

**CENTRO PAULA SOUZA
ETEC PHILADELPHO GOUVÊA NETO
Técnico em Eletrotécnica**

**Pedro Henrique Pimentel Alves
Paulo André Sorren
Giuliano Henrique Quadro dos Santos**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
EM INSTALAÇÕES RESIDENCIAIS**

**São José do Rio Preto
2025**

Pedro Henrique Pimentel Alves
Paulo André Sorren
Giuliano Henrique Quadro dos Santos
Miguel Miranda Biar Francisco

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES RESIDENCIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso Técnico em
Eletrotécnica da Etec Philadelpho Gouvêa
Netto, orientado pelo Prof. Mario Kenji
Tamura, como requisito parcial para
obtenção do título de técnico em
Eletrotécnica.

São José do Rio Preto
2025

Dedicatória

Dedicamos primeiro à Deus por ter nos mantido na trilha certa durante o período do curso, com saúde e forças para chegarmos até o final.

Dedicamos também às nossas famílias pelo apoio que sempre nos deram durante toda a jornada de curso.

Agradecimentos

A todos os professores do Curso Técnico em Eletrotécnica, que foram tão importantes na nossa vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho de conclusão.

Deixamos um agradecimento especial aos nossos orientadores pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao nosso trabalho de conclusão.

Também queremos agradecer à Escola Técnica Estadual Philadelpho Gouvêa Neto e a todos os professores e funcionários pela dedicação e empenho.

"Não creio que haja uma emoção mais intensa para um inventor do que ver suas criações funcionando"

Nikola Tesla

Resumo

Este Trabalho de Conclusão consiste no desenvolvimento de um projeto detalhado para o dimensionamento elétrico, o qual é essencial para garantir a segurança, eficiência e adequação às necessidades energéticas do ambiente. Esse processo envolve o cálculo preciso da demanda de energia, considerando aparelhos, iluminação e demais equipamentos instalados, além da definição adequada dos circuitos e materiais elétricos, de forma a evitar sobrecargas, curtos-circuitos e desperdícios.

A NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) orienta as condições mínimas necessárias para o correto dimensionamento e execução das instalações, assegurando conformidade técnica e proteção à vida e ao patrimônio. O cumprimento dessa norma é essencial para garantir a qualidade e a segurança das instalações elétricas residenciais, especialmente em projetos de ampliação ou reforma.

Este trabalho também aborda conceitos de eficiência energética, explorando o impacto do uso racional da eletricidade e a aplicação de tecnologias sustentáveis, como sistemas fotovoltaicos. Além disso, são discutidas as principais causas de perdas de energia e apresentadas medidas de otimização do consumo, que contribuem para a redução de custos e aumento da sustentabilidade da instalação.

Por meio da análise técnica e dos cálculos de dimensionamento, o estudo demonstra que a correta aplicação das normas e das práticas de eficiência energética pode resultar em uma redução significativa no consumo elétrico e em melhor desempenho do sistema residencial.

Palavras-chave: Dimensionamento Elétrico; Eficiência Energética; Instalações Residenciais; NBR 5410; Sustentabilidade; Energia Solar Fotovoltaica.

Abstract

This Final Course Project presents the development of a detailed design for electrical sizing, which is essential to ensure safety, efficiency, and adequacy to the energy needs of the environment. This process involves the precise calculation of energy demand, considering appliances, lighting, and other installed equipment, as well as the proper definition of electrical circuits and materials, in order to prevent overloads, short circuits, and energy waste.

The NBR 5410 standard (Low-Voltage Electrical Installations) establishes the minimum conditions required for the correct design and execution of electrical systems, ensuring technical compliance and protection of life and property. Compliance with this standard is crucial to guarantee the quality and safety of residential electrical installations, especially in expansion or renovation projects.

This study also addresses concepts of energy efficiency, exploring the impact of the rational use of electricity and the application of sustainable technologies, such as photovoltaic systems. In addition, it discusses the main causes of energy losses and presents measures to optimize consumption, contributing to cost reduction and increased sustainability of the installation.

Through technical analysis and electrical sizing calculations, the study demonstrates that the correct application of standards and energy efficiency practices can result in a significant reduction in power consumption and improved performance of the residential system.

Keywords: Electrical Sizing; Energy Efficiency; Residential Installations; NBR 5410; Sustainability; Photovoltaic Solar Energy.

LISTA DE IMAGENS

Imagen 1 - Causadores de acidentes por choque elétrico

Imagen 2 - Localização

Imagen 3 - Fachada

Imagen 4 - Tamanho de cabos ilustrativos

Imagen 5 - Planta baixa da residência com distribuição elétrica (AutoCAD) e imagem do local

Imagen 6 - Diagrama unifilar da instalação elétrica residencial

Imagen 7 - Ilustrações de ferramentas

Imagen 8 - Desativação do quadro de força e luz (QFL) antigo

Imagen 9 - Definição do novo local para o quadro de força e luz (QFL)

Imagen 10 - Início do processo de corte da alvenaria

Imagen 11 - Detalhe do corte na parede e laje

Imagen 12 - Instalação dos eletrodutos

Imagen 13 - Desafio da proximidade com a tubulação de água

Imagen 14 - Desafio na passagem da fiação

Imagen 15 - Chumbamento da caixa de passagem

Imagen 16 - Acabamento com massa corrida

Imagen 17 - Instalação das novas tomadas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das lâmpadas

Tabela 2 - Consumo energético

Tabela 3 - Quadro de Levantamento de Cargas

Tabela 4 - Resumo do Cálculo de Demanda

Tabela 5 - Área da seção transversal dos condutores

Tabela 6 - Dimensionamento dos eletrodutos por circuito

Tabela 7 - Verificação da capacidade dos eletrodutos selecionados

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 Objetivo Geral	15
1.3.1 Objetivos Específicos	15
1.3.2 Referencial teórico	15
1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.4.1 O que é Eficiência Energética?.....	18
1.4.2 NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão	18
1.4.2 NBR 5419:2015 – Proteção contra Descargas Atmosféricas	19
1.4.3 Principais Perdas de Energia em Residências.....	19
1.5 segurança e os perigos da eletricidade	20
1.5.1 Maiores causadores de acidentes por choque elétrico em área residencial	20
1.5.2 A atenção e alertas de riscos elétricos	22
2. DESENVOLVIMENTO	24
2.1 MATERIAIS E MÉTODOS	26
2.1.1 Tipo de Pesquisa.....	26
2.1.2 Metodologia de Análise	27
2.1.3 Levantamento de Cargas e Perfil de Consumo.....	28
2.1.4 Medições e Estimativas de Consumo.....	28
2.2. CÁLCULOS E ANÁLISES DE PERDAS ENERGÉTICAS	29
2.2.1 Queda de Tensão.....	29
2.2.1 Estudo de caso simplificado de queda de tensão.....	30
2.2.3 Fator de Potência.....	32
3. TECNOLOGIAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA RESIDENCIAL	33
3.1 Iluminação LED e Sistemas Inteligentes	33

3.2 Equipamentos de Climatização Eficientes	34
3.3 Eletrodomésticos com Alta Classificação Energética	34
4. CÁLCULOS E PERDAS ENERGÉTICAS.....	35
4.1 Critérios de Dimensionamento de Condutores.....	35
4.2 Análise Comparativa de Tecnologias.....	36
4.3 Avaliação Econômica.....	37
4.3.1 Valor Presente Líquido (VPL).....	37
4.3.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)	37
4.4 Estudo de Caso: Dimensionamento Elétrico e Cálculo de Demanda	38
4.5 Levantamento e Classificação das Cargas	40
4.5.1 Cálculo da Demanda Elétrica (Norma GED-13).....	43
4.6 Processo de Execução da Instalação	44
a) Demanda de Iluminação e Tomadas de Uso Geral (TUGs).....	60
b) Demanda da Máquina de Lavar	60
c) Demanda de Chuveiros Elétricos.....	60
d) Demanda de Aparelhos de Ar-Condicionado.....	60
e) Demanda de Motores	61
4.7 Demanda Total.....	61
4.7.1 Resumo e Fator de Demanda Global	61
4.8 Dimensionamento de Eletrodutos	62
4.8.1 Critérios Normativos para Taxa de Ocupação.....	62
4.8.2 Área da Seção Transversal dos Condutores	62
4.8.3 Metodologia de Cálculo.....	62
4.8.4 Dimensionamento por Circuito.....	63
4.8.5 Verificação da Conformidade	64
4.8.6 Considerações Técnicas Adicionais.....	64
5. DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO	64
5.1 Dimensionamento de Condutores	65
5.2 Seleção de Dispositivos de Proteção.....	65

5.3 Queda de Tensão	66
5.4 Perdas por Efeito Joule	67
5.5 Análise Comparativa de Tecnologias	67
6. FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS	68
6.1 Softwares	68
6.1.2 Ferramentas e Equipamentos	69
6.2 Normas Técnicas e Regulamentações	70
6.3 Manuais Técnicos e Catálogos de Fabricantes	71
6.3.1 Dados de Irradiação Solar	72
6.3.2. Tarifas da Concessionária	72
6.3.3 Medições Diretas em Campo (quando aplicável)	72
7. REFERÊNCIAS	75
8. Sugestões	73

1.0 INTRODUÇÃO

A eficiência energética em instalações residenciais representa um tema de extrema relevância no cenário atual brasileiro e mundial.

1.1 JUSTIFICATIVA

A eficiência energética em instalações residenciais representa um tema de extrema relevância no cenário atual brasileiro e mundial. O crescimento populacional, o aumento do poder aquisitivo e a expansão do parque de eletrodomésticos têm contribuído para o incremento constante da demanda energética no setor residencial. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2023, o consumo residencial de energia elétrica no Brasil cresceu 3,2% em relação ao ano anterior, evidenciando a necessidade urgente de medidas que promovam o uso racional da energia. Do ponto de vista econômico, a implementação de medidas de eficiência energética em residências pode resultar em reduções significativas nas contas de energia elétrica. Estudos do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) indicam que a adoção de práticas eficientes pode gerar economias de até 30% no consumo residencial, representando uma redução média de R\$ 150 a R\$ 300 mensais na conta de luz de uma família de classe média.

Essa economia é particularmente importante em um contexto de constantes aumentos tarifários e pressões inflacionárias sobre o orçamento familiar. Sob a perspectiva ambiental, a eficiência energética contribui diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a preservação dos recursos naturais. O setor elétrico brasileiro, embora predominantemente renovável, ainda possui uma parcela significativa de geração térmica, especialmente em períodos de estiagem.

A redução do consumo residencial diminui a necessidade de acionamento dessas usinas térmicas, contribuindo para a sustentabilidade do sistema elétrico nacional.

Para o profissional técnico em eletrotécnica, o domínio dos conceitos e práticas de eficiência energética representa uma competência essencial no mercado de trabalho atual. A crescente demanda por profissionais especializados em soluções sustentáveis e a regulamentação cada vez mais rigorosa do setor elétrico tornam este conhecimento um diferencial competitivo. Além disso, a capacidade de projetar e implementar sistemas eficientes contribui para a valorização profissional e para o desenvolvimento de uma carreira sólida na área.

O presente trabalho justifica-se também pela necessidade de consolidar e sistematizar o conhecimento técnico sobre eficiência energética residencial, oferecendo uma base teórica e prática para futuros profissionais da área. A abordagem integrada das normas técnicas, tecnologias disponíveis e aspectos econômicos proporciona uma visão holística do tema, essencial para a tomada de decisões fundamentadas em projetos reais.

1.2 OBJETIVOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como finalidade analisar e propor soluções de eficiência energética em instalações elétricas residenciais, buscando não apenas a redução do consumo de energia, mas também a melhoria da segurança e a promoção da sustentabilidade ambiental. Para isso, o estudo fundamenta-se em normas técnicas brasileiras, como a NBR 5410, e na aplicação de tecnologias inovadoras que possam ser incorporadas ao contexto habitacional de forma prática e eficaz. A eficiência energética em residências é um tema cada vez mais relevante, considerando a crescente demanda por energia e os desafios ambientais globais.

Nesse contexto, este trabalho visa identificar oportunidades de melhoria na eficiência energética em instalações elétricas residenciais, analisar as principais causas de desperdício de energia e riscos de segurança, e propor soluções técnicas e econômicas viáveis para reduzir o consumo de energia e melhorar a segurança.

