalho do transformador.

#### 1.16.6 Equilíbrio de Carga

De acordo com a N.D 3.3 (2014) pode haver queda de tensão elevada na fase mais carregada devido ao desequilíbrio de corrente nas fases de algum circuito secundário, podem também ocorrer o aparecimento de corrente no neutro e também pode haver sobrecargas nas fases mais carregadas do transformador. Ainda segundo a N.D 3.3 (2014) o máximo de desequilíbrio permitido é de 10% sendo que o equilíbrio deverá ser atingido por toda a extensão do circuito.

#### 1.16.7 Correções dos Níveis de Tensão

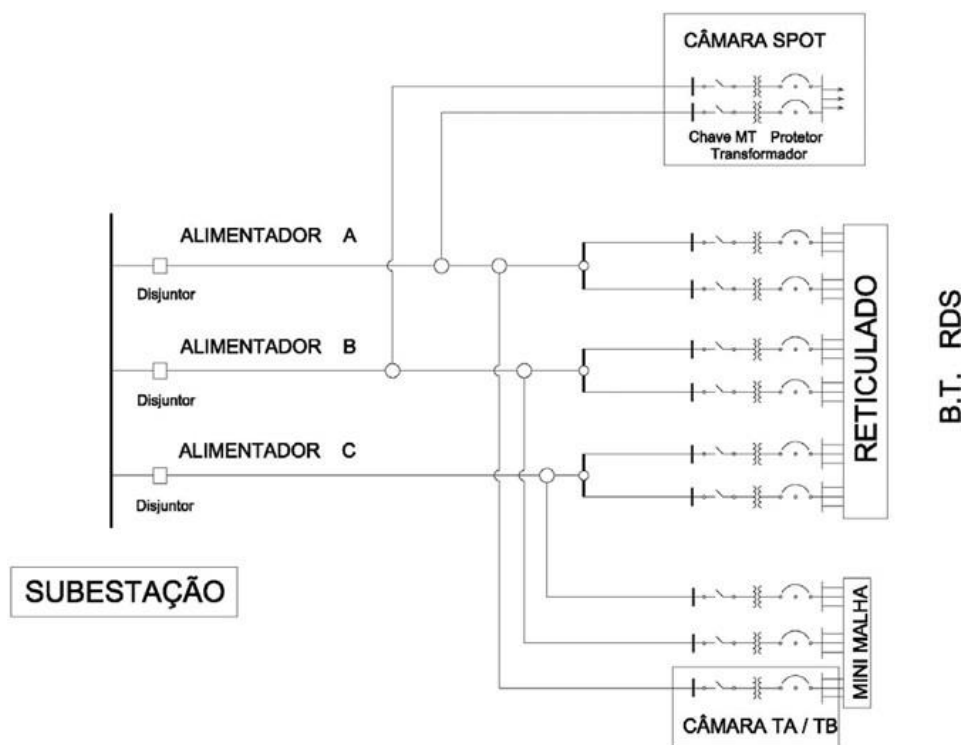
A N.D 3.3 (2014) determina que, quando for identificada queda de tensão no circuito secundário, acima do limite admissível que é, no máximo de 4%, e depois de ser realizada uma consulta junto dos setores de manutenção e planejamento, deverão ser adotadas ações, em conformidade com as análises econômicas e técnicas visando a corrigir o problema.

### **1.17 Configurações Básicas, Trajeto, Identificações e Faseamento**

#### 1.17.1 Configurações Básica dos Sistemas

A N.D 3.3 (2014) apresenta as configurações básicas dos circuitos para sistemas RDS Reticulado conforme figura 8:

Figura 8: Rede de Distribuição Subterrânea Reticulado



Fonte: N.D 3.3 - Projetos de Rede de Distribuição Subterrânea (2014)

### 1.17.2 Trajeto

De acordo com a N.D 3.3 (2014) alguns aspectos devem ser analisados definição do trajeto de um alimentador, deve levar em consideração os seguintes aspectos:

- O tronco alimentador deverá estar mais perto possível do centro de carga;
- Deve ser estabelecida as ruas ou avenidas para o trajeto do alimentador.

A N.D 3.3 (2014) determina também que os planejamentos dos trajetos devem ter como objetivo evitar voltas nos quarteirões além das necessárias.

### 1.17.3 Faseamento e Identificação

A N.D 3.3 (2014) determina que o alimentador sempre deverá ser trifásico e a identificação das fases devem ser realizadas as derivações conforme a tabela 9:

*Tabela 9: Identificação das Fases*

| Tipo de Fase | Fita Isolante (Cor)    |
|--------------|------------------------|
| Fase A       | Fita Isolante Branca   |
| Fase B       | Fita Isolante Amarela  |
| Fase C       | Fita Isolante Vermelha |

*Fonte: N.D 3.3 - Projetos de Rede de Distribuição Subterrânea (2014) - Adaptado pelo Autor*

A nomenclatura para a identificação do tipo de terminação deve ser conforme a tabela 10:

*Tabela 10: Identificação do Tipo de Terminação*

| Cabo de Média Tensão       | Terminação de Média Tensão |               |
|----------------------------|----------------------------|---------------|
| 15/25kV (mm <sup>2</sup> ) | MBT                        | TDC/TDR/TDC-L |
| 400                        | A                          | a             |
| 120                        | B                          | b             |
| 50                         | C                          | c             |
| 185                        | D                          | d             |
| 240                        | E                          | e             |

*Fonte: N.D 3.3 - Projetos de Rede de Distribuição Subterrânea (2014) - Adaptado pelo Autor*

Segundo a N.D 3.3 (2014) todas as derivações das redes primárias deverão ter identificação de fase.

Segundo a N.D 3.3 (2014) deverá ser instalada, nos condutores de média tensão, fita de sinalização, essa fita deverá envolver os condutores, entretanto as fitas de sinalização não deverão sobrepor-se às fitas de identificação, no momento da instalação das caixas de

inspeção. Deverá também ser previsto 1,5 metros de fita de sinalização para cada circuito de média tensão.

## 1.18 Condutores de Média Tensão

### 1.18.1 Tipo e Seção

A N.D 3.3 (2014) determina que os condutores de alumínio serão isolados em XLPE/EPR deverão ter capa externa de Polietileno (PE), e sua tensão e diâmetros deverão ser conforme mostra a tabela 11:

*Tabela 11: Valor Nominal para Tensão dos Condutores*

| Tensão (V) | Seção (mm <sup>2</sup> ) |
|------------|--------------------------|
| 13800      | 50, 120, 240, 400        |
| 22000      | 50, 185                  |

*Fonte: 1N.D 3.3 - Projetos de Rede de Distribuição Subterrânea (2014) - Adaptado pelo Autor*

### 1.18.2 Dimensionamento

A N.D 3.3 (2014) estabelece a seguir os requisitos de dimensionamento e carregamento da rede primária. A norma ainda faz a seguinte observação: no caso de execução de novas redes e/ou reformas, a rede primária deve ser planejada conforme com sua configuração prevendo que a carga seja até o quinto ano subsequente.

