

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA
ENGENHARIA ELÉTRICA - ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Carolaine Vieira da Silva

Instalações Elétricas em Baixa Tensão e Projeto Fotovoltaico para Hotel

Juiz de Fora

2025

Carolaine Vieira da Silva

Instalações Elétricas em Baixa Tensão e Projeto Fotovoltaico para Hotel

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito para
a obtenção do título de Bacharel em Enge-
nharia Elétrica.

Orientador: Leonardo Rocha Olivi

Juiz de Fora

2025

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Instalações Elétricas em Baixa Tensão e Projeto Fotovoltaico para Hotel /
Carolaine Vieira da Silva. – 2025.

182 f. : il.

Orientador: Leonardo Rocha Olivi

Dissertação – UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, DEPARTAMENTO DE ENERGIA. ENGENHARIA ELÉTRICA - ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 2025.

1. Instalação elétrica. 2. Energia solar fotovoltaica. 3. Viabilidade econômica. 4. Sustentabilidade. 5. Hotelaria. I. Olivi, Leonardo Rocha, orient. II. Título.

Carolaine Vieira da Silva

Instalações Elétricas em Baixa Tensão e Projeto Fotovoltaico para Hotel

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito para
a obtenção do título de Bacharel em Enge-
nharia Elétrica.

Aprovado em 19 de Março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Leonardo Rocha Olivi - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Cristiano Gomes Casagrande
Universidade Federal de Juiz de Fora

Exuperry Barros Costa
Universidade Federal de Juiz de Fora

Luis Henrique Lopes Lima
Universidade Federal de Juiz de Fora



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA - FACENG - Depto. de Energia Elétrica

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

CANDIDATO(A): Carolaine Vieira da Silva

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Leonardo Rocha Olivi

TÍTULO DO TRABALHO: "Instalações Elétricas em Baixa Tensão e Projeto Fotovoltaico para Hotel"

BANCA EXAMINADORA:

Presidente: Prof. Leonardo Rocha Olivi / Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Membro 1: Prof. Exuperry Barros Costa / Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Membro 2: Prof. Cristiano Gomes Casagrande / Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Membro 3: Prof. Luís Henrique Lopes Lima / Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

LOCAL: LABRA - Laboratório de Automação e Robótica da UFJF

HORA DE ÍNICO: 14:00

Em seção publica, após exposição oral de 22 minutos do trabalho, o(a) candidato(a) foi arguido pelos membros da banca, os quais reuniram-se reservadamente, e decidiram pela:

APROVAÇÃO

REPROVAÇÃO

Para constar, a presente Ata, que aprovada por todos os presentes, vai assinada pelo orientador de TCC, pelos demais membros da banca e pelo candidato.

Juiz de Fora, 19 de março de 2025



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Rocha Olivi, Professor(a)**, em 19/03/2025, às 16:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Exuperry Barros Costa, Professor(a)**, em 19/03/2025, às 16:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Henrique Lopes Lima, Professor(a)**, em 19/03/2025, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CAROLAINA VIEIRA DA SILVA, Usuário Externo**, em 19/03/2025, às 17:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Gomes Casagrande, Professor(a)**, em 19/03/2025, às 18:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2300232** e o código CRC **25031DAB**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me fortalecido ao longo desta jornada, guiando meus passos e colocando em meu caminho pessoas e oportunidades que contribuíram para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

À minha mãe, Marli Vieira, pelo amor incondicional, pelo apoio incansável e por ser minha maior inspiração de força e determinação. Aos meus irmãos e toda a minha família, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo incentivo e suporte em cada etapa dessa caminhada.

Ao meu namorado, por toda paciência, compreensão e apoio nos momentos desafadores, e por celebrar comigo cada conquista ao longo dessa trajetória.

Aos amigos que fiz durante a graduação, que tornaram essa jornada mais leve e significativa, compartilhando conhecimento, desafios e momentos inesquecíveis.

Ao meu orientador, por sua dedicação, ensinamentos valiosos e por confiar no meu trabalho, sempre disposto a contribuir para o desenvolvimento desta pesquisa. À banca avaliadora, pelas contribuições e sugestões enriquecedoras que ajudaram a aprimorar este estudo.

Por fim, à Universidade Federal de Juiz de Fora, por ser o ambiente onde pude expandir meus conhecimentos e crescer profissionalmente, e a todos os professores que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

“A jornada de mil milhas começa com um único passo.”

Lao Tsé.

RESUMO

Este trabalho apresenta o dimensionamento e a análise de viabilidade de um sistema elétrico de baixa tensão integrado a um sistema fotovoltaico, com foco na eficiência energética e sustentabilidade. O projeto considerou a irradiação solar na região e fatores que impactam o desempenho do sistema, como a degradação anual dos painéis solares e a substituição de componentes essenciais, como inversores, ao longo da vida útil. A análise econômica demonstrou que, apesar da perda gradual de eficiência dos módulos fotovoltaicos, o aumento contínuo das tarifas de energia elétrica garante a atratividade do investimento, proporcionando economia significativa a longo prazo. Além dos benefícios financeiros, o sistema contribui para a redução das emissões de CO₂, reforçando a importância da energia renovável no contexto da transição energética. O dimensionamento do sistema fotovoltaico e da infraestrutura elétrica foi realizado conforme o perfil de consumo e as necessidades do cliente, garantindo a otimização dos recursos e a viabilidade técnica do projeto. A integração do sistema solar à rede elétrica maximiza o aproveitamento da energia gerada, minimizando desperdícios e reduzindo a dependência da concessionária. Para garantir maior segurança operacional e autonomia, foi implementado um banco de baterias dimensionado para suprir a demanda de energia do local por até 3 horas em caso de falha no fornecimento pela concessionária. Essa reserva de energia mantém as operações sem interrupções, evitando prejuízos e assegurando maior estabilidade no fornecimento. Dessa forma, a integração entre um projeto elétrico bem planejado, um sistema fotovoltaico dimensionado conforme as particularidades da instalação e um banco de baterias estrategicamente dimensionado garante autonomia energética, previsibilidade financeira e maior resiliência elétrica, tornando-se uma solução sustentável e eficiente para o consumidor.