A escolha desse tema para o Trabalho de Conclusão de Curso também se justifica pela relevância prática e profissional, uma vez que busca preparar o autor para o mercado de trabalho na área de instalação elétrica e projetos residenciais. Através desse estudo, pretende-se adquirir conhecimentos e habilidades específicas que permitam uma atuação eficaz e inovadora nesse segmento, contribuindo para a criação de soluções eficientes e sustentáveis para o setor.

Com isso, espera-se contribuir para a promoção da eficiência energética em residências, melhorando a qualidade de vida dos usuários e reduzindo os impactos ambientais associados ao consumo de energia. Além disso, o estudo pretende servir como base para futuras pesquisas e aplicações práticas na área de instalações elétricas residenciais, promovendo a inovação e a sustentabilidade no setor.

1.3 Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo principal estudar as condições de ineficiência presentes em instalações elétricas residenciais e apresentar soluções técnicas e tecnológicas capazes de otimizar o consumo energético, assegurando a conformidade normativa, a viabilidade econômica e os benefícios ambientais e sociais decorrentes da implementação das melhorias propostas.

1.3.1 Objetivos Específicos

De maneira mais detalhada, o trabalho busca identificar as principais causas de ineficiência energética em instalações residenciais, considerando aspectos técnicos e práticos que comprometem o desempenho e elevam o consumo. Além disso, pretende analisar a aplicação das normas brasileiras, com destaque para a NBR 5410:2004 e a NBR 5419:2015, como referências essenciais para garantir segurança e eficiência. A pesquisa também se propõe a propor medidas técnicas e a utilização de tecnologias modernas, como iluminação em LED, sistemas fotovoltaicos e climatização eficiente, capazes de otimizar o uso de energia elétrica. Nesse contexto, será desenvolvido um estudo de caso prático que demonstre a aplicação das soluções apresentadas em um cenário residencial real ou simulado, acompanhado do cálculo da viabilidade econômica das medidas propostas, com avaliação dos custos de implementação e do retorno financeiro. O aumento da segurança elétrica e a melhoria na qualidade de vida dos usuários, finalizando com a elaboração de um cronograma de implementação que organize, de forma estruturada e eficiente, todas as etapas necessárias para a execução das melhorias.

1.3.2 Referencial teórico

A história da instalação elétrica está diretamente ligada à descoberta e ao domínio da eletricidade. Desde a Antiguidade, o homem já observava fenômenos elétricos naturais, como a atração do âmbar esfregado em tecidos, registrada pelos gregos, mas foi apenas a partir do século XVII que a eletricidade começou a ser estudada de maneira científica. William Gilbert, médico da rainha Elizabeth I, é considerado um dos primeiros a analisar o magnetismo e os fenômenos elétricos, enquanto Benjamin Franklin, no século XVIII, demonstrou que os raios eram descargas elétricas atmosféricas através de seu famoso experimento com a pipa em 1752.

O passo seguinte veio com Alessandro Volta, que em 1800 inventou a pilha elétrica, possibilitando a geração de corrente contínua estável e abrindo caminho para as primeiras experiências práticas. Poucas décadas depois, Michael Faraday descobriu a indução eletromagnética, base de todo sistema de geração de energia elétrica. Foi graças a essa descoberta que se tornou possível transformar movimento mecânico em energia elétrica, o princípio usado até hoje em usinas.

No século XIX, Thomas Edison desenvolveu a lâmpada incandescente prática em 1879 e criou, em 1882, o primeiro sistema de distribuição de energia elétrica em Nova York. Esse sistema utilizava corrente contínua (CC), que funcionava bem em pequenas distâncias, mas era ineficiente para levar energia a locais mais afastados. É nesse ponto que entra Nikola Tesla, defendendo a corrente alternada (CA), que podia ser transmitida por longas distâncias com perdas muito menores. George

Westinghouse, empresário norte-americano, investiu na ideia de Tesla, enfrentando Edison em uma disputa conhecida como “Guerra das Correntes”. A vitória da corrente alternada permitiu a criação de grandes sistemas de transmissão e distribuição, modelo que predomina até hoje no mundo inteiro.

As primeiras instalações elétricas em edifícios eram extremamente rudimentares: fios de cobre nus passavam por conduítes de madeira ou eram sustentados por isoladores de porcelana. Essas instalações eram perigosas, causando curtos-circuitos e incêndios com frequência. Com o aumento do uso da energia elétrica, sobretudo para iluminação pública e depois para eletrodomésticos, surgiram as primeiras normas de segurança, introduzindo cabos isolados, fusíveis, disjuntores e aterramento.

No Brasil, a eletrificação urbana se intensificou no início do século XX, com destaque para cidades como São Paulo e Rio de Janeiro. A necessidade de padronização levou à criação de normas técnicas. A principal delas é a NBR 5410, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão e garante tanto a segurança dos usuários quanto a eficiência energética. Essa norma, atualizada pela última vez em 2004, define critérios para dimensionamento de condutores, limites de queda de tensão e formas de proteção contra sobrecorrentes, surtos e choques elétricos.

Com o avanço tecnológico, as instalações elétricas deixaram de ser apenas a distribuição de energia para lâmpadas e tomadas. Hoje, englobam sistemas complexos que incluem automação residencial, proteção contra descargas atmosféricas, dispositivos de proteção residual (DR), sistemas de energia solar fotovoltaica e equipamentos inteligentes que otimizam o consumo. Além disso, a eficiência energética se tornou prioridade, visando reduzir desperdícios, garantir economia e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Assim, a instalação elétrica é fruto de séculos de descobertas científicas e evoluções técnicas. De fios nus em conduítes de madeira até sistemas inteligentes com energia

renovável, ela representa a aplicação prática de um conhecimento que transformou radicalmente a vida humana, tornando a eletricidade um dos pilares da sociedade moderna.

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a otimização dos recursos naturais tem impulsionado a busca por soluções que promovam o uso consciente da energia em diversos setores. No contexto residencial, a eficiência energética emerge como um pilar fundamental para a redução de custos, a minimização do impacto ambiental e a melhoria da qualidade de vida. Instalações elétricas ineficientes não apenas resultam em desperdício de energia e aumento nas contas de luz, mas também podem comprometer a segurança dos usuários e a durabilidade dos equipamentos.

No Brasil, o consumo de energia elétrica residencial tem apresentado um crescimento constante. De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o setor residencial representou aproximadamente 29% do consumo total de energia elétrica do país em 2023, sendo o segundo maior consumidor, atrás apenas do setor industrial.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) têm enfatizado a necessidade de medidas de eficiência para garantir a segurança do suprimento e a modicidade tarifária. A otimização do uso da energia em residências, portanto, não é apenas uma questão individual, mas uma estratégia nacional para a sustentabilidade energética.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo explorar a fundo o conceito de eficiência energética aplicado a instalações elétricas residenciais. Serão abordados os princípios que regem o consumo eficiente de energia, as normas técnicas brasileiras que regulamentam o setor, como a NBR 5410:2004 para instalações de baixa tensão e a NBR 5419:2015 para proteção contra descargas atmosféricas.

Além disso, o trabalho detalhará as principais causas de perdas energéticas em residências, como o efeito Joule, a queda de tensão e o baixo fator de potência, e apresentará medidas e tecnologias inovadoras que podem ser implementadas para otimizar o consumo de energia. Serão discutidas soluções que vão desde a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica e o uso de equipamentos de climatização eficientes, até a melhoria do isolamento térmico e a adoção de iluminação LED e sistemas inteligentes.

O estudo visa fornecer um panorama abrangente e prático sobre como a eficiência energética pode ser alcançada em ambientes residenciais, oferecendo um guia para estudantes, profissionais e proprietários de imóveis interessados em tornar suas instalações elétricas mais seguras, econômicas e sustentáveis. A linguagem técnica e profissional será mantida ao longo de todo o trabalho, garantindo a clareza e a adequação para a apresentação final, com a inclusão de dados e referências atualizadas que refletem a realidade do mercado atual. Um estudo de caso prático será desenvolvido para ilustrar a

aplicação das medidas propostas e quantificar os benefícios esperados, reforçando a relevância e aplicabilidade do tema.

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.4.1 O que é Eficiência Energética?

A eficiência energética pode ser entendida como a capacidade de realizar a mesma tarefa utilizando menos energia. Em outras palavras, é quando conseguimos obter o mesmo resultado – como acender uma lâmpada ou climatizar um ambiente – gastando menos eletricidade. No contexto residencial, esse conceito envolve tanto a escolha de equipamentos modernos e econômicos quanto o uso consciente por parte dos moradores.

É importante diferenciar eficiência de conservação de energia. Enquanto a conservação está ligada à redução do consumo por meio de mudanças de comportamento, como desligar aparelhos da tomada ou evitar banhos longos, a eficiência energética busca manter ou até melhorar o nível de conforto e funcionalidade por meio de inovações tecnológicas, como iluminação em LED ou sistemas de climatização inteligentes.

Do ponto de vista técnico, a eficiência está associada à otimização de sistemas elétricos, de iluminação e de climatização. Já sob o aspecto econômico, ela envolve analisar se os investimentos feitos em melhorias realmente compensam no bolso do consumidor. Finalmente, do ponto de vista ambiental, sua relevância está na redução dos impactos da geração de energia, como a emissão de gases de efeito estufa.

Na prática, indicadores como o consumo específico por metro quadrado (kWh/m^2), o consumo per capita (kWh/habitante) ou ainda a intensidade energética em relação à renda familiar permite avaliar e comparar o desempenho energético de diferentes residências.

1.4.2 NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão

A norma NBR 5410 é uma das mais importantes no Brasil quando falamos de segurança e desempenho em instalações residenciais. Ela define regras que vão desde o dimensionamento correto dos cabos até os limites de queda de tensão aceitáveis. Isso significa que, ao segui-la, evitamos problemas como aquecimento

dos condutores, falhas em equipamentos e desperdício de energia por perdas no sistema.

Por exemplo, ao especificar que a queda de tensão não deve ultrapassar 4% entre o ponto de entrega da concessionária e os equipamentos, a norma garante que aparelhos funcionem de forma eficiente, evitando sobrecargas e prolongando sua vida útil. Além disso, recomenda a divisão de circuitos de acordo com o tipo de carga, o que facilita o controle e possibilita estratégias mais eficazes de economia.

1.4.2 NBR 5419:2015 – Proteção contra Descargas Atmosféricas

Embora não esteja diretamente ligada à eficiência energética, essa norma também exerce papel essencial. A NBR 5419 trata da proteção de estruturas contra raios e surtos elétricos, evitando danos em equipamentos eletrônicos sensíveis, como inversores de energia solar e sistemas de automação residencial. Em outras palavras, ela ajuda a preservar investimentos feitos em tecnologias modernas e eficientes, evitando substituições precoces que representariam custos extras e desperdício de recursos.

1.4.3 Principais Perdas de Energia em Residências

As residências sofrem com diferentes formas de desperdício energético. Entre elas, destacam-se:

Perdas por efeito Joule: ocorrem quando a corrente elétrica percorre os cabos, gerando calor. Quanto menor a seção do condutor e maior a corrente, maiores serão as perdas. Por isso, escolher corretamente o tipo e a espessura dos fios é essencial.

Queda de tensão: quando a energia chega com uma tensão inferior à necessária, os equipamentos consomem mais corrente para compensar, aumentando a conta de luz.

Baixo fator de potência: equipamentos como geladeiras e ar-condicionado, que usam motores, podem consumir energia de forma ineficiente. A instalação de capacitores é uma forma de corrigir esse problema.

1.5 segurança e os perigos da eletricidade

É importante ressaltar que um único acidente elétrico (seja por incêndio de origem elétrica ou por descarga atmosférica) pode resultar em múltiplas vítimas. Embora a ocorrência de acidentes com múltiplas vítimas por choque elétrico seja menos frequente, ela ainda é possível e merece atenção.

No Brasil, há uma limitação significativa na disponibilidade de organismos que publiquem dados específicos sobre acidentes de origem elétrica. Além disso, as informações existentes costumam ser generalizadas e, em alguns casos, desatualizadas.

A Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (Abracopel) é atualmente a principal fonte de dados detalhados, apresentando estatísticas segmentadas por local, tipo de ocorrência, grau de fatalidade, entre outros fatores.

Outras instituições, como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) e a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), também fornecem informações relevantes. No entanto, cada uma atua em segmentos específicos — o INPE através do ELAT, voltado às descargas atmosféricas; a ABRADEE, no monitoramento das redes de distribuição; e o DATASUS, com registros mais genéricos sobre acidentes elétricos.