O condutor neutro deverá ser instalado nos bancos de dutos, onde tiver apenas um circuito de baixa tensão e mais quando houver mais de um circuito de média tensão, a instalação deverá ser feita em pelo menos um dos circuitos de média tensão.

Ainda de acordo com a N.D 3.3 (2014) nos bancos de dutos onde houver mais de um circuito de baixa tensão não é necessário à instalação de condutor neutro. Ainda segundo a N.D 3.3 (2014) a seção mínima de 35mm<sup>2</sup>, o condutor neutro deve ser cobre com seção de 50mm<sup>2</sup> a 70mm<sup>2</sup> e para os cabos com seção maior que o de 50mm<sup>2</sup>.

As conexões de interligação das blindagens metálicas dos cabos de média tensão com a malha de aterramento serão com o conector de parafuso fendido.

### 1.18.3 Números de Alimentadores

Segundo a N.D 3.3 (2014) a definição da quantidade de alimentadores deve levar em consideração a necessidade do local, da área, a distribuição de carga e o local onde está a subestação de distribuição.

### 1.18.4 Carregamento

A N.D 3.3 (2014) determina que o dimensionamento dos condutores da rede primária deve ser elaborado considerando a máxima queda de tensão possível, a temperatura máxima de 90°C e a ampacidade para o condutor isolado no regime permanente.

### 1.18.5 Proteção Contra Sobre Corrente

De acordo com a N.D 3.3 (2014) deve ser realizada a derivação da rede aérea de uma rede subterrânea com o objetivo de impossibilitar danos nos condutores isolados.

### 1.18.6 Rede Reticulado

A N.D 3.3 (2014) determina que devem ser instalados, na saída dos alimentadores das subestações de distribuição, religadores com o desligamento bloqueado ou disjuntores.

### 1.18.7 Proteção Contra Sobre Tensão

De acordo com N.D 3.3 (2014) devem ser instalados para-raios de média tensão nas transições de redes aéreas tanto nas áreas urbanas quanto nas áreas rurais e nas RDS compactas.

## **Metodologia**

O presente trabalho será elaborado com base numa pesquisa exploratória sobre o tema e uma análise comparativa do estudo bibliográfico realizado e suas aplicações nas rotinas operacionais de uma construtora dentro do ambiente do canteiro de obra ordenado da seguinte forma:

- 1- Estudos teóricos: Será feito um estudo bibliográfico afim de se levantar todos os aspectos que envolvem a metodologia de execução de redes de distribuição subterrânea executada dentro de um condomínio fechado.
- 2- Estudos de Campo: As observações envolverão visitas ao canteiro de obras para acompanhamento de execução em campo do modelo apresentado neste trabalho;

O objetivo é apresentar a metodologia de execução de redes de distribuição subterrânea, analisando os aspectos construtivos em comparação com as normas apresentadas nesse trabalho, bem como fazer uma análise crítica da rede de distribuição subterrânea com as redes aéreas.

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de uma obra específica em um condomínio fechado, que serviu como estudo de caso para a implementação de Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS). A obra em questão foi conduzida pelo próprio autor deste trabalho, com o objetivo de aplicar e validar as metodologias e teorias previamente discutidas.

A obra foi realizada em um condomínio de médio porte, localizado em uma área urbana de alto padrão, onde se priorizou a instalação de uma rede subterrânea devido às exigências estéticas e operacionais dos futuros moradores. Durante a execução do projeto, o autor esteve diretamente envolvido em todas as fases, desde o planejamento até a implementação final, garantindo que os procedimentos técnicos fossem seguidos de acordo com as normas e melhores práticas da construção civil.

O projeto seguiu os princípios discutidos no estudo bibliográfico, e contou com visitas periódicas ao canteiro de obras, onde foram realizadas observações detalhadas do progresso da implementação da rede subterrânea. Foram levantados aspectos técnicos, como a escavação, instalação dos cabos e dutos, além de questões relacionadas à segurança, cronograma e custos.

A construção da obra no condomínio fechado justifica-se não apenas pelo cumprimento das normas e especificações técnicas, mas também pela necessidade de oferecer uma infraestrutura moderna e eficiente que atenda às expectativas dos moradores. A implementação da Rede de Distribuição Subterrânea foi escolhida pela sua capacidade de harmonizar com o paisagismo do local, reduzir o impacto visual e aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia.

Além disso, o acompanhamento direto do autor durante todas as fases do projeto proporcionou uma análise prática dos desafios e soluções apresentados, contribuindo de forma significativa para os objetivos deste trabalho. A conclusão é que, ao optar pela rede

subterrânea, a obra se destacou por sua eficiência e adequação às exigências do mercado de condomínios de alto padrão, justificando plenamente a escolha dessa tecnologia em relação às redes aéreas convencionais.

## **Experiência Internacional**

A partir de uma amostra de países, esta seção se baseia em um benchmarking internacional que buscou informações sobre experiência e as lições aprendidas com a implantação de redes subterrâneas.

### **1.19 Motivação para Implantação**

- **Argentina, Austrália e China:** A principal motivação para a implementação de redes subterrâneas é a requalificação urbanística. Na Austrália, ciclones, incêndios e outras intempéries climáticas são agravantes que impulsionaram ainda mais na decisão de adotar essa infraestrutura.
- **Canadá, Estados Unidos e União Europeia:** O enterramento das vias aéreas começou em regiões densamente habitadas.

### **1.20 Financiamento**

Há uma grande variabilidade nos métodos de financiamento entre os países e suas regiões:

- **Argentina e Austrália:** Iniciativas multissetoriais destacam-se.
- **China:** Parcerias público-privadas (PPPs) e o poder público são os principais financiadores
- **Estados Unidos e União Europeia:** Programas federais ou estaduais são comuns.

Apesar da diversidade, os municípios e as distribuidoras de energia elétrica desempenham um papel central no financiamento.