Palavras-chave: Instalação elétrica, Energia solar fotovoltaica, Viabilidade econômica, Sustentabilidade, Hotelaria.

ABSTRACT

This work presents the design and feasibility analysis of a low-voltage electrical system integrated with a photovoltaic system, focusing on energy efficiency and sustainability. The project considered the solar irradiation in the region and factors affecting system performance, such as the annual degradation of solar panels and the replacement of essential components, such as inverters, throughout their lifespan. The economic analysis demonstrated that, despite the gradual loss of efficiency of photovoltaic modules, the continuous increase in electricity tariffs ensures the attractiveness of the investment, providing significant long-term savings. In addition to the financial benefits, the system contributes to reducing CO₂ emissions, emphasizing the importance of renewable energy in the context of the energy transition. The design of the photovoltaic system and electrical infrastructure was carried out based on the customer's consumption profile and needs, ensuring resource optimization and technical feasibility. The integration of the solar system with the grid maximizes the use of the generated energy, minimizing waste and reducing reliance on the utility company. To ensure greater operational security and autonomy, a battery bank was implemented, sized to supply the energy demand of the site for up to 3 hours in case of a failure in the utility supply. This energy reserve ensures continuous operations without interruptions, avoiding losses and ensuring greater supply stability. Thus, the integration of a well-designed electrical project, a photovoltaic system sized according to the installation's particularities, and a strategically sized battery bank ensures energy autonomy, financial predictability, and greater electrical resilience, making it a sustainable and efficient solution for the consumer.

Keywords: Electrical installation, Photovoltaic solar energy, Economic feasibility, Sustainability, Hospitality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Consumo Final Energético por Segmento no Setor de Serviços	21
Figura 2 – Planta baixa do Subsolo	40
Figura 3 – Planta baixa do Térreo	41
Figura 4 – Planta baixa típica dos andares 2º, 3º, 4º	41
Figura 5 – Planta baixa do Terraço	42
Figura 6 – Vista da elevação lateral do Hotel	43
Figura 7 – Vista da elevação frontal do Hotel	43
Figura 8 – Incidência Normal Radiação Solar	135
Figura 9 – Ligação de baterias série-paralelo	153
Figura 10 – Gráfico do <i>Payback</i> descontado	164
Figura 11 – Relação entre Energia Produzida e Economia Anual na Conta de Energia	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Áreas e Perímetros do Subsolo	44
Tabela 2 – Áreas e Perímetros do Térreo	45
Tabela 3 – Áreas e Perímetros dos Pavimentos Tipo	45
Tabela 4 – Áreas e Perímetros do Terraço	47
Tabela 5 – Levantamento de Cargas de Iluminação do Subsolo	48
Tabela 6 – Levantamento de Cargas de Iluminação do Térreo	48
Tabela 7 – Levantamento de Cargas de Iluminação dos Pavimentos Tipo	49
Tabela 8 – Levantamento de Cargas de Iluminação do Terraço	51
Tabela 9 – Levantamento de Cargas de Iluminação de Emergência	52
Tabela 10 – Distribuição de tomadas TUGs para o Subsolo	55
Tabela 11 – Distribuição de tomadas TUEs para o Subsolo	55
Tabela 12 – Distribuição de tomadas TUGs para o Térreo	56
Tabela 13 – Distribuição dos equipamentos de refrigeração do Térreo	57
Tabela 14 – Distribuição de tomadas TUEs para o Térreo	57
Tabela 15 – Distribuição de tomadas TUGs para os Pavimentos Tipo	58
Tabela 16 – Distribuição dos equipamentos de refrigeração dos Pavimentos Tipo	60
Tabela 17 – Distribuição de tomadas TUEs para os Pavimentos Tipo	61
Tabela 18 – Distribuição de tomadas TUGs para o Terraço	61
Tabela 19 – Distribuição de tomadas TUEs para o Terraço	61
Tabela 20 – Cálculo da Potência Ativa Total do Subsolo	63
Tabela 21 – Cálculo da Potência Aparente Total do Subsolo	63
Tabela 22 – Cálculo da Potência Ativa Total do Térreo	64
Tabela 23 – Cálculo da Potência Aparente Total do Térreo	64
Tabela 24 – Cálculo da Potência Ativa Total dos Pavimentos Tipo	64
Tabela 25 – Cálculo da Potência Aparente Total dos Pavimentos Tipo	65
Tabela 26 – Cálculo da Potência Ativa Total do Terraço	65
Tabela 27 – Cálculo da Potência Ativa Total do Terraço	65
Tabela 28 – Demanda provável do Subsolo	68
Tabela 29 – Critérios de Dimensionamento para Alimentação Elétrica do Subsolo	68
Tabela 30 – Demanda provável do Térreo	69
Tabela 31 – Critérios de Dimensionamento para Alimentação Elétrica do Térreo	69
Tabela 32 – Demanda provável dos Pavimentos Tipo	70
Tabela 33 – Critérios de Dimensionamento para Alimentação Elétrica dos Pavimentos Tipo	71
Tabela 34 – Demanda provável do Terraço	72
Tabela 35 – Critérios de Dimensionamento para Alimentação Elétrica do Terraço	72
Tabela 36 – Especificações de Dimensionamento para Fornecimento de Energia do Em- preendimento	73
Tabela 37 – Dimensionamento dos Circuitos do Subsolo	74