Essas bases de dados, apesar das limitações, complementam as informações da Abracopel e permitem uma análise mais ampla e consistente sobre os riscos e impactos dos acidentes elétricos no Brasil, reforçando a importância de projetos elétricos seguros, bem dimensionados e em conformidade com as normas técnicas vigentes.

1.5.1 Maiores causadores de acidentes por choque elétrico em área residencial

Os acidentes elétricos em ambientes residenciais, conforme demonstrado nos relatórios da Abracopel, estão frequentemente relacionados à má conservação das instalações elétricas e ao contato acidental com partes energizadas. Um exemplo recorrente é o de varais metálicos energizados, que, ao serem tocados, permitiram a passagem de corrente elétrica pelo corpo, resultando em choques fatais. Em

alguns casos, mais de uma vítima foi registrada quando outra pessoa tentou prestar socorro sem o devido isolamento elétrico.

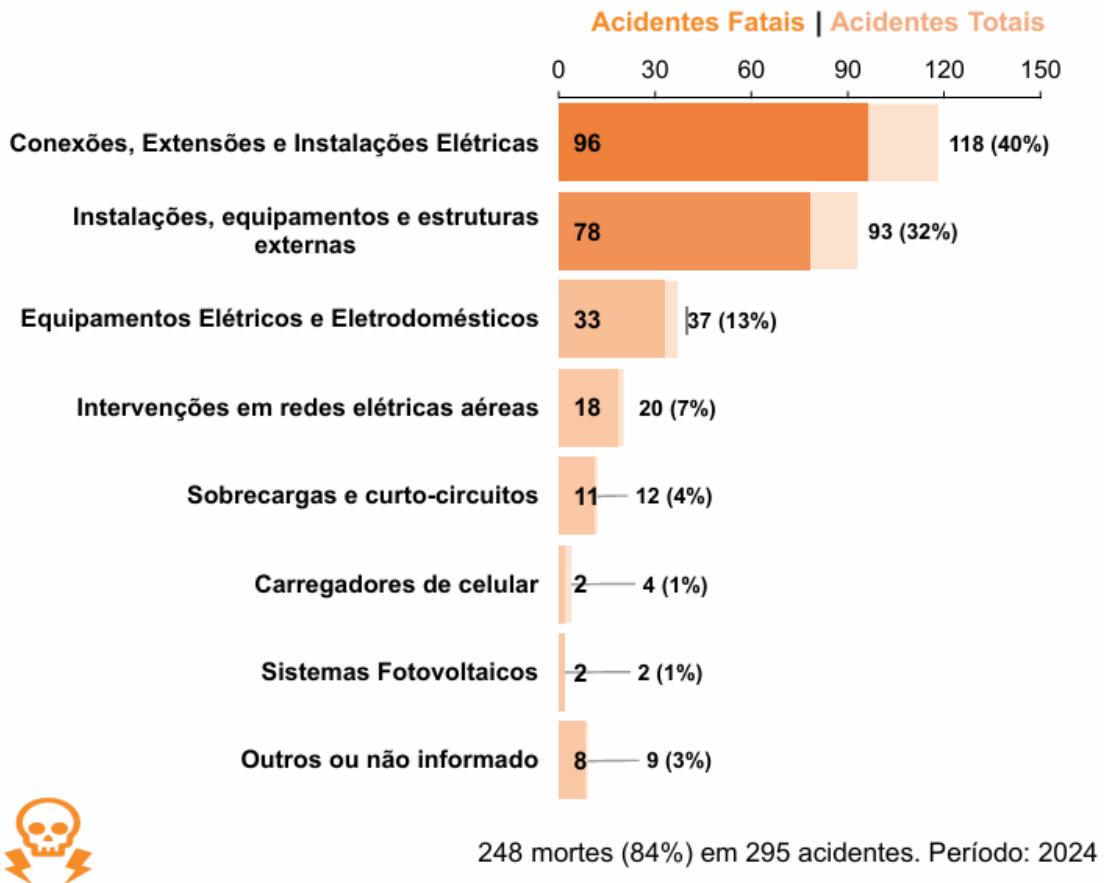
Outro fator de destaque está relacionado aos acidentes envolvendo máquinas de lavar e outros eletrodomésticos, incluídos na categoria de “eletrodomésticos/eletroeletrônicos”. A manutenção doméstica inadequada, realizada por pessoas sem qualificação técnica, também aparece como uma das principais causas de acidentes — foram 40 ocorrências registradas, das quais 32 resultaram em óbito.

Além disso, as instalações elétricas internas, especialmente o uso incorreto de benjamins, extensões e tomadas, representaram 46 ocorrências, com 40 mortes confirmadas. Esses números evidenciam a gravidade da falta de segurança e da ausência de dispositivos de proteção nas residências.

A presença do Dispositivo Diferencial Residual (DR) é considerada um dos meios mais eficazes de prevenção desse tipo de acidente. Desde 1997, sua instalação é obrigatória segundo a norma técnica ABNT NBR 5410, que estabelece critérios para proteção contra choques elétricos em instalações de baixa tensão.

No entanto, ainda é comum a falta de instalação desse dispositivo, seja por desconhecimento dos proprietários, seja por negligência de profissionais, que não enfatizam a importância do DR para a segurança das instalações elétricas domésticas.

Imagen 1 - causadores de acidentes por choque elétrico



Fonte: (abracopel, 2024)

1.5.2 A atenção e alertas de riscos elétricos

A atenção aos riscos elétricos é um dos aspectos mais importantes para garantir a segurança nas instalações e nos trabalhos em eletricidade. A falta de cuidado ou o descumprimento das normas de segurança pode transformar pequenas falhas em acidentes graves. Por isso, é fundamental que o profissional mantenha uma postura preventiva, observando o ambiente, as condições dos equipamentos e o uso correto dos equipamentos de proteção individual (EPIs).

Nos casos de choque elétrico, a condição física da vítima é determinante para a gravidade do acidente. Se a pessoa estiver com ferimentos, cortes ou pele úmida, sua resistência

elétrica corporal diminui, facilitando a passagem da corrente elétrica e elevando o risco de lesões graves ou fatais. Em situações em que a pele está seca e íntegra, a resistência é maior, reduzindo a intensidade da corrente e, consequentemente, os danos.

O uso adequado dos EPIs — como luvas isolantes, calçados apropriados e vestimentas de proteção — é indispensável para reduzir os efeitos de um possível choque elétrico. Esses equipamentos atuam como barreiras de segurança, diminuindo a intensidade da corrente e muitas vezes impedindo que o acidente se torne fatal. Assim, o uso contínuo e correto dos EPIs deve ser visto como parte essencial da rotina profissional e da cultura de segurança no setor elétrico (BORTOLUZZI, 2009).

Além disso, as sinalizações e os alertas de risco elétrico — como placas de advertência, etiquetas e avisos visuais — exercem um papel fundamental na prevenção de acidentes. Elas informam sobre áreas energizadas, tensões perigosas e procedimentos que exigem cuidado redobrado, auxiliando na conscientização tanto dos profissionais quanto dos usuários de ambientes residenciais e industriais.

A figura a seguir apresenta um exemplo de placa de advertência sobre risco de choque elétrico, acompanhada da imagem de um técnico em eletrotécnica utilizando um multímetro na etapa final de uma instalação, demonstrando a importância da atenção constante e do uso dos EPIs durante as atividades elétricas.

Imagen – placas de sinalização



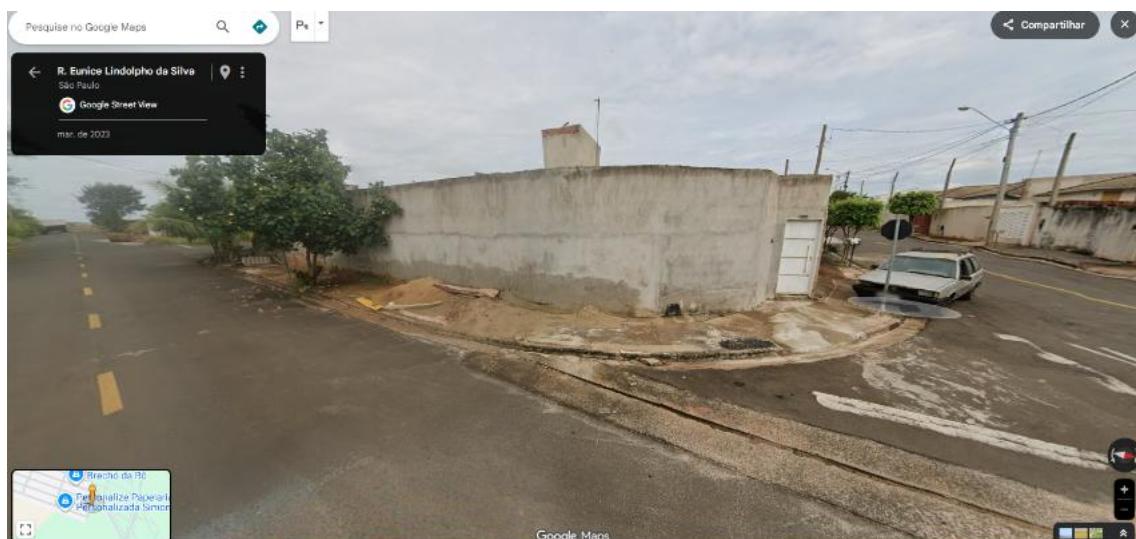
Fonte: (Rota de fuga, 2023)

2. DESENVOLVIMENTO

Imagen 2 - Localização



Imagen 3 - Fachada



Localização: R. Mário Tozato, 1794 - São José do Rio Preto

Coordenadas: -20.775392, -49.314762

FONTE: <https://maps.app.goo.gl/2PQPoUZPKSuXNTSq6> (google maps)

2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1.1 Tipo de Pesquisa

Este trabalho de conclusão de curso adota uma abordagem metodológica robusta, caracterizada por uma pesquisa de natureza aplicada, com um delineamento que integra aspectos quantitativos e qualitativos, e um caráter predominantemente descritivo e exploratório. Essa combinação de abordagens é fundamental para aprofundar a compreensão sobre a eficiência energética em instalações residenciais, permitindo tanto a análise de dados mensuráveis quanto a interpretação de fenômenos complexos e a proposição de soluções práticas.

A pesquisa aplicada tem como objetivo principal gerar conhecimentos para aplicação prática, visando a solução de problemas específicos. No contexto da eficiência energética em instalações residenciais, isso se traduz na identificação de ineficiências, na proposição de medidas corretivas e na avaliação de seu impacto real. Conforme Gil (2017), a pesquisa aplicada se distingue por seu foco na resolução de questões concretas, o que é diretamente alinhado com a finalidade deste estudo de oferecer soluções tangíveis para a otimização do consumo de energia em residências.

A abordagem quantitativa é empregada para analisar dados numéricos e estatísticos, permitindo a mensuração precisa de variáveis relacionadas ao consumo energético. Isso inclui o levantamento de cargas, as medições de consumo, os cálculos de perdas energéticas, o dimensionamento de sistemas elétricos e fotovoltaicos, e a análise de viabilidade econômica. A utilização de métodos quantitativos confere rigor e objetividade aos resultados,

possibilitando a quantificação dos benefícios das medidas propostas. Creswell (2010) destaca que a pesquisa quantitativa é ideal para testar teorias e estabelecer relações entre variáveis por meio de análises estatísticas.

Paralelamente, a abordagem qualitativa é utilizada para explorar e compreender fenômenos em profundidade, especialmente aqueles que não podem ser facilmente quantificados. Isso envolve a análise de normas técnicas, a avaliação de tecnologias disponíveis, a compreensão dos hábitos de consumo dos moradores e a interpretação dos benefícios ambientais e sociais das soluções de eficiência energética. A pesquisa qualitativa permite capturar nuances e contextos que enriquecem a análise quantitativa, oferecendo uma visão mais completa e holística do problema. Segundo Creswell (2010), a pesquisa qualitativa busca entender o significado que os indivíduos atribuem a um problema ou questão.

O caráter descritivo da pesquisa visa detalhar as características de um determinado fenômeno ou população. Neste trabalho, isso se manifesta na descrição minuciosa das instalações elétricas residenciais, dos equipamentos utilizados, dos padrões de consumo e das tecnologias de eficiência energética. A pesquisa descritiva, conforme Gil (2017), busca descrever as características de uma população ou fenômeno, o que é essencial para contextualizar o estudo de caso e as análises realizadas.

Por fim, o caráter exploratório é adotado para investigar um tema pouco conhecido ou para identificar novas perspectivas sobre um problema existente. No campo da eficiência energética residencial, isso pode envolver a exploração de novas tecnologias, a identificação de causas menos óbvias de desperdício de energia ou a proposição de abordagens inovadoras para a otimização do consumo. A pesquisa exploratória, de acordo com Gil (2017), tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis.