### 1.21 Principais Lições Aprendidas

- **Argentina:** Leis impositivas ou restritivas, por si só, não são suficientes para resolver os problemas das redes aéreas. A solução mais eficaz foi criar iniciativas multissetoriais que envolvem diversos agentes e a sociedade, além de incentivar o uso compartilhado de infraestruturas subterrâneas existentes.
- **Austrália:** Iniciativas lideradas pelas distribuidoras de energia, baseadas em critérios técnicos, financeiros e sociais, tendem a ser mais sustentáveis a longo prazo. O processo pode ser facilitado pelo compartilhamento de infraestruturas subterrâneas já existentes.
- **Estados Unidos:** Devido aos custos proibitivos, o enterramento generalizado das redes não prosperou além das regiões densamente habitadas. Novas expansões estão restritas a novos bairros e condomínios, financiados pelo município e/ou distribuidoras de energia, ou em áreas com alto poder aquisitivo, onde moradores aceitam arcar com os custos do investimento.
- **União Europeia:** A experiência mostra que o enterramento das redes não é predominante no continente e deve ser adotado com parcimônia, dependendo das características específicas de cada região.

Estas lições indicam que a implementação bem-sucedida de redes subterrâneas envolve não apenas decisões técnicas e financeiras, mas também o engajamento de múltiplos setores e a consideração das particularidades locais.

## **Benefícios das Redes Subterrânea para Setores e Sociedade**

Segundo a LMDM Consultoria (2014), os benefícios gerais da implantação de redes subterrâneas para os setores e para a sociedade podem ser sintetizados em fatores como: estética, segurança, redução de custos de manutenção, redução dos índices de continuidade de fornecimento de energia, maior acessibilidade, processo mais limpo, maior vida útil e valorização dos imóveis.

### **1.22 Benefícios para as Distribuidoras de Energia Elétrica**

De acordo com Arango e Bonatto (2021) e Martins, Arango e Kubota (2021), os benefícios da implementação de redes subterrâneas para as distribuidoras incluem:

1. **Complexidade e Investimento:** Embora o sistema subterrâneo de distribuição seja mais complexo e requeira um investimento inicial mais alto, ele oferece benefícios significativos, como a redução das interrupções devido à menor exposição dos circuitos aos agentes externos, aumentando a confiabilidade do serviço.
2. **Segurança e Manutenção:** A segurança para a população é aumentada, com a redução do risco de acidentes causados por rupturas de condutores e contatos acidentais. Além disso, há uma redução nos custos de manutenção, como podas de árvores e deslocamento de equipes de emergência.
3. **Confiabilidade:** A rede subterrânea melhora a confiabilidade do sistema por apresentar menores índices de interrupção. Problemas comuns em infraestruturas de postes, como curtos-circuitos devido a descargas atmosféricas e galho de árvores, são eliminados.
4. **Economia e Manutenção:** Há uma economia significativa com a redução dos custos operacionais (Opex) relacionadas a podas de árvores, uma necessidade nas redes aéreas, uma necessidade das redes aéreas para evitar curtos-circuitos causados por galhos.
5. **Redução de Perdas de Energia:** A implantação de redes subterrâneas reduz as perdas comerciais de energia, principalmente devido à diminuição de furtos, que são comuns nas redes aéreas. O furto ou roubo de cabos de cobre também se torna mais difícil devido à dificuldade de acesso de terceiros.

Essas vantagens, quando consideradas em uma análise de investimentos, representam um ganho ou custo evitado que, se corretamente contabilizado, eleva significativamente a viabilidade econômica da infraestrutura de redes subterrâneas.



Após a análise detalhada dos custos e dos aspectos técnicos envolvidos na implementação de Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS), é fundamental complementar esse entendimento com a aplicação prática dessa tecnologia. No capítulo seguinte, será apresentado um estudo de caso concreto, onde o sistema de distribuição subterrânea foi implementado em um condomínio fechado.

Esse estudo de caso permitirá uma análise aprofundada da obra, incluindo as particularidades do projeto, o processo de implementação da infraestrutura, e os desafios enfrentados ao longo da execução. A escolha desse exemplo prático tem como objetivo reforçar os conceitos apresentados até agora, oferecendo uma perspectiva realista sobre os custos, prazos, e a eficiência do sistema.

Por meio da apresentação dessa obra, será possível verificar, na prática, como o levantamento de custos abordado anteriormente se reflete na execução do projeto, evidenciando os fatores que podem alterar o orçamento planejado. Além disso, serão discutidos os resultados alcançados, os benefícios proporcionados pela adoção da RDS, e eventuais ajustes realizados ao longo do processo para otimizar a solução.

Assim, o próximo capítulo irá aprofundar-se nas decisões tomadas pela construtora ao longo da obra e nos impactos diretos dessa escolha para a infraestrutura do condomínio, oferecendo uma visão completa da implementação de uma Rede de Distribuição Subterrânea em um cenário real.

## INSTALAÇÃO DE REDE SUBTERRÂNEA EM CONDOMÍNIO FECHADO

### 1.23 Apresentação da Obra

A obra do Condomínio Fechado é um empreendimento de alto padrão inspirados nos padrões das linhas arquitetônicas e de paisagismo do magnífico palácio francês de Versailles.

Esse condomínio fechado possui topografia privilegiada e disponibilidade de lotes em tamanhos diversos, entre 401 m<sup>2</sup> até 1090 m<sup>2</sup>, divididos em apenas 243 unidades. Um loteamento fechado exclusivo e reservado, com a maior área de lazer, recreação e paisagismo já criada, com mais de 54.000 m<sup>2</sup>.

Um dos grandes diferenciais desse empreendimento é o investimento numa infraestrutura completa, com toda a rede elétrica, de telefonia e de transmissão de dados subterrânea.

#### 1.23.1 Processo de Execução de Infraestrutura para Rede Elétrica Subterrânea

O processo de execução de infraestrutura para a rede elétrica subterrânea compreende as seguintes etapas:

- Levantamento topográfico: Consiste na marcação/locação dos pontos a serem escavados para a execução da infraestrutura da rede;
- Escavação e acerto de fundo de vala: Consiste na abertura de cova e acerto do fundo da vala (Manual ou com equipamento adequados) em terra no local de assentamento de espaçadores e posterior colocação dos dutos;
- Instalação dos espaçadores (base): Consiste na instalação dos espaçadores (de acordo com projeto) sendo estes fixados no solo por meio de ferros ou hastes;
- Instalação dos dutos: Consiste na colocação dos dutos (de acordo com o projeto) nas medidas de 125mm e 65mm;
- Instalação de espaçadores (fechamento): Consiste na instalação dos espaçadores (de acordo com o projeto) sendo estes fixados no solo por meio de ferros e hastes;
- Envelopamento: Consiste na etapa de lançamento de concreto na vala para “envelopar” a rede de dutos, o FCK foi aplicado conforme projeto;
- Aterro (etapa 1): Consiste na etapa de recomposição parcial da camada de terra para colocação das fitas de advertência;

- Aterro (etapa 2): Consiste na etapa de recomposição final da camada de terra afim de recompor o nível natural do terreno;
- Compactação: Consiste na etapa de compactação do solo para se nivelar com o nível do terreno;

### 1.23.2 Execução de Infraestrutura para Rede Elétrica Subterrânea

A execução da rede elétrica subterrânea tem seu início de trabalho topográfico para que seja feita a marcação do local a ser passada a rede de acordo com o projeto e respeitando as normas conforme mostra a figura 09

*Figura 9: Execução da Marcação para Escavação Rede de Energia Subterrânea*



*Fonte: Obra Condomínio*

Após a liberação da topografia dá-se início à etapa de escavação da RDS, essa também obedece aos requisitos de projeto e normativos.