Tabela 38 – Balanceamento de Fases do Subsolo	75
Tabela 39 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo - QDC Parcial 1	77
Tabela 40 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo - QDC Parcial 2	77
Tabela 41 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo - QDC Parcial 3	78
Tabela 42 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo - QDC Principal	79
Tabela 43 – Balanceamento de Fases do Térreo	80
Tabela 44 – Dimensionamento dos Circuitos - QDC Parcial 1	82
Tabela 45 – Dimensionamento dos Circuitos - QDC Parcial 2	84
Tabela 46 – Dimensionamento dos Circuitos - QDC Parcial 3	86
Tabela 47 – Dimensionamento dos Circuitos - QDC Principal	88
Tabela 48 – Balanceamento de Fases dos Pavimentos Tipo	89
Tabela 49 – Dimensionamento dos Circuitos do Terraço	93
Tabela 50 – Balanceamento de Fases do Terraço	94
Tabela 51 – Dimensionamento dos Circuitos do Subsolo	96
Tabela 52 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo	97
Tabela 53 – Dimensionamento dos Circuitos dos Pavimentos Tipo	99
Tabela 54 – Dimensionamento dos Circuitos do Terraço	103
Tabela 55 – Dimensionamento dos eletrodutos do Subsolo	105
Tabela 56 – Dimensionamento dos eletrodutos do Térreo	106
Tabela 57 – Dimensionamento dos eletrodutos dos Pavimentos Tipo	106
Tabela 58 – Dimensionamento dos eletrodutos do Térreo	107
Tabela 59 – Dimensionamento dos DTMs do Subsolo	108
Tabela 60 – Dimensionamento dos DTM s dos Pavimentos Tipo	110
Tabela 61 – Dimensionamento dos DTM s dos Pavimentos Tipo	112
Tabela 62 – Dimensionamento dos DTM s do Terraço	116
Tabela 63 – Dimensionamento dos DRs do Subsolo	117
Tabela 64 – Dimensionamento dos DRs do Térreo	118
Tabela 65 – Dimensionamento dos DRs dos Pavimentos Tipo	118
Tabela 66 – Dimensionamento dos DRs do Terraço	119
Tabela 67 – Lista de Materiais do Subsolo	121
Tabela 68 – Lista de Materiais dos Pavimentos Tipo	124
Tabela 69 – Lista de Materiais dos Pavimentos Tipo	128
Tabela 70 – Lista de Materiais do Terraço	130
Tabela 71 – Especificações do Módulo Solar	137
Tabela 72 – Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos	140
Tabela 73 – Especificações do Inversor	142
Tabela 74 – Especificações dos dispositivos de proteção do inversor	144
Tabela 75 – Especificações da String Fotovoltaica	148
Tabela 76 – Especificações dos dispositivos de proteção dos módulos fotovoltaicos	149

Tabela 77 – Especificações da Bateria	151
Tabela 78 – Especificações dos dispositivos de proteção do banco de baterias	155
Tabela 79 – Lista de Materiais do Sistema Fotovoltaico	156
Tabela 80 – Custos CAPEX e OPEX da instalação	158
Tabela 81 – Parâmetros considerados para o cálculo de viabilidade econômica	159
Tabela 82 – Tarifa de energia	160
Tabela 83 – Parâmetros financeiros e operacionais do sistema fotovoltaico	161
Tabela 84 – Fluxo de caixa do investimento	161
Tabela 85 – Indicadores obtidos	163

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CV	Cavalo-vapor
DNI	Irradiação Normal Direta
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
DR	Dispositivos Diferenciais Residuais
DTMs	Disjuntores termomagnéticos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FP	Fator de Potência
GW	Gigawatts
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEA	Agência Internacional de Energia
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
kWp	Quilowatt-pico
LCOE	Custo Nivelado de Energia
MPPT	<i>Maximum Power Point</i>
MW	Megawatts
PERS	Programa de Energia Renovável
PIS	Programa de Integração Social
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PVOUT	<i>Specific Photovoltaic Power Output</i>

REN	Resolução Normativa
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUE	Tomada de uso específico
TUG	Tomada de uso geral
VPL	Valor Presente Líquido
W	Watts
VA	Volt-Ampère