A relevância dessa abordagem combinada para o estudo da eficiência energética em residências reside na capacidade de fornecer uma análise abrangente e multifacetada. Ao integrar dados técnicos e econômicos com a compreensão dos aspectos comportamentais e contextuais, este estudo busca não apenas quantificar o potencial de economia de energia, mas também oferecer um guia prático e embasado para a implementação de soluções eficazes, contribuindo para a sustentabilidade e a economia no setor residencial brasileiro.

2.1.2 Metodologia de Análise

A metodologia de análise empregada neste trabalho foi estruturada para proporcionar uma avaliação abrangente e detalhada da eficiência energética em instalações residenciais, desde o diagnóstico inicial até a proposição e avaliação de soluções. As etapas a seguir descrevem o processo adotado, integrando aspectos técnicos, econômicos e normativos.

2.1.3 Levantamento de Cargas e Perfil de Consumo

O levantamento de cargas é a etapa inicial e crucial para compreender o perfil de consumo energético da residência. Consiste na identificação e quantificação de todos os equipamentos elétricos e eletrônicos presentes na instalação, bem como na estimativa de suas potências e tempos de utilização. Para cada aparelho, são registrados dados como tipo, quantidade, potência nominal (em Watts), e o tempo médio de uso diário ou mensal.

Este levantamento é fundamental para a determinação da demanda de energia da residência e para a identificação dos maiores consumidores, que serão o foco das medidas de eficiência energética. A NBR 5410:2004 [2] estabelece diretrizes para a previsão de cargas em instalações elétricas de baixa tensão, incluindo potências mínimas para iluminação e tomadas de uso geral (TUGs) e específico (TUEs).

Nota: O consumo mensal é calculado por:

$$(\text{Potência Unit.} \times \text{Quantidade} \times \text{Horas/dia} \times 30 \text{ dias}) / 1000.$$

2.1.4 Medições e Estimativas de Consumo

Para complementar o levantamento de cargas, são realizadas medições diretas do consumo de energia elétrica, quando aplicável, utilizando medidores de energia portáteis ou analisadores de energia. Essas medições permitem verificar o consumo real de equipamentos específicos ou de circuitos inteiros, validando as estimativas iniciais e identificando padrões de uso. Em casos onde a medição direta não é viável, a estimativa de consumo é refinada com base em dados de fabricantes, selos de eficiência (PROCEL/ INMETRO) e informações de consumo médio para equipamentos similares. A análise das faturas de energia elétrica da concessionária

local também é crucial para estabelecer o consumo histórico da residência e a tarifa aplicada.

2.2. CÁLCULOS E ANÁLISES DE PERDAS ENERGÉTICAS

2.2.1 Queda de Tensão

A queda de tensão em instalações elétricas representa outro fator importante que afeta a eficiência energética. Quando a tensão fornecida aos equipamentos é inferior à tensão nominal, muitos equipamentos compensam aumentando a corrente consumida, resultando em maior consumo de energia. A queda de tensão em um condutor é calculada pela fórmula: $\Delta V = \rho \times L \times I / S$

Onde:

- ΔV = queda de tensão (V)
- ρ = resistividade do material condutor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
- L = comprimento do condutor (m)
- I = corrente elétrica (A)
- S = seção transversal do condutor (mm^2)

Para circuitos trifásicos, deve-se considerar o fator $\sqrt{3}$ e o fator de potência da carga. A NBR 5410:2004 estabelece limites máximos de queda de tensão para garantir o funcionamento adequado dos equipamentos.

A queda de tensão é um fenômeno que ocorre em instalações elétricas quando a tensão disponível nos pontos de consumo é inferior à tensão nominal da fonte. Esse problema é causado principalmente pela resistência dos condutores e pela distância percorrida pela corrente elétrica. Embora uma certa queda de tensão seja inevitável, valores excessivos podem comprometer o desempenho dos equipamentos elétricos, reduzir sua vida útil e, consequentemente, gerar ineficiência energética e aumento no consumo. Em instalações residenciais, a queda de tensão pode ser percebida por meio de lâmpadas que brilham menos, motores que funcionam com menor potência ou eletrodomésticos que demoram mais para realizar suas funções. As causas

comuns incluem o dimensionamento incorreto da seção transversal dos cabos, linhas de alimentação muito longas sem a bitola adequada, e conexões frouxas ou malfeitas nos quadros de distribuição e pontos de conexão. A NBR: estabelece limites máximos para a queda de tensão em diferentes pontos da instalação, visando garantir o bom funcionamento e a segurança do sistema. Para minimizar a queda de tensão e otimizar a eficiência energética, é crucial realizar um projeto elétrico detalhado que considere a distância entre o quadro de distribuição e os pontos de consumo, bem como a carga de cada circuito. O cálculo do baricentro da instalação, que identifica o ponto ideal para a localização do quadro de distribuição, é uma prática recomendada para reduzir as perdas. Além disso, a utilização de condutores com bitola adequada para a corrente e a distância, e a garantia de conexões elétricas firmes e de baixa resistência, são medidas essenciais para manter a tensão dentro dos limites aceitáveis e assegurar o desempenho ideal dos equipamentos.

2.2.1 Estudo de caso simplificado de queda de tensão

A queda de tensão (ΔV) é calculada pela fórmula $\Delta V = R * I$, onde R é a resistência total do condutor e I é a corrente que o percorre. A queda percentual é dada por $(\Delta V / V_{\text{nominal}}) * 100\%$.

Consideremos um circuito de iluminação em uma residência, com uma carga total de W (equivalente a lâmpadas LED de 100W cada) em 127V, resultando em uma corrente de aproximadamente 3,94A. A distância do quadro de distribuição até o ponto mais distante é de 30 metros.

Imagen 4 – tamanho de cabos ilustrativos

Cabo de 1,5 mm² (subdimensionado para longa distância): A resistência por metro para um cabo de 1,5 mm² é de aproximadamente 0,0121 Ω/m. Para 30 metros (ida e volta), a resistência total seria $2 * 30 * 0,0121 = 0,726 \Omega$.

- Queda de tensão (ΔV) = $R * I = 0,726 \Omega * 3,94 A \approx 2,86 V$.
- Queda percentual = $(2,86 V / 127 V) * 100\% \approx 2,25\%$.
- Embora este valor esteja dentro do limite de 4% para circuitos de iluminação da NBR 5410:2020, para circuitos mais críticos ou distâncias maiores, um cabo de 1,5 mm² poderia ser insuficiente.

Cabo de 2,5 mm² (dimensionamento adequado): A resistência por metro para um cabo de 2,5 mm² é de aproximadamente 0,0075 Ω/m. Para 30 metros (ida e volta), a resistência total seria $2 * 30 * 0,0075 = 0,45 \Omega$.

- Queda de tensão (ΔV) = $R * I = 0,45 \Omega * 3,94 A \approx 1,77 V$.
- Queda percentual = $(1,77 V / 127 V) * 100\% \approx 1,39\%$.
- A utilização do cabo de 2,5 mm² resulta em uma queda de tensão significativamente menor, garantindo melhor desempenho e maior vida útil para as lâmpadas.

Fonte: próprios autores

Tabela 1 - Comparativa de Queda de Tensão

Bitola do Cabo (mm ²)	Resistência Total (Ω)	Queda de Tensão (V)	Queda Percentual (%)
1,5	0,726	2,86	2,25
2,5	0,45	1,77	1,39

Gráfico ilustrativo da Queda de Tensão:

Um gráfico de linhas poderia mostrar a relação entre a queda de tensão (em porcentagem) e o comprimento do condutor para diferentes bitolas. Por exemplo, duas linhas seriam plotadas: uma para o cabo de 1,5 mm² e outra para o cabo de 2,5 mm². O eixo X representaria o comprimento do condutor em metros, e o eixo Y a queda de tensão em porcentagem. As linhas mostrariam que, para o mesmo comprimento, a queda de tensão é sempre menor para o cabo de maior bitola, e que a queda aumenta linearmente com o comprimento para ambas as bitolas.

2.2.3 Fator de Potência

O fator de potência é um indicador da eficiência com que a energia elétrica é utilizada em um sistema. Ele representa a relação entre a potência ativa (aquele que efetivamente realiza trabalho) e a potência aparente (a potência total fornecida pela concessionária). Um fator de potência baixo indica que uma parcela significativa da energia fornecida está sendo utilizada para criar campos magnéticos necessários ao funcionamento de certos equipamentos (potência reativa), e não para realizar trabalho útil. Em instalações residenciais, os principais equipamentos que contribuem para um baixo fator de potência são aqueles que possuem enrolamentos, como motores de geladeiras, máquinas de lavar, condicionadores de ar e transformadores.

Um baixo fator de potência acarreta diversas consequências negativas, tanto para o consumidor quanto para a concessionária. Para o consumidor, significa um aumento na conta de luz, pois a concessionária pode aplicar multas ou cobrar pela energia reativa excedente, conforme estabelecido pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) em sua Resolução nº 414/2010, que define o limite mínimo de fator de potência em 0,92. Para a concessionária, um baixo fator de potência resulta em sobrecarga nos cabos e transformadores, queda de tensão na rede e maior desgaste dos dispositivos de proteção e manobra, comprometendo a qualidade e a estabilidade do fornecimento de energia.

A correção do fator de potência em instalações residenciais é geralmente realizada por meio da instalação de bancos de capacitores em paralelo com a rede elétrica. Os capacitores fornecem a potência reativa necessária para os equipamentos, reduzindo a demanda por essa potência da rede da concessionária e, consequentemente, elevando o fator de potência para níveis aceitáveis. Além da instalação de capacitores, a escolha de equipamentos com alto fator de potência intrínseco e o dimensionamento correto das instalações contribuem para um uso mais eficiente da energia elétrica e para a redução das perdas associadas à potência reativa.

3. TECNOLOGIAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA RESIDENCIAL

3.1 Iluminação LED e Sistemas Inteligentes

A tecnologia LED (Light Emitting Diode) representa uma revolução na iluminação residencial, oferecendo eficiência energética superior às tecnologias convencionais. As lâmpadas LED consomem até 80% menos energia que as lâmpadas incandescentes e até 50% menos que as lâmpadas fluorescentes compactas.

Tabela 1 - descrição das lâmpadas

Tipo de Lâmpada	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Vida Útil (h)	Consumo Anual (kWh)
Incandescente	60	800	13,3	1000	131,4
Fluorescente Compacta	15	800	53,3	8000	32,9
LED	9	800	88,9	25000	19,7

Considerando 6 horas de uso diário

Os sistemas de iluminação inteligente permitem o controle automatizado da iluminação, ajustando a intensidade luminosa conforme a necessidade e a presença de pessoas no ambiente. Estes sistemas podem resultar em economias adicionais de 20% a 30% no consumo de energia para iluminação.

3.2 Equipamentos de Climatização Eficientes

Os equipamentos de climatização representam uma parcela significativa do consumo energético residencial, especialmente em regiões de clima quente. A escolha de equipamentos eficientes e o dimensionamento adequado são fundamentais para a otimização do consumo energético.

Tabela 2 - consumo energético

Equipamento	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Economia A vs D
Ar-condicionado (9.000 BTU/h)	0,85 kW	0,95 kW	1,05 kW	1,25 kW	32%
Refrigerador (300L)	35 kWh/mês	42 kWh/mês	48 kWh/mês	58 kWh/mês	40%
Máquina de lavar (10kg)	0,15 kWh/ciclo	0,18 kWh/ciclo	0,22 kWh/ciclo	0,28 kWh/ciclo	46%

3.3 Eletrodomésticos com Alta Classificação Energética

A escolha de eletrodomésticos com alta classificação energética, identificados pelo selo PROCEL e pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO, representa uma das estratégias mais eficazes para a redução do consumo energético residencial. Esses equipamentos são projetados com tecnologias que otimizam o uso da eletricidade, mantendo o mesmo nível de desempenho com menor gasto energético. Por exemplo, refrigeradores Classe A podem consumir até 40% menos energia em comparação com modelos de classificação inferior, enquanto máquinas de lavar e aparelhos de ar-condicionado eficientes podem reduzir o consumo em mais de 30%. Além do benefício econômico direto, essa escolha

contribui para a diminuição da sobrecarga no sistema elétrico e para a redução das emissões associadas à geração de energia. Cabe destacar que a etiquetagem do INMETRO fornece ao consumidor informações claras e padronizadas sobre o desempenho energético dos produtos, permitindo decisões de compra mais conscientes e alinhadas às práticas de sustentabilidade. Dessa forma, a adoção de eletrodomésticos com alta eficiência energética se torna não apenas uma medida de economia, mas também um elemento essencial para a promoção da eficiência energética em edificações residenciais.