*Figura 10: Execução Escavação para Execução da Rede de Energia Subterrânea*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 11 mostra a execução de escavação da RDS através do uso de uma retroescavadeira, a escavação mecanizada agiliza a execução do serviço, lembrando que essa etapa tem o acompanhamento contínuo da equipe de topografia que verifica se estão sendo atendidos os requisitos de projeto.

A próxima etapa refere-se à preparação para montagem dos espaçadores, a montagem dos espaçadores é realizada de acordo com o projeto e os requisitos normativos da CEMIG.

*Figura 11: Preparação para Execução do Montagem dos Espaçadores*



*Fonte: Obra Condomínio*

Depois que os espaçadores são dispostos nos locais dá-se início à execução de montagem dos espaçadores.

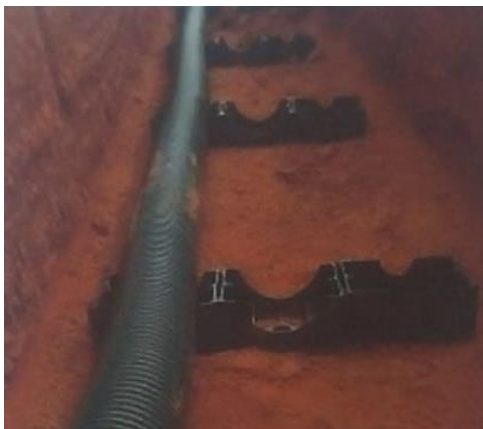
*Figura 12: Início da Execução da Montagem dos Espaçadores -  
Detalhe Posicionamento dos Espaçadores*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 12 mostra a fixação dos espaçadores com vergalhões de ferro para que os mesmos não se desloquem na etapa de envelopamento (concretagem).

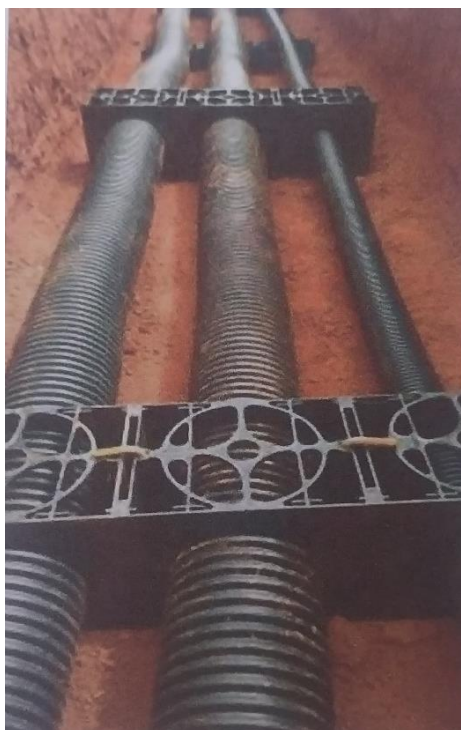
*Figura 13: Início da Execução da Montagem dos Espaçadores*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 13 mostra o início da instalação de dutos conforme determinado na N.D 3.3 e no projeto, os tubos serão para média e baixa tensão e também para telefonia e dados, esse processo de execução é descrito na N.D 2.3 (2006) norma como bancos e dutos.

*Figura 14: Execução da Montagem do Banco de Dutos*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 14 mostra a execução do banco de dutos caracterizada pelo fechamento dos espaçadores após a colocação dos dutos de média e baixa tensão e do duto de dados, na figura dá para verificar o dobramento do vergalhão de forma a garantir o devido travamento dos espaçadores para posterior execução do envelopamento.

*Figura 15: Execução Rede Elétrica de Média e Baixa Tensão*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 15 mostra a execução final do banco de dutos para posterior execução do envelopamento.

*Figura 16: Envelopamento da Rede Elétrica Subterrânea*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 16 mostra a etapa do envelopamento do RDS, essa etapa consiste na execução da concretagem dos dutos fixados na valeta.

*Figura 17: Envelopamento da Rede Elétrica Subterrânea - Detalhe da Ponta da Tubulação com Proteção*



*Fonte: Obra do Condomínio*

A figura 17 mostra a etapa de envelopamento do RDS acabada e detalha a proteção dos dutos que aguardarão a montagem das caixas de passagem conforme a norma e projeto.

*Figura 18: Execução do Reaterro e Compactação da Rede Elétrica Subterrânea*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 18 detalha a etapa de reaterro, essa etapa ocorre após a cura do concreto do envelopamento, que tem duração de pelo menos sete dias, a partir do reaterro da valeta e finalizado com a compactação mecânica.

*Figura 19: Aplicação das Fitas de Identificação da Rede de Energia Subterrânea*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 19 mostra o atendimento de outro requisito da N.D 3.3 que é a aplicação das fitas de identificação, essa fita é aplicada antes da última etapa do reaterro, próximo à superfície para proteção da RDS instalada.

*Figura 20: Instalação das caixas de passagem*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 20 mostra a execução de instalação das caixas de passagem, ZA, ZB e ZC, essas caixas receberão a passagem dos cabos da RDS.

*Figura 21: Caixa de Passagem - Rede Subterrânea de Energia*



*Fonte: Obra Condomínio*

Na figura 21 é possível verificar a caixa de passagem devidamente instalada e concretada com os dutos e os cabos guia para passagem de cabos de energia.

*Figura 22: Passagem de Cabos Elétricos*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 22 mostra a passagem dos cabos de energia pelas caixas de passagem, fazendo a montagem de toda a rede subterrânea de cabeamento.

*Figura 23: Passagem de Cabos Elétricos*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 23 mostra os cabos já instalados nos dutos e na caixa de passagem.

*Figura 24: Bases dos Transformadores e Quadros de Distribuição*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 24 mostra a base dos transformadores e dos quadros de distribuição já executada seguindo as recomendações da N.D 3.3 (2014).