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Contextualização	20
1.2	Objetivo	21
1.3	Objetivos Específicos	22
1.4	Relevância do Estudo	22
1.5	Justificativa	22
1.5.1	Importância Técnica	23
1.5.2	Viabilidade Econômica	23
1.5.3	Sustentabilidade	23
1.5.4	Organização	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	Energia Fotovoltaica	25
2.1.1	Aspectos Regulatórios no Brasil	26
2.1.2	Comparação Técnica entre Sistemas Ilhados e Conectados à Rede	26
2.2	Ilhamento	27
2.2.1	Definição, Causas e Impactos do Ilhamento	27
2.2.2	Métodos de Mitigação de Ilhamento	27
2.2.3	Normas Técnicas e Regulamentações	29
2.3	Eficiência Energética	30
2.3.1	Redução de Perdas e Estratégias de Otimização de Consumo	31
2.3.2	Integração dos Conceitos de Eficiência Energética em Projetos de Instalação Elétrica	32
2.3.3	Boas Práticas de Consumo no Contexto de Hotéis	33
2.4	Análise do retorno financeiro	34
2.4.1	Conceitos Fundamentais	34
2.4.2	Impactos de Incentivos Fiscais e Regulações	35
2.4.3	Comparação Financeira entre Sistemas	36
2.5	Projeto de instalações elétricas	37
2.5.1	Normas Técnicas Aplicáveis	37
2.5.1.1	ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão	37
2.5.1.2	ABNT NBR 15920: Eficiência Energética em Edificações	37
2.5.1.3	ABNT NBR 10898 – Sistemas de Iluminação de Emergência	38
2.6	Normas e Requisitos das Concessionárias	38
2.7	Integração das Normas	39

3	DESCRIÇÃO DO PROJETO DE ESTUDO	40
3.1	Subsolo	40
3.2	Térreo	40
3.3	Pavimentos Tipo	41
3.4	Terraço	42
3.5	Vistas do empreendimento	42
4	PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA	44
4.1	Dimensionamento de Carga	44
4.1.1	Levantamento das Áreas e Perímetros dos Cômodos	44
4.1.2	Subsolo	44
4.1.3	Térreo	44
4.1.4	Pavimentos Tipo	45
4.1.5	Terraço	46
4.2	Critério para Previsão de Iluminação	47
4.2.1	Subsolo	48
4.2.2	Térreo	48
4.2.3	Pavimentos Tipo	49
4.2.4	Terraço	51
4.2.5	Iluminação de Emergência	52
4.3	Levantamento das Demandas de Tomada	53
4.3.1	Subsolo	54
4.3.2	Térreo	55
4.3.3	Pavimentos Tipo	57
4.3.4	Terraço	61
4.4	Cálculo da Demanda Total de Potência	62
4.4.1	Subsolo	62
4.4.2	Térreo	63
4.4.3	Pavimentos Tipo	64
4.4.4	Terraço	65
4.4.5	Considerações	66
4.5	Cálculo da demanda provável	66
4.5.1	Subsolo	67
4.5.2	Térreo	68
4.5.3	Pavimentos Tipo	70
4.5.4	Terraço	71
4.5.5	Considerações	72
4.6	Divisão dos circuitos	73
4.6.1	Subsolo	73
4.6.1.1	Divisão entre Fases	75

4.6.2	Térreo	76
4.6.2.1	Divisão entre Fases	79
4.6.3	Pavimentos Tipo	81
4.6.3.1	Divisão entre Fases	88
4.6.4	Terraço	92
4.6.4.1	Divisão entre Fases	94
4.7	Dimensionamento dos condutores	95
4.7.1	Subsolo	96
4.7.2	Térreo	97
4.7.3	Pavimentos Tipo	99
4.7.4	Terraço	103
4.8	Dimensionamento dos Eletrodutos	104
4.8.1	Subsolo	105
4.8.2	Térreo	105
4.8.3	Pavimentos Tipo	106
4.8.4	Terraço	107
4.9	Dimensionamento dos Condutores e Eletroduto do Circuito de Distribuição	107
4.10	Dimensionamento dos Disjuntores Termomagnéticos	107
4.10.1	Subsolo	108
4.10.2	Térreo	109
4.10.3	Pavimentos Tipo	111
4.10.4	Terraço	115
4.11	Dimensionamento dos Dispositivos Diferenciais Residuais	116
4.11.1	Subsolo	117
4.11.2	Térreo	117
4.11.3	Pavimentos Tipo	118
4.11.4	Terraço	118
4.12	Aterramento da Instalação	119
4.13	Dimensionamento do Dispositivo de Proteção contra Surtos	120
4.14	Lista de materiais	121
4.14.1	Subsolo	121
4.14.2	Térreo	124
4.14.3	Pavimentos Tipo	127
4.14.4	Terraço	130
5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO . .	134
5.1	Incidência de Radiação Solar	134
5.2	Dimensionamento do consumo médio	135
5.2.1	Cálculo do Consumo Energético Médio	136
5.3	Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos	137