4. CÁLCULOS E PERDAS ENERGÉTICAS

As perdas energéticas em instalações elétricas residenciais representam uma parcela significativa do consumo total e são um foco importante para a otimização.

4.1 Critérios de Dimensionamento de Condutores

O dimensionamento correto dos condutores elétricos é essencial para garantir a segurança, a eficiência e a durabilidade da instalação. Os critérios de dimensionamento seguem as diretrizes da NBR 5410:2004 e consideram:

Capacidade de Condução de Corrente (Ampacidade): O condutor deve ser capaz de suportar a corrente máxima do circuito sem superaquecimento. A NBR 5410

fornecer tabelas com a capacidade de condução de corrente para diferentes tipos de condutores, métodos de instalação e temperaturas ambiente.

Queda de Tensão: A queda de tensão no circuito não deve exceder os limites estabelecidos pela norma para garantir o bom funcionamento dos equipamentos.

Sobrecarga e Curto-circuito: O condutor deve ser protegido contra sobrecargas e curtos-circuitos por dispositivos de proteção (disjuntores), e sua seção deve ser compatível com a corrente de atuação desses dispositivos.

A potência pico (P_{pico}) necessária do sistema fotovoltaico é calculada por:

$$P_{\text{pico}} (\text{kWp}) = (\text{Consumo Mensal (kWh)} / 30 \text{ dias}) / (\text{Irradiação Média Diária (kWh/m}^2/\text{dia}) \times \text{Eficiência do Sistema})$$

Exemplo de Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico:

Para um consumo médio mensal de 450 kWh, irradiação solar média de 5.2 kWh/m²/dia e eficiência do sistema de 80%: Consumo diário necessário:

Com base na adequado. 450 kWh / 30 dias = 15 kWh/dia

Potência pico (P_{pico}): kWp 15 kWh/dia / (5.2 kWh/m²/dia × 0.80) = 15 / 4.16 ≈ 3.61 P_{pico} , seleciona-se a quantidade de módulos fotovoltaicos e o inversor adequado.

4.2 Análise Comparativa de Tecnologias

Esta etapa envolve a comparação técnica e econômica de diferentes tecnologias e soluções de eficiência energética aplicáveis a instalações residenciais. A análise abrange aspectos como desempenho, custo de aquisição, custo de operação, vida útil, impacto ambiental e retorno do investimento. Exemplos de tecnologias comparadas incluem:

Iluminação: Lâmpadas incandescentes, fluorescentes compactas (CFL) e LEDs, considerando fluxo luminoso (lúmens), potência (Watts), vida útil (horas) e eficiência luminosa (lúmens/Watt).

Eletrodomésticos: Comparativo de consumo energético entre aparelhos com diferentes classificações de eficiência (Selo PROCEL/INMETRO), como refrigeradores, máquinas de lavar e ar-condicionado.

Sistemas de Climatização: Análise de eficiência entre aparelhos de ar-condicionado convencionais e modelos com tecnologia inverter, considerando o Coeficiente de Performance (COP) ou o Índice de Eficiência Energética (IEE).

4.3 Avaliação Econômica

A viabilidade econômica das medidas de eficiência energética é avaliada utilizando indicadores financeiros que permitem quantificar o retorno do investimento. Os principais indicadores utilizados são:

O Payback simples é o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado através da economia gerada. É um indicador de fácil compreensão, mas não considera o valor do dinheiro no tempo. Payback (anos) = Investimento Inicial (R\$) / Economia Anual (R\$)

4.3.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é um método que calcula o valor presente dos fluxos de caixa futuros de um projeto, descontados a uma taxa mínima de atratividade (TMA). Se o VPL for positivo, o projeto é considerado economicamente viável. $VPL = \sum [FC_t / (1 + TMA)^t] - \text{Investimento Inicial}$ Onde:

FC_t é o fluxo de caixa no período t

TMA é a Taxa Mínima de Atratividade

t é o período de tempo

4.3.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa de desconto que torna o VPL de um projeto igual a zero. É a taxa de rentabilidade do investimento. Se a TIR for maior que a TMA, o projeto é considerado economicamente viável.

$$0 = \sum [FCt / (1 + TIR)^t] - \text{Investimento Inicial}$$

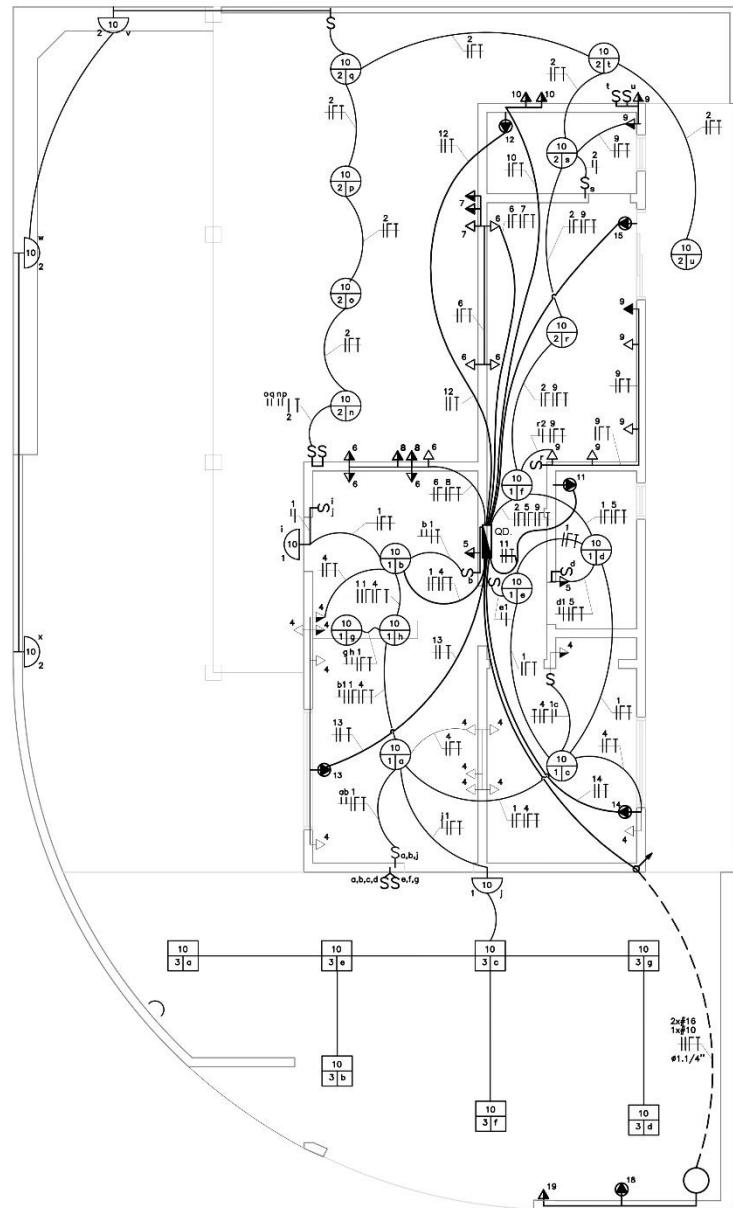
Esses indicadores, quando utilizados em conjunto, fornecem uma análise robusta da atratividade financeira dos projetos de eficiência energética, auxiliando na tomada de decisão. As tarifas de energia da concessionária local são um dado de entrada fundamental para o cálculo da economia gerada.

4.4 Estudo de Caso: Dimensionamento Elétrico e Cálculo de Demanda

Nesta seção, é detalhada a parte prática do projeto, que consiste no dimensionamento elétrico de uma unidade residencial com base na lista de cargas e na aplicação dos critérios para cálculo de demanda estipulados pela norma GED-13 da CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz). O objetivo é determinar a potência de demanda da instalação, que servirá de base para o correto dimensionamento do padrão de entrada de energia.

Para a realização do dimensionamento elétrico, elaborou-se a planta baixa da residência em software AutoCAD, permitindo a visualização da distribuição de circuitos e pontos de consumo. Essa representação gráfica auxilia na verificação da conformidade com a NBR 5410 e na identificação das cargas instaladas.

Imagen 6 - Planta baixa da residência com distribuição elétrica (AutoCAD) e imagem do local



Fonte: Autoria própria (2025).

4.5 Levantamento e Classificação das Cargas

O primeiro passo consiste em levantar todas as cargas elétricas da residência, totalizando a potência instalada. A tabela a seguir, baseada no quadro de distribuição do projeto, detalha cada circuito, sua potência e tensão.

Tabela 3 – Quadro de Levantamento de Cargas

Nº	Tipo	Tensão (V)	Descrição	Potência (VA)	Corrente (A)	Nº de circuitos agrupados	Condutor (mm ²)	Proteção	Polo s	I Nominal
1	Iluminação	127	Sala/Copa/Do rm1/Hall/Banho social/Área externa	1200	8,66	3	1,5	DTM	1	10A
2	Iluminação	127	Dormitório 1/Hall Banho social/Área externa/Coz/V aranda/Dormitório 2/Banheiro ap./Área serviço	1200	8,66	3	1,5	DTM	1	10A
3	Iluminação	127	Garagem	700	5,51	3	1,5	DTM	1	10A

4	Ponto uso geral	127	Sala/Copa/Quarto 1/Área externa	1200	9,44	3	2,5	DTM	1	10A
5	Ptg's	127	Copa	1200	9,44	3	2,5	DTM	1	10A
6	Ponto uso geral	127	Copa/Coz/Varanda/Dormitório 2	1200	9,44	3	2,5	DTM	1	10A
7	Ptg's	127	Coz/Varanda	1200	9,44	3	2,5	DTM	1	10A
8	Ptg's	127	Coz/Varanda	1200	9,44	3	2,5	DTM	1	10A
9	Ponto uso geral	127	Dorm 2 / Banheiro/Área de serviço	1200	9,44	3	2,5	DTM	1	10A
10	Ptue's	127	Área serv. (Máquina de Lavar)	1900	14,96	4	4,0	DDR	1	20A
11	Ptue's	220	Banheiro 1 (Chuveiro)	5600	25,45	1	6,0	DDR	2	32A
12	Ptue's	220	Banheiro ap. (Chuveiro)	5600	25,45	1	6,0	DDR	2	32A
13	Ptue's	220	Cond. ar (1 x 2.600)	2600	11,82	1	2,5	DTM	2	15A
14	Ptue's	220	Cond. ar (1 x 1.300)	1300	5,91	1	2,5	DTM	2	15A
15	Ptue's	220	Cond. ar (1 x 1.600)	1600	7,27	1	2,5	DTM	2	15A
16	Ptue's	220	Reserva	-	-	-	2,5	DTM	2	15A

17	Ptue's	220	Reserva	-	-	-	2,5	DTM	2	10A
18	Ptue's	220	Reserva	-	-	-	2,5	DTM	2	10A
19	Ptue's	127	Motor portão	-	-	-	2,5	DTM	2	10A
20	Ptue's	127	Reserva	-	-	-	2,5	DTM	2	10A

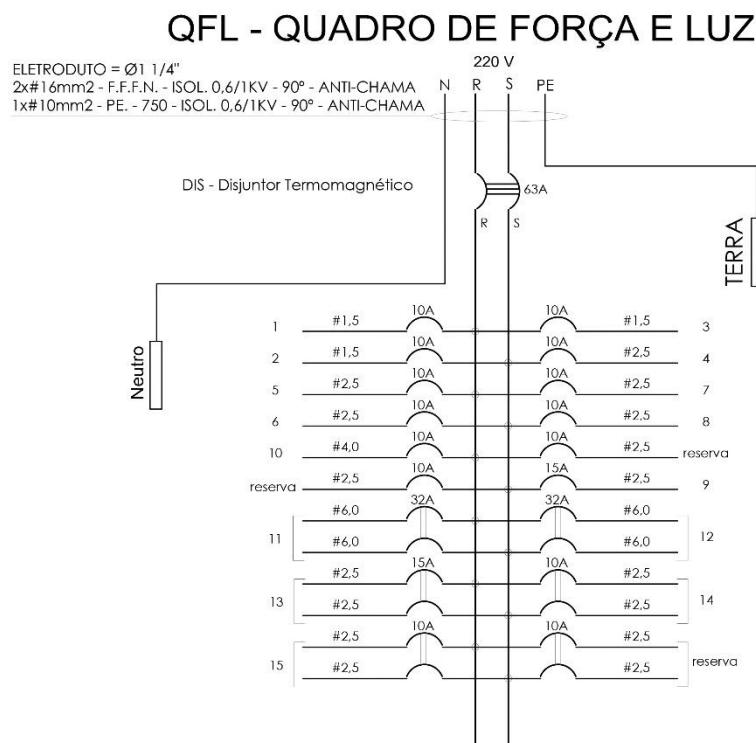
Fonte: Autoria própria (2025)

A Potência Instalada Total da residência é de 28.900 VA (ou 28,9 kVA).