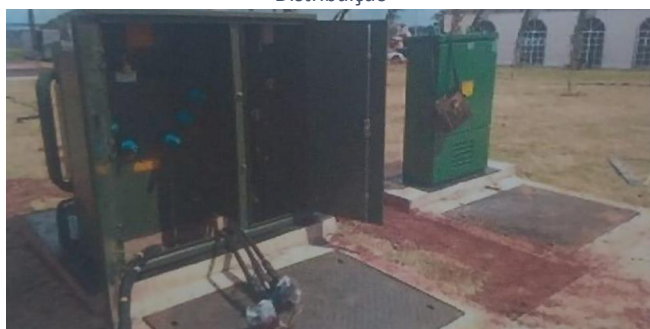
*Figura 25: Passagem dos Cabos Elétricos*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 25 mostra o início da montagem dos transformadores e dos quadros de distribuição seguindo as recomendações da N.D 3.3 (2014).

*Figura 22: Montagem dos Transformadores e o Quadro de Distribuição*



*Fonte: Obra Condomínio*

A figura 26 mostra o início da montagem dos transformadores e dos quadros de distribuição seguindo as recomendações da N.D 3.3 (2014).

*Figura 27: Instalação de Religador*



*Fonte: Obra Condomínio*

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.24 Custos

#### 1.24.1 Exposição do Assunto

O custo para construir uma linha de distribuição elétrica depende de vários fatores. Entre eles, destacam-se o tipo de isolamento, o nível de confiabilidade exigido, a localização da construção e o tipo de material utilizado. Em áreas rurais, os postes podem ser colocados a uma distância maior entre si, o que reduz o número de postes necessários e, consequentemente, diminui o custo do material e da instalação. Em contraste, em áreas urbanas, o espaçamento entre os postes é menor, aumentando a quantidade de postes e os custos associados.

No caso das redes subterrâneas, os principais custos estão relacionados à abertura de valas, ao recapeamento das áreas afetadas e ao custo dos equipamentos instalados. Além dos custos de implantação, há também os custos operacionais, que incluem manutenção preventiva e corretiva da rede, bem como os custos associados à energia não distribuída. A manutenção preventiva visa evitar interrupções no fornecimento de energia devido a falhas ou defeitos nos equipamentos e é realizada em intervalos pela concessionária responsável pela rede elétrica.

Já a manutenção corretiva é necessária quando há uma interrupção no fornecimento de energia, seja por defeito em um equipamento ou por motivos acidentais. Essa manutenção geralmente é emergencial, requerendo mais tempo e custos elevados para restabelecer o serviço. Em alguns casos, a manutenção corretiva pode ser programada, o que a torna mais segura e rápida.

Os custos de energia não distribuída referem-se às perdas decorrentes das interrupções no fornecimento de energia elétrica aos consumidores, resultando em uma redução no faturamento da concessionária. Além disso, essas interrupções podem causar a queima elétricos dos clientes, obrigando a concessionária a compensá-los.

### 1.24.2 Estudo de Caso

Para permitir uma comparação dos custos de construção de uma linha de distribuição de energia elétrica, foram analisados quatro projetos distintos de uma mesma linha, porém em diferentes configurações: rede aérea convencional, rede aérea compacta, rede aérea isolada e rede subterrânea. A linha em questão tem aproximadamente 7 km de extensão e está localizada em uma área urbana, com uma tensão elétrica de 220 V. Embora hipotética, a linha foi projetada com base em condições realistas e situa-se na cidade de Araporã, Minas Gerais.

O projeto das redes elétrica convencional e compacta incluem 170 postes de concreto distribuídos ao longo de 7107 metros. O projeto da rede elétrica isolada possui 166 postes de concreto ao longo de 6940 metros. A rede subterrânea é composta por cinco câmaras subterrânea, totalizando uma extensão de 6217 metros. Em todos os projetos, foram previstos a instalação de 10 transformadores.

Os custos foram divididos em três categorias:

1. **Custos dos Materiais** utilizados na construção.
2. **Custos de Mão de Obra**, incluindo a equipe de linha viva quando necessária.
3. **Custo Administrativo**, abrangendo todos os custos relacionados ao projeto, desde a elaboração até a fiscalização.

A tabela 12 e o gráfico 1 apresentam uma comparação detalhada dos custos para cada uma das quatro configurações de rede elétrica.

*Tabela 12: Valores para Construção das Linhas*

|                             | Convencional        | Compacta            | Isolada             | Subterrânea         |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Materiais (R\$)</b>      | 575.845,64          | 851.732,16          | 1.911.040,23        | 3.061.105,05        |
| <b>Mão de Obra (R\$)</b>    | 457.322,27          | 546.001,34          | 529.110,67          | 2.831.477,52        |
| <b>Administrativo (R\$)</b> | 108.482,63          | 146.762,01          | 256.215,84          | 618.721,17          |
| <b>Total (R\$)</b>          | <b>1.141.650,54</b> | <b>1.544.495,51</b> | <b>2.696.366,74</b> | <b>6.511.303,74</b> |

*Fonte: Dados Referentes ao Projeto*

Figura 238: Custos x Tipo de Rede



*Fonte: Dados Referentes ao Projeto*

A rede convencional e a rede compacta apresentam custos semelhantes devido á estrutura de construção praticamente idêntica. A principal diferença reside no tipo de cabo utilizado na linha de distribuição. A linha compacta utiliza cabos de alumínio coberto, que são significativamente mais caros do que os cabos de alumínio nu usados na linha convencional. Esse fator contribui para a diferença de custos entre as duas redes.

A diferença nos custos da rede isolada se deve ao tipo de cabo utilizado. O cabo multiplexado de alumínio, usado na rede isolada, é muito mais caro do que os cabos das redes convencionais e compactas, representando mais de 70% do custo total dos materiais necessários para sua construção.

Para a rede subterrânea, os custos são influenciados pelos equipamentos utilizados, como transformadores, chaves seccionadoras e quadros de distribuição pedestal, que são mais caros em comparação com as redes aéreas. Além disso, a instalação da rede subterrânea requer obras civis adicionais, que não são necessárias nas redes aéreas. Isso aumenta significativamente o custo da mão de obra.