5.3.1	Cálculo da Cobertura Energética do Sistema Proposto	140
5.4	Dimensionamento do inversor híbrido	141
5.4.1	Cálculo da potência do inversor	142
5.4.2	Especificações Técnicas do Inversor	142
5.4.3	Dimensionamento dos dispositivos de segurança	144
5.5	Dimensionamento das <i>Strings</i>	144
5.5.1	Configuração das <i>Strings</i>	144
5.5.2	Número Máximo de Módulos por <i>String</i>	145
5.5.3	Número de <i>Strings</i>	146
5.6	Distribuição das <i>Strings</i> entre os Inversores	148
5.6.1	<i>String Box</i>	148
5.6.2	Dimensionamento dos dispositivos de segurança	149
5.7	Dimensionamento do Banco de Baterias	150
5.7.1	Potência Necessária por Inversor	150
5.7.2	Organização das Baterias em Série e Paralelo	151
5.7.3	Número Total de Baterias para o sistema	153
5.7.4	Autonomia do Banco de Baterias	154
5.7.5	Dimensionamento dos dispositivos de segurança	155
5.8	Lista de materiais	155
6	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	158
7	RESULTADOS E ANÁLISES	165
8	CONCLUSÕES	169
9	TRABALHOS FUTUROS	170
 REFERÊNCIAS		171
 ANEXO A - PLANTA BAIXA ELÉTRICA DO SUBSOLO .		174
 ANEXO B - PLANTA DE QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DO SUBSOLO		175
 ANEXO C - PLANTA BAIXA ELÉTRICA DO TÉRREO .		176
 ANEXO D - PLANTA DE QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DO TÉRREO		177

ANEXO E - PLANTA BAIXA ELÉTRICA DOS PAVIMENTOS TIPO	178
ANEXO F - PLANTA DE QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DOS PAVIMENTOS TIPO	179
ANEXO G - PLANTA BAIXA ELÉTRICA DO TERRAÇO	180
ANEXO H - PLANTA DE QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DO TERRAÇO	181
ANEXO I - DIAGRAMA UNIFILAR - SISTEMA FOTOVOLTAICO	182

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Nos últimos anos, o aumento acelerado do consumo de energia tem gerado uma crescente pressão sobre as fontes tradicionais de geração, como os combustíveis fósseis, responsáveis por uma parte significativa das emissões de gases de efeito estufa e do aquecimento global. Esse cenário tem acelerado a busca por soluções mais sustentáveis e eficientes, e as energias renováveis, especialmente a energia solar fotovoltaica, surgem como alternativas promissoras para diversificar a matriz energética e mitigar os impactos ambientais. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2024), o uso de sistemas fotovoltaicos tem se expandido globalmente, impulsionado pela redução dos custos dos painéis solares, avanços nas tecnologias de armazenamento e incentivos fiscais, resultando em um crescimento exponencial na geração de energia limpa.

No Brasil, a energia fotovoltaica tem se consolidado como a principal fonte de expansão na matriz elétrica. Em 2024, a capacidade instalada de geração solar fotovoltaica atingiu aproximadamente 52 gigawatts (GW), representando um crescimento expressivo de 40% em relação aos 37 GW registrados em 2023. Esse avanço reforça o papel da energia solar na diversificação da matriz energética nacional, impulsionando a transição para fontes renováveis. (ANEEL, 2024).

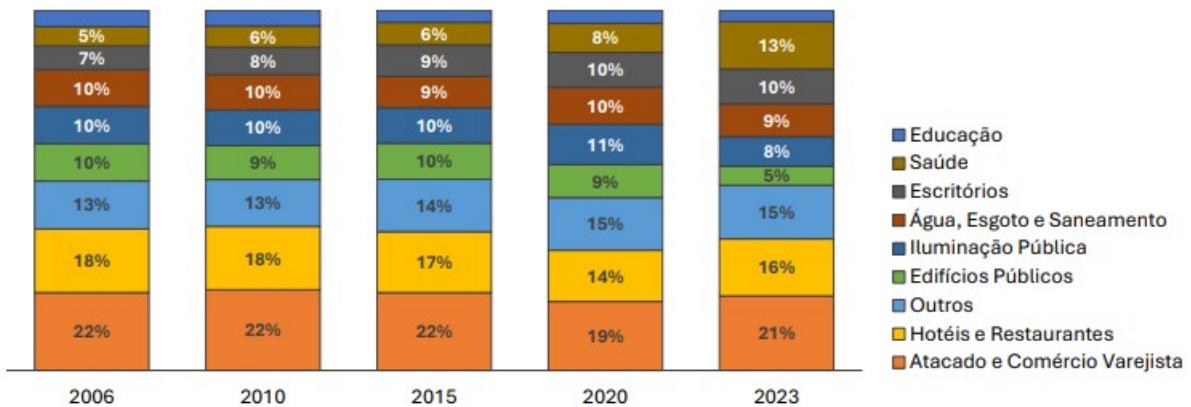
Além do aumento da capacidade instalada, 2024 marcou um recorde na implantação de novas usinas, com 301 plantas distribuídas em 16 estados brasileiros. Entre as fontes predominantes, a energia solar fotovoltaica respondeu por 51,87% da potência instalada, seguida pela energia eólica, com 39,26%. Dentre os novos empreendimentos, 147 usinas solares adicionaram 5.629,69 megawatts (MW) à matriz elétrica nacional, consolidando a energia solar como a principal força motriz da expansão energética no Brasil (ANEEL, 2024).