Além do diagrama unifilar que é elaborado para a residência em estudo apresenta de maneira simplificada a distribuição dos circuitos, condutores e dispositivos de proteção que compõem a instalação elétrica. Essa representação gráfica complementa a planta baixa e o quadro de levantamento de cargas, oferecendo uma visão clara da estrutura elétrica e da interligação entre os elementos. Sua elaboração segue as diretrizes da NBR 5410:2004 e da norma GED-13 da concessionária, assegurando a conformidade com os critérios de dimensionamento e segurança.

Além de servir como base para o cálculo de demanda e para o correto dimensionamento dos condutores e disjuntores, o diagrama unifilar constitui uma ferramenta fundamental para execução, manutenção e futuras ampliações da instalação, garantindo organização e padronização ao projeto elétrico.

imagem 6 - Diagrama unifilar da instalação elétrica residencial



Fonte: Autoria própria (2025).

4.5.1 Cálculo da Demanda Elétrica (Norma GED-13)

Com a potência instalada definida, o próximo passo é calcular a potência de demanda. Este cálculo considera que nem todos os equipamentos funcionarão simultaneamente, aplicando-se fatores de demanda específicos para cada grupo de carga, conforme as tabelas da Norma GED-13.

Hipóteses adotadas:

- Fator de Potência (FP): considerado igual a 1,0 para todas as cargas, conforme orientação da GED-13.
- Cargas sem tabela específica: máquina de lavar (FD = 1,0).
- Circuitos de reserva: como não possuem potência instalada definida na tabela atualizada, não foram considerados no cálculo.

O cálculo da demanda total (D) é dado pela soma das demandas parciais:

$$D=a+b+c+d+e \\ D = a + b + c + d + e$$

4.6 Processo de Execução da Instalação

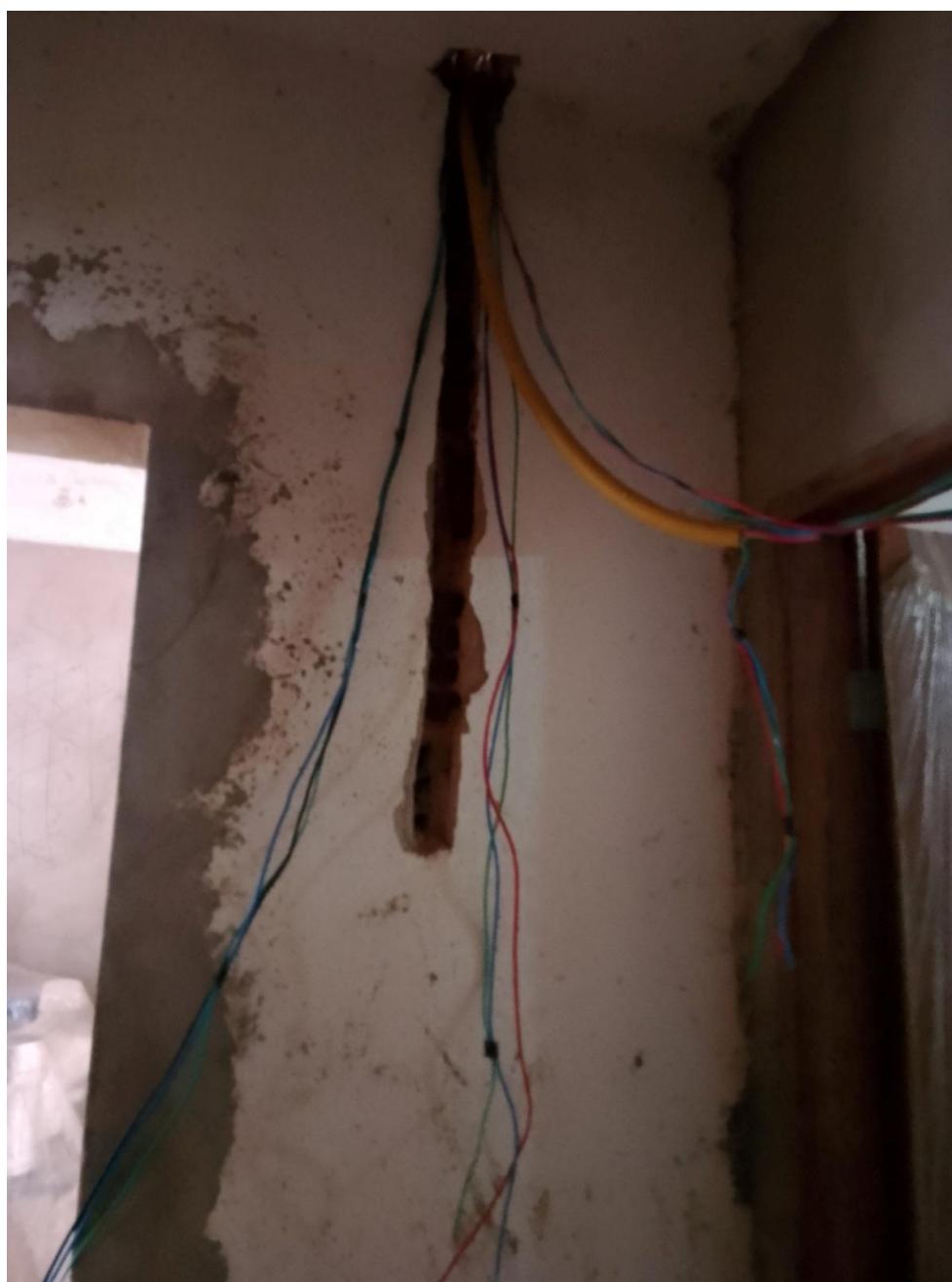
O registro fotográfico a seguir documenta as principais etapas do processo de execução da instalação elétrica, desde a desativação do quadro de força e luz (QFL) antigo até a finalização dos acabamentos. As imagens ilustram os desafios encontrados e as soluções adotadas para garantir a segurança e a conformidade da instalação com as normas técnicas vigentes.

Imagen 8 - Desativação do quadro de força e luz (QFL) antigo



Legenda: A imagem registra o quadro de força e luz (QFL) antigo, que foi desativado por estar localizado em uma área inadequada e não atender aos padrões normativos atuais, representando um risco à segurança da instalação.

Imagen 9 - Definição do novo local para o quadro de força e luz (QFL)



Legenda: A imagem destaca a marcação na parede que define o novo local para a instalação do quadro de força e luz (QFL). A escolha do novo ponto considerou as normas técnicas, visando facilitar o acesso para manutenções futuras e otimizar a distribuição dos circuitos.

Imagen 10 - Início do processo de corte da alvenaria



Legenda: A imagem mostra o início do processo de corte da alvenaria para a passagem dos novos eletrodutos. O uso de ferramentas adequadas foi fundamental para garantir a precisão dos cortes e minimizar os danos à estrutura do imóvel.

Imagen 11 - Detalhe do corte na parede e laje



Legenda: A imagem apresenta um detalhe do corte realizado na parede e na laje, evidenciando a complexidade da adaptação da infraestrutura existente para a passagem da nova tubulação elétrica. A precisão nesta etapa foi crucial para a correta instalação dos eletrodutos.

Imagen 12 - Instalação dos eletrodutos



Legenda: A imagem ilustra a instalação dos eletrodutos para as tomadas da sala e da futura garagem. Essa etapa garante a proteção mecânica da fiação e a organização do sistema elétrico, em conformidade com as boas práticas de instalações elétricas.

Imagen 13 - Desafio da proximidade com a tubulação de água



Legenda: A imagem destaca um dos desafios encontrados durante a execução da obra: a proximidade da nova instalação elétrica com a tubulação de água existente. A situação exigiu cuidado redobrado da equipe para evitar perfurações acidentais e garantir a integridade de ambos os sistemas (que ainda está em análise).

Imagen 14 - Desafio na passagem da fiação



Legenda: A imagem evidencia a dificuldade encontrada na passagem da fiação no hall do dormitório 2, devido à presença de um barrilete (tubulação de distribuição de água). A superação deste obstáculo exigiu a adoção de soluções criativas e técnicas para garantir a continuidade da instalação (que ainda está em análise).

Imagen 15 - Chumbamento da caixa de passagem



Legenda: A imagem registra o processo de chumbamento da caixa de passagem do ar-condicionado. A correta fixação da caixa na alvenaria é essencial para garantir a segurança e a estabilidade da instalação do equipamento.

Imagen 16 - Acabamento com massa corrida



Legenda: A imagem mostra a aplicação de massa corrida para o acabamento da parede da sala após a instalação dos eletrodutos. Esta etapa é fundamental para a regularização da superfície, preparando-a para receber a pintura e garantindo um acabamento esteticamente agradável.

Imagen 17 - Instalação das novas tomadas



Legenda: A imagem finaliza o registro fotográfico com a instalação das novas tomadas na sala. A correta instalação dos pontos de energia, em conformidade com o projeto elétrico e as necessidades do usuário, representa a conclusão de uma importante etapa da obra.

a) Demanda de Iluminação e Tomadas de Uso Geral (TUGs)

As cargas de iluminação e tomadas de uso geral (circuitos 1 a 9) somam 10.300 VA.

Segundo a Tabela 3 da GED-13, para esse valor aplica-se um fator de demanda (FD) = 0,24.

$$\text{Demanda}(a) = 10.300 \times 0,24 = 2.472 \text{ VA}$$

$$\text{VA Demanda}(a) = 10.300 \times 0,24 = 2.472 \text{ VA}$$

b) Demanda da Máquina de Lavar

A carga da máquina de lavar (circuito 10) é de 1.900 VA.

Como não há fator de redução aplicável, considera-se FD = 1,0:

$$\text{Demanda}(b) = 1.900 \text{ VA}$$

$$\text{Demanda}(b) = 1.900 \text{ VA}$$

$$\text{VA Demanda}(b) = 1.900 \text{ VA}$$

c) Demanda de Chuveiros Elétricos

Os chuveiros elétricos (circuitos 11 e 12) possuem 5.600 VA cada, totalizando 11.200 VA.

De acordo com a Tabela 4 da GED-13, para dois aparelhos idênticos aplica-se FD = 1,0:

$$\text{Demanda}(c) = 11.200 \text{ VA}$$

$$\text{Demanda}(c) = 11.200 \text{ VA}$$

$$\text{VA Demanda}(c) = 11.200 \text{ VA}$$

d) Demanda de Aparelhos de Ar-Condicionado

Os aparelhos de ar-condicionado (circuitos 13, 14 e 15) possuem potências de 2.600 VA, 1.300 VA e 1.600 VA, totalizando 5.500 VA.

Segundo a Tabela 9 da GED-13, para até três unidades residenciais o fator de demanda é FD = 1,0:

$$\text{Demanda}(d) = 5.500 \text{ VA}$$

$$\text{Demanda}(d) = 5.500 \text{ VA}$$

$$\text{VA Demanda}(d) = 5.500 \text{ VA}$$

e) Demanda de Motores

O motor do portão (circuito 19) não apresenta valor de potência instalado na tabela atualizada. Portanto, não foi considerado neste cálculo.

4.7 Demanda Total

Somando todas as demandas parciais:

$$D=2.472+1.900+11.200+5.500=21.072 \text{ VAD} = 2.472 + 1.900 + 11.200 + 5.500 = 21.072 \text{ VA}$$

$$\text{VAD}=2.472+1.900+11.200+5.500=21.072 \text{ VA}$$

Portanto, a potência de demanda total da residência é de aproximadamente 21.100 VA (21,1 kVA).

Esse valor será utilizado para o dimensionamento correto do padrão de entrada de energia, evitando superdimensionamento de cabos e dispositivos de proteção e garantindo segurança e economia.

4.7.1 Resumo e Fator de Demanda Global

O cálculo do fator de demanda iniciou-se com o levantamento de todas as cargas elétricas da residência, totalizando uma potência instalada de 36.200 VA. A partir disso, aplicou-se a Norma GED-13, que orienta a utilização de fatores de demanda específicos para cada grupo de carga, considerando que nem todos os equipamentos funcionam simultaneamente.