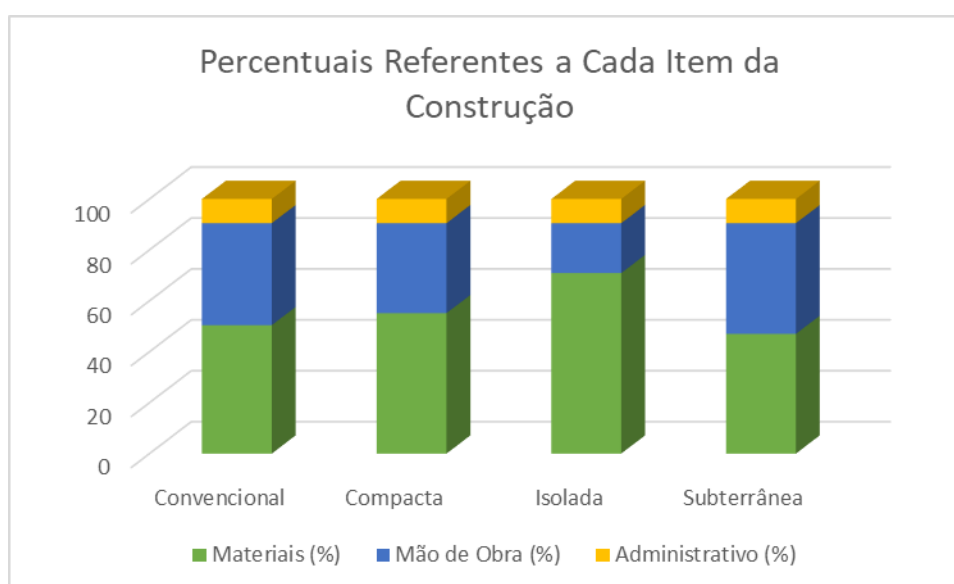
A tabela 13 apresenta uma análise dos custos percentuais para cada item envolvido na construção da rede, destacando as diferenças nos custos entre as diferentes configurações de rede elétrica.

Tabela 13: Custos % de Cada Item da Construção

|                           | Convencional  | Compacta      | Isolada       | Subterrânea   |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Materiais (%)</b>      | 50,44         | 55,15         | 70,88         | 47,01         |
| <b>Mão de Obra (%)</b>    | 40,06         | 35,35         | 19,62         | 43,49         |
| <b>Administrativo (%)</b> | 9,50          | 9,50          | 9,50          | 9,50          |
| <b>Total (%)</b>          | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> |

*Fonte: Dados Referentes ao Projeto*

Figura 24: Percentuais Referentes a Cada Item da Construção



*Fonte: Dados Referentes ao Projeto*

Através do gráfico 2, é possível observar que, apesar dos valores absolutos diferentes, o custo administrativo mantém o mesmo percentual em todas as configurações, em relação ao custo total da obra. Esse resultado era esperado, já que a construção das linhas é realizada pela mesma concessionária de energia.

O custo da mão de obra para as três configurações aéreas (convencional, compacta e isolada) é muito semelhante, pois o processo é parecido. No entanto, na rede isolada, o custo percentual da mão de obra diminui consideravelmente devido ao elevado custo dos materiais.

Na subterrânea, os custos dos materiais e da mão de obra são semelhantes entre si, refletindo a necessidade de obras civis adicionais e equipamentos específicos.

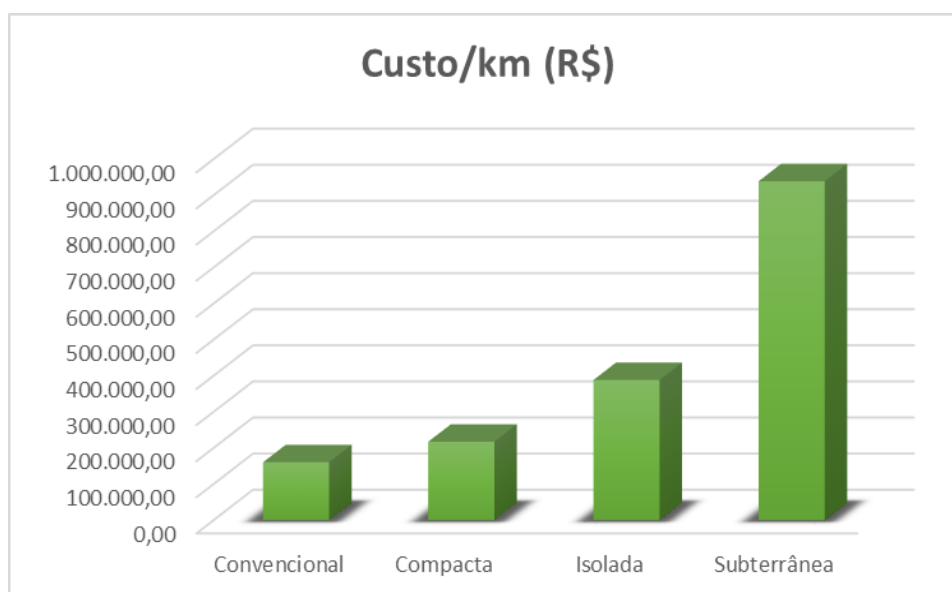
Na tabela 14 apresenta o custo por quilômetro para a construção dos diferentes tipos de redes de distribuição, permitindo uma análise detalhada dos investimentos necessários para cada configuração.

*Tabela 14: Custo por Quilômetro da Implantação da Rede*

| Tipo de Rede | Custo/km (R\$) |
|--------------|----------------|
| Convencional | 160.637,48     |
| Compacta     | 217.320,32     |
| Isolada      | 388.525,47     |
| Subterrânea  | 939.171,34     |

*Fonte: Dados Referente ao Projeto*

*Figura 25: Custo por km para Implantação da Rede*



*Fonte: Dados Referentes ao Projeto*

Analisando os dados de custos, percebe-se que a construção de uma linha de distribuição subterrânea é cerca de seis vezes mais cara que uma rede convencional, quatro vezes mais cara que uma rede compacta e duas vezes mais cara que uma rede isolada. No entanto, a evolução tecnológica tem reduzido essa diferença. Alguns anos atrás, o custo de implantação de uma rede subterrânea era aproximadamente dez vezes maior que o de uma rede convencional.

A maior parte do sistema de distribuição elétrico brasileiro utiliza redes aéreas com condutores nus. Esse tipo de rede está sujeito a diversas situações que podem causar

interrupções no fornecimento de energia elétrica, apesar de ser equipada para garantir segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade. As causas mais comuns de interrupções incluem vegetação, condições climáticas adversas, descargas atmosféricas, abalroamentos, interferências de animais e ações de terceiros.

A vegetação é uma das principais causas de interrupções, especialmente em áreas rurais. A manutenção preventiva, que inclui poda e corte da vegetação próxima à rede elétrica, é realizada regularmente. No entanto, mudanças no meio ambiente e nas atividades agrícolas, como a substituição de culturas rasteiras por reflorestamento de eucaliptos, aumentam os riscos de interrupções. Árvores altas com troncos finos podem inclinar-se e atingir a rede durante ventos forte, causando desligamentos. Galhos e cascas lançados pelo vento também podem provocar interrupções e oscilações no fornecimento de energia.

Em áreas urbanas, grande parte da rede está localizada ao longo de vias públicas e calçadas, sujeitas a abalroamentos por veículos e quedas de objetos. Descargas atmosféricas também representam um risco significativo, podendo danificar componentes das estruturas aéreas e exigir manutenção corretiva ou preventiva. A interferência animal, embora menos comum, pode causar curtos-circuitos ao entrar em contato com a rede energizada.