A transição para fontes de energia renováveis não é apenas uma necessidade ambiental, mas também uma estratégia inteligente para a redução de custos operacionais em diversos setores, como o de hospedagem. A adoção de sistemas fotovoltaicos em hotéis, por exemplo, representa não apenas um avanço em termos de sustentabilidade, mas também oferece um retorno financeiro significativo. A implementação de sistemas fotovoltaicos pode resultar em uma considerável redução nas despesas com eletricidade, tornando-se uma solução viável a longo prazo para o setor hoteleiro.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o setor de hospedagem, juntamente com restaurantes, ocupa a segunda posição no *ranking* de consumo de energia no setor de serviços entre 2006 e 2023, ficando atrás apenas do segmento de comércio varejista. Esse dado reforça a relevância da busca por estratégias que promovam a otimização do

consumo energético e a adoção de soluções sustentáveis, como os sistemas fotovoltaicos. A Figura 1 ilustra o consumo de energia por segmento do setor de serviços, destacando a participação expressiva do setor hoteleiro e de alimentação (EPE, 2024).

Figura 1 – Consumo Final Energético por Segmento no Setor de Serviços



Fonte:(EPE, 2024).

Contudo, a expansão da tecnologia fotovoltaica exige um planejamento técnico e regulatório minucioso para garantir a eficiência e a segurança dos sistemas. Um dos principais desafios técnicos enfrentados na implementação de sistemas fotovoltaicos é o fenômeno do ilhamento, que ocorre quando a geração de energia continua de forma autônoma durante falhas na rede elétrica, podendo resultar em riscos, como choques elétricos durante manutenções e sobrecarga de componentes. Embora o ilhamento permita que o sistema continue operando, ele compromete a segurança e a qualidade do fornecimento de energia. Para mitigar esses riscos, é fundamental a instalação de mecanismos de proteção adequados, como inversores com função de desligamento automático, que garantem a segurança do sistema e evitam danos aos equipamentos e à rede elétrica (ABNT, 2013b).

Com o aumento da demanda por soluções energéticas mais eficientes, a otimização do consumo de energia torna-se um ponto crucial. Projetos de instalações elétricas devem ser elaborados não apenas para integrar sistemas fotovoltaicos, mas também para incorporar tecnologias que melhorem a eficiência do consumo e minimizem as perdas de energia dentro das instalações. A gestão eficiente da energia, juntamente com fontes renováveis, pode resultar em uma significativa redução nos custos operacionais de hotéis e outros tipos de empreendimentos, além de contribuir de maneira efetiva para a preservação ambiental.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de geração fotovoltaica eficiente, incorporando estratégias de anti-ilhamento para garantir segurança operacional e viabilidade econômica. Para isso, busca-se atender às demandas energéticas específicas do

empreendimento, em conformidade com as normas técnicas brasileiras. Além disso, será elaborado um projeto elétrico detalhado e normatizado, avaliando sua viabilidade técnica e econômica, considerando as particularidades operacionais do setor hoteleiro.

1.3 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Elaborar um projeto detalhado de instalações elétricas para o sistema fotovoltaico, incluindo diagramas unifilares, *layouts* físicos e o dimensionamento adequado dos componentes, a fim de garantir a eficiência e segurança do sistema.
2. Propor estratégias de eficiência energética viáveis para a operação do hotel, levando em consideração o perfil de consumo energético, além de identificar possíveis otimizações na demanda para reduzir custos e aumentar a sustentabilidade.
3. Estudar as melhores práticas para mitigação de ilhamento em sistemas fotovoltaicos, com foco na análise das normas técnicas relevantes, como a ABNT NBR 16149 e ABNT NBR 16150, para assegurar a conformidade e segurança operacional.
4. Avaliar o retorno financeiro do sistema fotovoltaico, utilizando métricas como *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), considerando custos de instalação, manutenção e economia de energia, além de outros indicadores como o Custo Nivelado de Energia (LCOE) e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

A implementação desses objetivos não só permitirá explorar o potencial técnico e econômico da energia fotovoltaica no setor hoteleiro, como também contribuirá significativamente para a sustentabilidade do empreendimento, ao reduzir sua dependência de fontes de energia convencionais.

1.4 Relevância do Estudo

O estudo de caso busca alinhar os objetivos técnicos e econômicos com a crescente demanda por soluções sustentáveis no setor de hospitalidade, que apresenta alto consumo energético. A pesquisa fornecerá informações que podem orientar escolhas estratégicas em outros empreendimentos com características semelhantes.

1.5 Justificativa

A adoção de um sistema de geração fotovoltaica em hotéis apresenta grande relevância técnica, econômica de sustentabilidade. Esses empreendimentos possuem alto consumo energético devido à operação contínua de equipamentos como sistemas de

climatização, iluminação, lavanderia e aquecimento de água, tornando a gestão energética eficiente uma prioridade estratégica.

1.5.1 Importância Técnica

Do ponto de vista técnico, a segurança do sistema é crucial para o sucesso da operação de sistemas fotovoltaicos, tanto em ambientes conectados à rede quanto em configurações ilhadas. Problemas como o ilhamento não intencional podem representar riscos significativos para a integridade dos equipamentos e para a segurança dos trabalhadores durante manutenções na rede elétrica. Nesse contexto, o desenvolvimento de estratégias para prevenir ou mitigar tais riscos, como a aplicação de dispositivos de proteção e monitoramento adequados, é essencial para garantir a conformidade com as normas técnicas e promover a confiabilidade das instalações fotovoltaicas (IEEE 1547, 2018).