Para iluminação e tomadas de uso geral, a potência instalada foi de 10,3 kVA, resultando em uma demanda de 2.472 VA após a aplicação do fator de demanda da tabela correspondente. A máquina de lavar foi considerada integralmente, com 1.500 VA. Os dois chuveiros elétricos, de 5.600 VA cada, foram mantidos com fator de demanda igual a 1, totalizando 11.200 VA. No caso dos aparelhos de ar-condicionado, três unidades de 1.200 VA também foram considerados integralmente, somando 3.600 VA.

O motor do portão apresentou demanda de 1.200 VA, e as cargas de reserva, de 2.400 VA cada, tiveram aplicação de um fator de 0,66, resultando em aproximadamente 4.752 VA. Somando todas as parcelas, obteve-se uma demanda total de 30.834 VA, valor que orienta o correto dimensionamento do padrão de entrada, evitando superdimensionamento e garantindo eficiência, segurança e economia para a instalação elétrica.

4.8 Dimensionamento de Eletrodutos

O dimensionamento correto dos eletrodutos é fundamental para garantir a segurança, a funcionalidade e a conformidade das instalações elétricas com as normas técnicas vigentes. Este capítulo apresenta os cálculos de dimensionamento dos eletrodutos para o projeto em questão, baseando-se rigorosamente nas diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 5410:2004.

4.8.1 Critérios Normativos para Taxa de Ocupação

A NBR 5410:2004, em seu item sobre dimensionamento de eletrodutos, estabelece limites máximos para a taxa de ocupação da área da seção transversal dos eletrodutos, visando garantir a adequada dissipação térmica dos condutores e facilitar a instalação e manutenção do sistema elétrico.

Os limites estabelecidos pela norma são:

- 53% para um condutor ou cabo
- 31% para dois condutores ou cabos
- 40% para três ou mais condutores ou cabos

Para este projeto, considerando que a maioria dos circuitos é composta por três condutores (fase, neutro e proteção), utilizaremos como referência a taxa máxima de ocupação de 40%.

4.8.2 Área da Seção Transversal dos Condutores

Para realizar o dimensionamento adequado dos eletrodutos, é necessário conhecer a área da seção transversal de cada condutor. A tabela a seguir apresenta os valores padronizados conforme a NBR 5410:2004 :

Tabela 5 - Área da seção transversal dos condutores

Seção Nominal (mm ²)	Diâmetro Externo (mm)	Área da Seção Transversal (mm ²)
1,5	2,2	3,80
2,5	2,7	5,72
4,0	3,2	8,04
6,0	3,7	10,75
10,0	4,6	16,62

4.8.3 Metodologia de Cálculo

O dimensionamento dos eletrodutos segue a seguinte metodologia:

1. Cálculo da área total dos condutores: Soma das áreas individuais de todos os condutores que passarão pelo eletroduto
2. Aplicação da taxa de ocupação: Divisão da área total dos condutores pela taxa máxima permitida (40% para três ou mais condutores)
3. Seleção do eletroduto: Escolha do eletroduto com área interna igual ou superior à área mínima calculada

A fórmula utilizada é:

$$\text{Área Interna Mínima do Eletroduto} = (\text{Área Total dos Condutores}) \div 0,40$$

4.8.4 Dimensionamento por Circuito

Com base no levantamento de cargas apresentado anteriormente no TCC, a tabela a seguir detalha o dimensionamento dos eletrodutos para cada circuito da instalação:

Tabela 6 - Dimensionamento dos eletrodutos por circuito

Círculo	Descrição	Nº Condutores	Seção (mm ²)	Área Total Condutores (mm ²)	Área Mínima Eletroduto (mm ²)	Eletroduto Selecionado
1	Iluminação	3	1,5	11,40	28,50	20 mm (1/2")
2	Iluminação	3	1,5	11,40	28,50	20 mm (1/2")
3	Iluminação	3	1,5	11,40	28,50	20 mm (1/2")
4	TUGs	3	2,5	17,16	42,90	20 mm (1/2")
5	TUGs	3	2,5	17,16	42,90	20 mm (1/2")
6	TUGs	3	2,5	17,16	42,90	20 mm (1/2")
7	TUE	3	4,0	24,12	60,30	25 mm (3/4")
8	Chuveiro	3	6,0	32,25	80,62	25 mm (3/4")
9	TUE	3	4,0	24,12	60,30	25 mm (3/4")
10	Distribuição	3	10,0	49,86	124,65	32 mm (1")

4.8.5 Verificação da Conformidade

Para validar os cálculos realizados, utilizamos as tabelas de ocupação máxima da NBR 5410:2004. A tabela a seguir apresenta a capacidade de ocupação dos eletrodutos selecionados:

Tabela 7 - Verificação da capacidade dos eletrodutos selecionados

Diâmetro Nominal	Área Interna (mm ²)	Ocupação Máxima 40% (mm ²)	Margem de Segurança
20 mm (1/2")	212	85	98%
25 mm (3/4")	335	134	66%
32 mm (1")	545	218	75%

4.8.6 Considerações Técnicas Adicionais

O dimensionamento apresentado considera não apenas os aspectos normativos, mas também as boas práticas de engenharia elétrica. A margem de segurança mantida em todos os circuitos permite futuras ampliações ou modificações na instalação sem necessidade de substituição dos eletrodutos.

Além disso, a escolha adequada dos diâmetros dos eletrodutos facilita a passagem dos condutores durante a instalação, reduzindo o risco de danos à isolamento e garantindo a integridade do sistema elétrico ao longo de sua vida útil.

O dimensionamento dos eletrodutos realizado em conformidade com a NBR 5410:2004 garante que a instalação elétrica atenda aos requisitos de segurança, funcionalidade e durabilidade. A aplicação rigorosa dos critérios normativos, combinada com margens de segurança adequadas, resulta em um sistema elétrico confiável e preparado para as demandas atuais e futuras da edificação.

5. DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

O dimensionamento correto de condutores e a seleção adequada de dispositivos de proteção são essenciais para garantir segurança e eficiência em uma instalação elétrica. Seguindo as normas da ABNT (NBR 5410), evitam-se sobrecargas, curtos-circuitos e quedas de tensão excessivas.

5.1 Dimensionamento de Condutores

O dimensionamento dos condutores é baseado em:

- Corrente de projeto (I_p) do circuito
- Capacidade de condução do condutor
- Queda de tensão admissível
- Proteção contra sobrecarga

A corrente de projeto é calculada por:

$$I_p = \frac{P}{V}$$

onde P é a potência do circuito e V a tensão.

Exemplo (Circuito de Iluminação):

- Potência: 1.200 VA
- Tensão: 127 V
- Corrente de projeto: $I_p = 1200/127 \approx 9,45A$

A seção do condutor deve suportar essa corrente considerando a tabela da NBR 5410, o tipo de isolação e as condições do eletroduto. Para iluminação residencial, normalmente condutores de 2,5 mm² são suficientes.

Exemplo (Circuito Ptue – Máquina de Lavar):

- Potência: 1.500 VA
- Tensão: 220 V
- Corrente de projeto: $I_p = 1500/220 \approx 6,82A$
- Condutor recomendado: 2,5 mm² ou conforme tabela da NBR

5.2 Seleção de Dispositivos de Proteção

Os disjuntores protegem contra sobrecarga e curto-círcuito. Para cada circuito, a corrente nominal do disjuntor deve ser maior que a corrente de projeto e menor que a capacidade do condutor.

Exemplo (Circuito de Iluminação):

- Corrente de projeto: 9,45 A
- Seção do condutor: 2,5 mm²
- Disjuntor: 10 A (DTM) → garante proteção adequada

Exemplo (Ptue – Máquina de Lavar):

- Corrente de projeto: 6,82 A
- Condutor: 2,5 mm²
- Disjuntor: 10 A → adequado segundo NBR

5.3 Queda de Tensão

A queda de tensão ocorre devido à resistência e reatância dos condutores. Valores excessivos afetam o desempenho e aumentam perdas energéticas. A NBR estabelece limites, geralmente 3% para circuitos terminais em residências.

A fórmula simplificada para monofásico:

$$\Delta V = S \cdot V_{fase} \cdot 2 \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos\phi$$

onde:

- $\rho = 0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (resistividade do cobre)
- L = comprimento do circuito (m)
- I = corrente de projeto (A)
- S = seção do condutor (mm²)
- $\cos\phi$ = fator de potência
- V_{fase} = tensão da fase

Exemplo (Iluminação):

- Corrente: 8,66 A

- Seção: 2,5 mm²
- Comprimento médio: 20 m
- Fator de potência: 1,0
- Tensão: 127 V

Resultado: $\Delta V \approx 3,13\%$, dentro do limite permitido.

5.4 Perdas por Efeito Joule

As perdas energéticas nos condutores ocorrem devido à resistência, calculadas por:

$$P_{\text{perdas}} = R_{\text{condutor}} \cdot I^2$$

- Exemplo (Iluminação):
 - Corrente: 8,66 A
 - Resistência: 0,4587 Ω
 - Potência dissipada: 34,4 W
 - Uso diário: 4 h/dia → consumo anual: 50,3 kWh

Isso evidencia o impacto financeiro e energético das perdas, reforçando a importância de dimensionar corretamente os condutores.

5.5 Análise Comparativa de Tecnologias

A substituição de equipamentos antigos por modelos eficientes reduz consumo e custos:

- Iluminação: substituição de lâmpadas incandescentes por LED
 - Potência incandescente: 1.200 W
 - Potência LED equivalente: 120 W
 - Economia anual: 1.576,8 kWh → R\$ 1.261,44 (considerando R\$0,80/kWh)
- Tomadas (Ptug's): incentivo a eletrodomésticos eficientes com selo Procel A.

6. FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS

Para a realização deste trabalho, foram empregadas diversas ferramentas e equipamentos, tanto de software quanto de hardware, além de documentos técnicos e normativos, que garantiram a precisão dos cálculos, a conformidade com as regulamentações e a fundamentação teórica das análises. A seleção dessas ferramentas visou abranger todas as etapas da metodologia, desde o levantamento de dados até a avaliação econômica das soluções propostas.

6.1 Softwares

A utilização de softwares específicos foi crucial para a modelagem, simulação e análise de dados complexos, otimizando o tempo e a precisão dos cálculos. Os principais softwares empregados ou considerados para a análise incluem:

- Microsoft Excel (ou LibreOffice Calc): Essencial para a organização e processamento dos dados de levantamento de cargas, cálculo de consumo energético, simulações de perdas (Joule, queda de tensão), e análises econômicas (Payback, VPL, TIR). Sua flexibilidade permite a criação de planilhas personalizadas para cada tipo de cálculo, facilitando a visualização e a interpretação dos resultados. Muitos dos exemplos numéricos e tabelas apresentados neste trabalho foram desenvolvidos e validados utilizando-se recursos de planilhas eletrônicas.
- PVsyst (ou similar): Software amplamente reconhecido para o dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos. O PVsyst permite modelar o desempenho de sistemas fotovoltaicos em diferentes condições climáticas, considerando sombreamento, perdas por temperatura, degradação dos módulos, e otimização da inclinação e orientação. Ele fornece estimativas precisas de geração de energia e auxilia na seleção dos componentes (módulos, inversores), sendo uma ferramenta indispensável para projetos de energia solar.
- HOMER Energy (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) (ou similar): Utilizado para a otimização de sistemas de energia híbridos, incluindo a combinação de fontes renováveis (solar, eólica) com geradores a diesel e sistemas de armazenamento de energia (baterias). Embora mais comum em projetos de maior porte ou sistemas isolados, o HOMER pode ser aplicado para avaliar a viabilidade de sistemas fotovoltaicos com armazenamento em residências, considerando

diferentes cenários de carga e disponibilidade de recursos [Fonte: Manual do HOMER Energy].

- Softwares de Simulação Termo energética (ex: EnergyPlus, DesignBuilder): Embora não diretamente utilizados para os cálculos primários de eficiência elétrica, esses softwares são relevantes para análises mais aprofundadas do desempenho térmico da edificação, que impacta diretamente o consumo de energia para climatização. Eles permitem simular o comportamento energético de edifícios considerando características construtivas, sistemas de climatização e iluminação, e condições climáticas [Fonte: ASHRAE Handbook - Fundamentals, 2021].