A necessidade de manutenção corretiva para restabelecer o sistema é frequente, assim como a manutenção preventiva, que inclui inspeções visuais e substituição de componentes avariados ou desgastados, como postes, isoladores, chaves e cruzetas. Serviços de roçada, corte de vegetação e podas são essenciais para manter o sistema em operação.

Os dados analisados referem-se a 479 km de redes, sendo 50 km de rede primária com tensão de 13,8 kV ou 23 kV e 430 km de rede secundária com tensão 127/220 V. O total de postes isolados é de 950 e o número total de transformadores instalados é de 79, com 2143 unidades consumidoras atendidas, sendo 40 em rede primária e 2103 em rede secundária. Durante o ano de 2022 foram atendidas um total de 646 ocorrências. As tabelas 15, 16 e 17 apresentam os custos de manutenção referentes ao ano de 2022. A figura 30 apresenta o custo de manutenção preventiva de uma rede aérea, a figura 31 apresenta os custos de manutenção corretiva de uma rede aérea e a tabela 17 apresenta os custos totais de manutenção de uma rede aérea durante o ano de 2022.

Tabela 15: Custos de Manutenção Preventiva de Rede Aérea

| Descrição do Serviço     | Custo Total (R\$) | Custo por km de Rede (R\$) |
|--------------------------|-------------------|----------------------------|
| Roçada/Corte Vegetação   | 50.404,52         | 105,23                     |
| Manutenção Desenergizada | 73.602,38         | 153,65                     |
| Manutenção Energizada    | 32.712,76         | 68,29                      |
| <b>Total</b>             | <b>156.719,66</b> | <b>327,17</b>              |

Fonte: CEMIG

Figura 26: Divisão de Custos com Manutenção Preventiva Rede Aérea



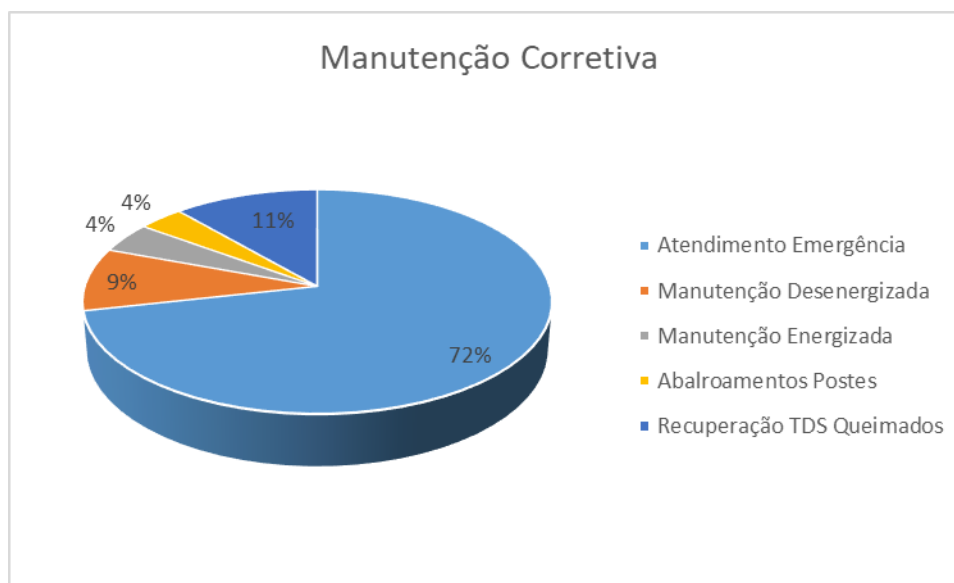
Fonte: Adaptado pelo Autor

Tabela 16: Custos de Manutenção Corretiva Rede Aérea

| Descrição Serviço         | Custo Total (R\$) | Custo por km de Rede (R\$) |
|---------------------------|-------------------|----------------------------|
| Atendimento Emergência    | 83.412,55         | 174,13                     |
| Manutenção Desenergizada  | 10.623,19         | 22,18                      |
| Manutenção Energizada     | 5.125,47          | 10,70                      |
| Abalroamentos Postes      | 4.178,37          | 8,72                       |
| Recuperação TDS Queimados | 13.292,72         | 27,75                      |
| <b>Total</b>              | <b>116.632,30</b> | <b>243,48</b>              |

Fonte: CEMIG

Figura 27: Divisão dos Custos com Manutenção Corretiva Rede Aérea



Fonte: Adaptado pelo Autor

Tabela 17: Custos Totais de Manutenção Rede Aérea

| Tipo de Manutenção | Custo Total (R\$) | Custo por km (R\$) |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| Preventiva         | 156.719,66        | 327,17             |
| Corretiva          | 116.632,30        | 243,48             |
| <b>Total</b>       | <b>273.351,96</b> | <b>570,65</b>      |

Fonte: CEMIG

A rede subterrânea praticamente não apresenta problemas, pois não está exposta a eventos climáticos. Quando a instalação é feita de maneira adequada, com componentes próprios, é muito raro ocorrer algum defeito na rede subterrânea. A manutenção preventiva pode ser feita através de inspeção visuais ou instrumentais, realizadas por funcionários capacitados e habilitados.

As inspeções visuais são realizadas nas caixas de passagem, quadro de distribuição em pedestal, câmaras transformadoras, cabos de média e baixa tensão, emendas e terminações. A manutenção preventiva é complementada com a inspeção instrumental, geralmente pôr termo visão, utilizando o termo visor. O termo visor mede a temperatura na superfície dos equipamentos, especialmente em locais de difícil acesso ou que ofereçam risco. Com base na temperatura medida, é possível entender melhor o que está ocorrendo dentro do equipamento. Esta técnica é aplicada para verificar pontos quentes em emendas e terminais durante horários de pico da carga no sistema. Além disso, a inspeção instrumental inclui

medição da resistência da malha de aterramento, que pode ser realizada com um alicate terrômetro sem a necessidade de abrir conexões.

Incidentes na rede subterrânea, embora raros, podem incluir a presença de fumaça ou fogo nas câmaras subterrâneas devido a sobrecargas ou curto-circuito. Cabos de baixa tensão são projetados para se romperem durante um curto-circuito, evitando a propagação do problema. Existe também o risco de deslocamento abruptos de tampas de bueiro das câmaras transformadoras e caixas de inspeção devido a explosões internas.