1.5.2 Viabilidade Econômica

A elevada demanda por soluções sustentáveis e eficientes no setor de energia torna crucial a busca por alternativas que minimizem as despesas operacionais. Um sistema fotovoltaico bem dimensionado pode gerar uma economia significativa ao longo do tempo, reduzindo os custos com energia elétrica e proporcionando um retorno financeiro atrativo. A economia gerada pode ser reinvestida em áreas estratégicas do hotel, potencializando sua competitividade no mercado.

1.5.3 Sustentabilidade

A redução do impacto ambiental é um dos principais benefícios da energia solar. A geração fotovoltaica contribui para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa, alinhando o hotel às demandas crescentes por práticas sustentáveis e atendendo às expectativas de clientes preocupados com questões ambientais. A adoção dessa tecnologia também pode ser um diferencial competitivo, reforçando a imagem do hotel como uma empresa socialmente responsável.

Portanto, a implementação de um sistema fotovoltaico neste estudo de caso é justificada não apenas pela possibilidade de reduzir custos e impactos ambientais, mas também pela contribuição para a segurança e a sustentabilidade das operações do hotel, fortalecendo seu posicionamento no mercado.

1.5.4 Organização

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1: Introdução – Apresenta o contexto e a relevância do monitoramento energético, abordando desafios técnicos, como o ilhamento em sistemas fotovoltaicos, e estratégias de mitigação. Estabelece objetivos para desenvolver um sistema eficiente, seguro e economicamente viável para o setor hoteleiro.
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica – Explora conceitos de eficiência energética, sistemas fotovoltaicos e automação no setor hoteleiro. Aborda a classificação dos sistemas fotovoltaicos em *on-grid*, *off-grid* e híbridos, além da viabilidade econômica analisada por indicadores como *Payback*, VPL, TIR e LCOE.
- Capítulo 3: Descrição do Projeto de Estudo – Detalha a área e as plantas arquitônicas do empreendimento hoteleiro, utilizadas para a alocação dos pontos de iluminação e tomadas.
- Capítulo 4: Projeto de Instalação Elétrica – Aborda o detalhamento do desenvolvimento do projeto de instalação elétrica, realizado em conformidade com a NBR 5410.
- Capítulo 5: Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico – Aborda todo o detalhamento realizado para o dimensionamento do sistema fotovoltaico do empreendimento, considerando a área disponível para instalação, a estimativa de demanda energética e a escolha dos componentes para otimizar a geração de energia.
- Capítulo 6: Análise de Viabilidade – Analisa a viabilidade do sistema fotovoltaico com base em indicadores financeiros como *Payback*, VPL e TIR, considerando custos de instalação e economia gerada ao longo da vida útil do sistema.
- Capítulo 7: Resultados e Análises – Avalia a degradação dos painéis solares e a substituição de componentes ao longo da vida útil do sistema, relacionando o crescimento da economia com o aumento das tarifas de energia. Além disso, a viabilidade do sistema é analisada por meio do LCOE, demonstrando a vantagem financeira da energia solar em comparação com a compra de eletricidade da concessionária.
- Capítulo 8: Conclusão – Considerações finais, destacando as contribuições do trabalho e reforçando a viabilidade do investimento.
- Capítulo 9: Trabalhos futuros – Indica potenciais rumos para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia Fotovoltaica

A energia fotovoltaica é uma fonte renovável que converte a luz solar em eletricidade por meio de células solares, geralmente feitas com materiais semicondutores como silício monocristalino ou policristalino. Esses materiais facilitam a movimentação de elétrons quando expostos à radiação solar, gerando o efeito fotovoltaico. Esse efeito ocorre quando fótons de luz são absorvidos pelo semicondutor, excitando os elétrons e permitindo sua transição para a banda de condução. Esse movimento resulta em uma corrente elétrica contínua, que pode ser utilizada diretamente ou convertida para corrente alternada, atendendo a várias aplicações (GREEN, 2020).

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em três categorias principais:

1. Sistemas *On-Grid*: Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública permitem que a energia gerada seja consumida diretamente no local de instalação. Quando há excedente de geração, a energia é injetada na rede elétrica, gerando créditos para o consumidor, que podem ser utilizados em períodos de menor produção. No Brasil, a regulamentação desses sistemas é estabelecida pela Resolução Normativa nº 1059 da ANEEL (ANEEL, 2021), garantindo benefícios econômicos, como a compensação de energia elétrica gerada. Esses sistemas são vantajosos em áreas urbanas ou próximas da rede elétrica, pois eliminam a necessidade de armazenamento de energia, tornando-se mais econômicos e com menor custo de manutenção.
2. Sistemas *Off-Grid* (ou sistemas ilhadados): São sistemas independentes, que operam de forma autônoma e não estão conectados à rede elétrica. Comumente utilizados em regiões isoladas ou locais remotos, onde a expansão da rede elétrica é inviável, esses sistemas geralmente incluem baterias para armazenamento de energia, garantindo o fornecimento durante a noite ou em períodos de baixa irradiação solar (GREEN, 2020).
3. Sistemas Híbridos: Esses sistemas combinam as características dos modelos *on-grid* e *off-grid*, permitindo que o usuário utilize tanto a energia da rede elétrica quanto a gerada e armazenada no próprio sistema. São ideais para locais onde a confiabilidade do fornecimento de energia é uma preocupação, pois oferecem maior flexibilidade e segurança no abastecimento (VILLALVA, 2012). Em caso de falha na rede elétrica, o sistema híbrido pode continuar fornecendo energia a partir das baterias ou da energia gerada, garantindo o fornecimento contínuo. Este modelo é cada vez mais popular em áreas que enfrentam problemas de interrupções frequentes no fornecimento de energia elétrica ou em zonas rurais com infraestrutura elétrica instável.