6.1.2 Ferramentas e Equipamentos

Para a execução prática do projeto e a coleta de dados em campo, foram empregados equipamentos e ferramentas de medição e instalação elétrica, garantindo a segurança e a precisão dos resultados obtidos. Os principais itens utilizados ou recomendados incluem:

- Multímetro digital: Utilizado para medições de tensão, corrente e resistência elétrica em diferentes pontos da instalação. Essencial para diagnóstico e verificação de conformidade dos circuitos.
- Alicate amperímetro: Ferramenta prática para medições de corrente elétrica sem a necessidade de interromper o circuito, facilitando testes de carga e identificação de sobrecorrentes.
- Megômetro (ou terrômetro): Utilizado para verificar o isolamento dos condutores e a resistência de aterramento da instalação, assegurando que o sistema atenda aos limites da NBR 5410.
- Trena e nível a laser: Empregados no levantamento físico das medidas da residência, garantindo a precisão no posicionamento dos pontos de energia e quadros de distribuição.
- Furadeira elétrica, chaves e alicates isolados: Ferramentas básicas de montagem e manutenção, todas com isolamento adequado para trabalhos em instalações energizadas ou desenergizadas, conforme as normas de segurança do trabalho.

- Equipamentos de Proteção Individual (EPIs): Incluem luvas isolantes, calçados de segurança, capacete com viseira, óculos de proteção e vestimentas antichamas. O uso desses itens é obrigatório e indispensável para prevenção de acidentes durante medições e intervenções elétricas.
- Quadro de distribuição e componentes elétricos: Itens físicos aplicados na execução e simulação do projeto, como disjuntores, DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos), DR (Dispositivo Diferencial Residual), condutores e tomadas, todos dimensionados conforme a NBR 5410.

Essas ferramentas e equipamentos foram selecionados com base em critérios de segurança, precisão e confiabilidade, de modo a permitir o levantamento técnico detalhado e o teste das condições reais da instalação elétrica do estudo de caso.

Imagen 7 - Ilustrações de ferramentas



Fonte: (YouTube, Gabriel Alvarenga)

6.2 Normas Técnicas e Regulamentações

A conformidade com as normas técnicas brasileiras (ABNT) e as regulamentações do setor elétrico é um pilar fundamental deste trabalho, garantindo a segurança, a qualidade e a legalidade das instalações e das soluções propostas. As principais normas consultadas incluem:

- ABNT NBR 5410:2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Esta norma estabelece as condições mínimas necessárias para garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens. É a base para o dimensionamento de condutores, dispositivos de proteção, e a organização dos circuitos em instalações residenciais, sendo crucial para a eficiência e segurança.
- ABNT NBR 5419:2015 - Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA): Embora não diretamente ligada à eficiência energética, esta norma é essencial para a segurança da instalação e dos equipamentos, protegendo contra os efeitos de raios. Sua aplicação garante a integridade dos sistemas elétricos, incluindo os fotovoltaicos, que são vulneráveis a surtos de tensão.
- Resoluções Normativas da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica): Especialmente as que regulamentam a micro e minigeração distribuída (ex: RN 1.000/2021, que substituiu a RN 482/2012), que estabelecem as regras para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica da concessionária, incluindo os procedimentos para compensação de energia.

6.3 Manuais Técnicos e Catálogos de Fabricantes

Manuais técnicos de equipamentos e catálogos de fabricantes foram utilizados para obter dados precisos sobre as características de desempenho, eficiência e especificações técnicas de lâmpadas, eletrodomésticos, módulos fotovoltaicos, inversores e outros componentes elétricos. Essas informações são cruciais para a realização de cálculos de consumo, dimensionamento e análise comparativa de tecnologias.

6.3.1 Dados de Irradiação Solar

Dados de irradiação solar global horizontal (GHI) e irradiação em plano inclinado foram obtidos de fontes confiáveis, como o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e o Atlas Brasileiro de Energia Solar. Esses dados são essenciais para o dimensionamento preciso de sistemas fotovoltaicos, pois a quantidade de energia gerada depende diretamente da disponibilidade de radiação solar na localidade.

6.3.2. Tarifas da Concessionária

As tarifas de energia elétrica praticadas pela concessionária local foram consultadas para a realização das análises econômicas. A estrutura tarifária (tarifa de energia, impostos, bandeiras tarifárias) impacta diretamente o cálculo da economia gerada pelas medidas de eficiência energética e, consequentemente, os indicadores de viabilidade econômica (Payback, VPL, TIR).

6.3.3 Medições Diretas em Campo (quando aplicável)

Em situações em que for possível, foram realizadas medições diretas em campo utilizando equipamentos como:

- Alicate Amperímetro: Para medir correntes elétricas em circuitos e equipamentos, auxiliando no levantamento de cargas e na identificação de sobrecargas.
- Voltímetro: Para medir tensões elétricas e verificar a ocorrência de quedas de tensão significativas.
- Analisador de Energia: Equipamento mais completo que permite medir diversas grandezas elétricas (tensão, corrente, potência ativa, reativa, aparente, fator de potência) e registrar o perfil de consumo ao longo do tempo, fornecendo dados detalhados para o diagnóstico energético.

A combinação dessas ferramentas e recursos permitiu uma análise aprofundada e fundamentada da eficiência energética em instalações residenciais, garantindo a robustez metodológica e a credibilidade dos resultados apresentados.

7. Conclusão e Sugestões

Sugestões para Trabalhos Futuros – Energia Solar Fotovoltaica

Apesar de os sistemas fotovoltaicos já se consolidarem como uma das alternativas mais eficazes para reduzir o consumo de energia elétrica em residências, ainda existem diversas possibilidades de aprofundamento. Pesquisas futuras, por exemplo, podem avaliar a viabilidade do uso de baterias residenciais para o armazenamento de energia excedente, solução que, mesmo com custos ainda elevados, tende a aumentar a autonomia energética das residências e a reduzir a dependência da rede em horários de pico. Outra vertente importante é a análise de diferentes perfis de consumo, contemplando residências de tamanhos variados e hábitos distintos de uso de energia, o que permitiria compreender melhor como o dimensionamento fotovoltaico se adapta a diferentes realidades. Também se mostra relevante investigar o impacto de políticas públicas e incentivos econômicos, como linhas de crédito específicas, redução de tributos e melhorias regulatórias, fatores que influenciam diretamente na viabilidade econômica da tecnologia. Além disso, sugere-se explorar a integração dos sistemas fotovoltaicos com outras soluções, como automação residencial, climatização eficiente e isolamento térmico, de modo a potencializar os ganhos de eficiência energética. Por fim, merece destaque a necessidade de ampliar a avaliação do impacto ambiental, considerando não apenas a redução de emissões de CO₂, mas também o ciclo de vida dos módulos, a reciclagem dos equipamentos e os impactos sociais da difusão dessa tecnologia no Brasil.

Sugestões para Trabalhos Futuros – Isolamento Térmico

Embora o isolamento térmico já seja reconhecido como uma medida passiva essencial para a eficiência energética das edificações, ainda há espaço para o desenvolvimento de estudos mais aprofundados. Uma linha de pesquisa relevante seria a comparação entre diferentes materiais isolantes, analisando aspectos como eficiência térmica, custo-benefício, durabilidade e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida. Também seria pertinente avaliar como o isolamento se comporta em diferentes zonas climáticas do Brasil, uma vez que os ganhos variam de acordo com as condições locais. Outro caminho interessante está na integração do isolamento com tecnologias ativas, como sistemas de climatização eficientes, automação residencial e fontes renováveis de energia, de modo a ampliar o conforto térmico e reduzir o consumo energético. O uso de modelagens computacionais e simulações pode igualmente contribuir, permitindo prever cenários de desempenho e quantificar ganhos em edificações com tipologias diversas. Além disso, torna-se necessário refletir sobre os aspectos normativos e as políticas públicas,

considerando tanto a aplicação efetiva de normas técnicas, como a ABNT NBR 15575, quanto a criação de incentivos governamentais que estimulem sua adoção em larga escala. Por fim, destaca-se a importância de estudos voltados à sustentabilidade, investigando desde a produção até o descarte dos materiais isolantes, com o objetivo de identificar alternativas mais sustentáveis e recicláveis.

Sugestões para Trabalhos Futuros – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Como sugestão de melhoria futura para a instalação elétrica dimensionada, recomenda-se a avaliação da implementação de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), especificamente as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS). Esta recomendação baseia-se na crescente utilização de equipamentos eletrônicos sensíveis na residência moderna e na necessidade de proteger os investimentos realizados em tecnologias de eficiência energética.

A implementação das MPS, através da instalação de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) no quadro de distribuição, representaria um investimento adicional modesto em relação ao valor total da instalação, mas proporcionaria proteção significativa contra danos causados por surtos atmosféricos, garantindo a continuidade dos benefícios econômicos e de conforto proporcionados pelas tecnologias eficientes implementadas.

Esta abordagem posiciona o SPDA de forma adequada: como uma recomendação técnica profissional, sem torná-lo obrigatório para o projeto atual, mas demonstrando seu conhecimento e preocupação com a proteção e a longevidade da instalação.

8. REFERÊNCIAS

- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. 3. ed. São Paulo: Edusp, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Brasília: ANEEL, 2023.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Plano da Operação Energética 2023-2027. Rio de Janeiro: ONS, 2023.
- PEREIRA, E. B. et al. Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2023. Brasília: MME, 2023.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Manual de Eficiência Energética Residencial. Rio de Janeiro: PROCEL, 2022.
- TOLMASQUIM, M. T. Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. Resolução nº 1.073: Regulamenta a atribuição de títulos, atividades, competências e caracterização do âmbito de atuação dos profissionais inseridos no Sistema Confea/Crea. Brasília: CONFEA, 2016.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy Efficiency 2023. Paris: IEA, 2023.
- PATTERSON, M. G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. Energy Policy, v. 24, n. 5, p. 377-390, 1996.

- SORRELL, S. et al. *The economics of energy efficiency: barriers to cost-effective investment*. Cheltenham: Edward Elgar, 2004.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. *Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Brasília: INMETRO, 2023.
- VINE, E. et al. *Residential energy use in OECD countries: a decomposition analysis*. *Energy Policy*, v. 29, n. 2, p. 131-154, 2001.
- MAMEDE FILHO, J. *Instalações elétricas industriais*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- COTRIM, A. A. M. B. *Instalações elétricas*. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- VISACRO, S. *Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia*. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2012.
- KINDERMANN, G. *Proteção de sistemas elétricos de potência*. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2008.
- ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. *Fundamentos de circuitos elétricos*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- CREDER, H. *Instalações elétricas*. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- NISKIER, J.; MACINTYRE, A. J. *Instalações elétricas*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- STEVENSON JR., W. D. *Elementos de análise de sistemas de potência*. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- DUGAN, R. C. et al. *Electrical power systems quality*. 3. ed. New York: McGrawHill, 2012.
- SIMONE, G. A. *Máquinas de indução trifásicas: teoria e exercícios*. São Paulo: Érica, 2000.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA. *Atlas solarimétrico do Brasil*. Recife: CRESESB, 2018.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

SCHUBERT, E. F. Light-emitting diodes. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. Manual de iluminação eficiente. São Paulo: ABILUX, 2021.

ASHRAE. ASHRAE Handbook - Fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 2021.

LAMBERTS, R. et al. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA.

Regulamento Técnico da Qualidade para Refrigeradores e Congeladores. Brasília: INMETRO, 2023.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 209 p.

ENGENHARIAS.NET.BR. Tabela de dimensionamento da seção nominal dos condutores. Disponível em: <https://engenharias.net.br/wp-content/uploads/2016/06/2-Tabela-de-dimensionamento-da-se%C3%A7%C3%A3o-nominal-dos-condutores.pdf>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-1: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-2: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-4: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas - Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

PRODUTTIVO. NBR 5419: o que é, principais mudanças e norma atualizada. Disponível em: <https://www.produttivo.com.br/blog/nbr-5419/>. Acesso em: 07 out. 2025.

TEL ENGENHARIA. O que você precisa saber sobre a NBR5419. Disponível em: <https://tel.com.br/norma-nbr5419/>. Acesso em: 07 out. 2025.

OMS ENGENHARIA. O QUE É SPDA: funcionamento e tipos de proteção contra raios. Disponível em: <https://omsengenharia.com.br/blog/o-que-e-spda/>. Acesso em: 07 out. 2025.

MUNDO DA ELÉTRICA. O que é SPDA (Sistema de proteção contra descargas atmosféricas). Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-spda-sistema-de-protecao-contra-descargas-atmosfericas/>. Acesso em: 07 out. 2025.