Durante o ano de 2022 na área estudada, não houve problemas com queima ou troca de equipamentos na rede subterrânea. Os custos foram relacionados apenas à manutenção preventiva, realizada semestralmente por uma equipe de quatro funcionários capacitados. O custo de manutenção corresponde ao salário dos empregados durante o período de inspeção, que dura aproximadamente 5 dias a cada 6 meses, totalizando 10 dias de inspeção em 2022.

Os dados analisados referem-se a 15 km de redes subterrâneas com transformadores do tipo pedestal. A tabela 18 apresenta os custos de manutenção para rede subterrânea durante o ano de 2022.

*Tabela 18: Custos Totais de Manutenção Rede Subterrânea*

| Descrição do Serviço | Custo Total (R\$) | Custo por km de Rede (R\$) |
|----------------------|-------------------|----------------------------|
| Inspeção Preventiva  | 2.234,10          | 148,94                     |
| <b>Total</b>         | <b>2.234,10</b>   | <b>148,94</b>              |

*Fonte: CEMIG*

## CONCLUSÕES

Este trabalho abordou a implementação de Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS) em condomínios fechados, uma solução tecnológica que tem se destacado em empreendimentos de alto padrão no Brasil. A pesquisa realizada demonstrou que, apesar do custo inicial elevado, as RDS oferecem vantagens significativas em termos de estética urbana, confiabilidade e segurança no fornecimento de energia, especialmente quando comparadas às Redes de Distribuição Aéreas (RDA).

A análise técnica evidenciou que as RDS são menos suscetíveis a interrupções causadas por fatores externos, como intempéries e interferências de vegetação, o que resulta em uma menor necessidade de manutenção preventiva e corretiva. Além disso, a ausência de elementos visuais como postes e cabos aéreos contribui para a valorização estética das áreas urbanas, alinhando-se às expectativas de um público que valoriza a integração harmoniosa entre infraestrutura e paisagem.

Ao longo deste estudo, foi possível verificar que as RDS não são apenas uma opção viável, mas uma necessidade crescente em um cenário onde a urbanização e a demanda por soluções energéticas sustentáveis avançam rapidamente. A implementação de RDS em condomínios fechados, como observado no caso específico da área sob concessão da CEMIG, evidencia o potencial transformador dessa tecnologia, que não só melhora a qualidade do serviço prestado, mas também agrega valor aos imóveis e aos próprios empreendimentos.

No entanto, o estudo também destacou os desafios que acompanham a adoção de RDS, especialmente no que se refere ao alto custo inicial de implantação e às complexidades técnicas envolvidas. A necessidade de um planejamento detalhado e de um cumprimento rigoroso das normas e regulamentações vigentes foi outro ponto crucial identificado, sendo essencial para garantir a eficiência e a longevidade das redes instaladas.

Além das considerações técnicas, a comparação entre experiências internacionais demonstrou que, embora as RDS sejam amplamente adotadas em países desenvolvidos, sua implementação em países como o Brasil requer adaptações específicas às condições locais. A transferência de conhecimento e tecnologia, associada a políticas públicas de incentivo e financiamento, pode ser um caminho para tornar as RDS mais acessíveis e economicamente viáveis em um contexto nacional mais amplo.

Para trabalhos futuros, é recomendável que se aprofundem as análises de viabilidade econômica das RDS, não apenas em condomínios de alto padrão, mas também em diferentes tipos de empreendimentos, como áreas urbanas de médio porte e zonas rurais. A investigação de novas tecnologias de materiais, como cabos mais resistentes e métodos de instalação menos invasivos, poderia contribuir para a redução dos custos iniciais de implementação. Além disso, estudos focados na sustentabilidade ambiental das RDS, considerando a redução da pegada de carbono associada à manutenção e operação de sistemas elétricos mais eficientes, são de grande relevância.

Outro aspecto que merece atenção em pesquisas futuras é a integração das RDS com outras tecnologias emergentes, como a automação de redes e a incorporação de fontes de energia renovável, o que poderia potencializar ainda mais os benefícios dessas redes em termos de eficiência energética e redução de impactos ambientais. Além disso, a avaliação dos impactos socioeconômicos da substituição de redes aéreas por subterrâneas em comunidades urbanas densamente povoadas poderia fornecer insights valiosos sobre como essas mudanças afetam a vida dos moradores e o desenvolvimento local.

Em síntese, este trabalho contribuiu para uma compreensão mais ampla das RDS como uma solução tecnológica de ponta, que, embora ainda enfrentando desafios significativos, oferece uma gama de benefícios que justifica sua adoção em cenários específicos. A continuidade dessa linha de pesquisa e a implementação de novos estudos são essenciais para que possamos explorar plenamente o potencial das RDS e promover um avanço sustentável na infraestrutura elétrica urbana do Brasil.

## REFERENCIAS

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. **Quem Somos**. Disponível em <http://www.abradee.com.br/abradee/quem-somos>. Acesso 18 janeiro 2024.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **A ANEEL**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso 14 janeiro 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 5410 Instalações Elétricas de Baixa Tensão**.

BOCCUZI, C. V.; BRUNHEROTO, P. A.; MARTINS, M. J. et al. **Implantação de Redes Subterrâneas em Condomínios Residenciais**. *Eletricidade Moderna*. v 25, n. 275, fev. 1997.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Manual de Distribuição – N.D 2.3 – Instalações Básicas de Redes de Distribuição Subterrâneas**. Novembro de 2006. Disponível em: [http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Cientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/nd5\\_5\\_000001p.pdf](http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Cientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/nd5_5_000001p.pdf). Acesso 26 maio 2024.

**Manual de Distribuição – N.D 3.3 – Projetos de Redes de Distribuição Subterrâneas**. Dezembro de 2014. Disponível em: [http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Cientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/nd5\\_5\\_000001p.pdf](http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Cientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/nd5_5_000001p.pdf) . Acesso em 27 maio 2024.

**Manual de Distribuição – N.D 3.5 – Projetos de Redes de Distribuição Subterrâneas para Atendimento a Condomínios e Loteamentos**. Outubro de 2016. Disponível em [http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Cientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/nd5\\_5\\_000001p.pdf](http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Cientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/nd5_5_000001p.pdf). Acesso 03 junho 2024.

LMDM C.E. **A Transformação das Redes de Distribuição de Energia Aéreas em Subterrâneas**. Disponível em <http://www.lmdm.com.br/wp-content/uploads/2014/10/Estudo-Redes-A%C3%A9reas-x-ubterr%C3%A2neas.pdf>. Acesso 03 junho 2024.

SARDETTO, E. **Avaliação Técnica, Econômica e de Impacto Ambiental da Implantação das Redes Compactas Protegidas em Maringá**. 71 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

VELASCO, G. Del N. **Arborização Viária X Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Avaliação dos Custos, Estudo das Podas e Levantamento de Problemas Fito técnicos**. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.