2.1.1 Aspectos Regulatórios no Brasil

No Brasil, a regulamentação dos sistemas fotovoltaicos é definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece as diretrizes para a operação e integração dessas tecnologias à rede elétrica. Um marco importante para a inserção de sistemas de microgeração e minigeração distribuída foi a Resolução Normativa (REN) nº 482/2012, que instituiu o sistema de compensação de energia elétrica. Com isso, o consumidor passou a ter a possibilidade de gerar sua própria energia e compensar o consumo da rede elétrica (ANEEL, 2012).

Em seguida, a REN 482/2012 foi complementada pela REN 687/2015, que ajustou as regras com o objetivo de melhorar a viabilidade dos sistemas de geração distribuída e facilitar sua adesão. Essa regulamentação trouxe mudanças importantes, como a exigência de medição bidirecional para sistemas on-grid, a definição de prazos para a conexão e a especificação de critérios de segurança e interoperabilidade dos sistemas (ANEEL, 2015).

A REN 687/2015 também foi sucedida pela REN 814/2017, que introduziu mais ajustes, focando na melhoria da gestão e controle da geração distribuída. Ela ampliou os requisitos de comunicação entre as distribuidoras e os geradores, além de reforçar os critérios técnicos para a interligação de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica (ANEEL, 2017).

Com o passar dos anos, a REN 814/2017 passou por diversas atualizações, sendo substituída pela REN 1059/2023, que trouxe mudanças importantes nas regras para a geração distribuída, incluindo novos critérios de compensação de energia elétrica, detalhamentos sobre a medição bidirecional e a conexão dos sistemas, com foco na modernização e no incentivo à expansão da geração distribuída no país (ANEEL, 2021).

2.1.2 Comparaçao Técnica entre Sistemas Ilhados e Conectados à Rede

A escolha entre sistemas ilhados e conectados à rede depende de diversos fatores técnicos e econômicos. A seguir, são analisadas as principais diferenças entre esses dois tipos de sistemas:

1. Segurança e Confiabilidade: Os sistemas conectados à rede, em geral, proporcionam maior confiabilidade e estabilidade, uma vez que podem contar com o suporte da rede elétrica para suprir a demanda durante períodos de baixa produção solar. Em contrapartida, os sistemas ilhados, embora operem de forma independente, exigem soluções de armazenamento robustas, como baterias de íons de lítio, para garantir a continuidade do fornecimento de energia.
2. Custo e Viabilidade Econômica: A instalação de sistemas conectados à rede tende a ter um custo inicial mais baixo, especialmente quando se considera a possibilidade

de compensação de energia, conforme estabelecido pela Resolução Normativa Nº 1059/2023. Por outro lado, os sistemas ilhados exigem um investimento maior em baterias e outros componentes de armazenamento, o que pode impactar a viabilidade econômica a longo prazo.

3. Impacto Ambiental: Ambos os tipos de sistemas são considerados sustentáveis, pois utilizam fontes de energia renováveis. No entanto, a eficiência do armazenamento em sistemas ilhados e a dependência de baterias podem acarretar implicações ambientais adicionais, em razão do processo de fabricação e descarte dos materiais.

Esses aspectos devem ser minuciosamente avaliados para a escolha do sistema mais adequado a cada contexto específico.

2.2 Ilhamento

O fenômeno de ilhamento ocorre quando um sistema fotovoltaico continua a gerar energia elétrica mesmo após ser desconectado da rede elétrica principal, mantendo parte da infraestrutura energizada. Esse cenário, que pode representar riscos tanto para a operação da rede quanto para a segurança de trabalhadores, ocorre principalmente devido a falhas em dispositivos de proteção ou interrupções inesperadas na rede. Compreender suas causas, impactos e métodos de mitigação é essencial para garantir a segurança e a estabilidade do sistema (SILVA, 2016).

2.2.1 Definição, Causas e Impactos do Ilhamento

O ilhamento pode ser classificado em duas categorias: intencional e não intencional. O primeiro ocorre quando a concessionária planeja e mantém uma parte da rede isolada, utilizando fontes de geração distribuída. Já o ilhamento não intencional acontece sem planejamento, geralmente devido a falhas nos dispositivos de proteção ou defeitos inesperados na infraestrutura externa (SILVA, 2016).

Entre os impactos técnicos, o ilhamento pode danificar equipamentos sensíveis, sobrecarregar circuitos e dificultar o controle da tensão e da frequência da rede elétrica. Além disso, há um risco significativo de energização acidental de linhas em manutenção, representando perigo para as equipes de trabalho, especialmente se não houver proteção adequada.

2.2.2 Métodos de Mitigação de Ilhamento

Para mitigar os riscos associados ao ilhamento, diversas abordagens podem ser adotadas, dependendo da configuração do sistema fotovoltaico e do inversor. As principais técnicas de mitigação podem ser agrupadas em métodos locais, remotos, ativos e passivos,

com base em sua forma de operação e na localização do sistema de monitoramento e controle.

1. Métodos remotos: Os métodos remotos envolvem a monitorização da rede elétrica a partir de pontos distantes do sistema fotovoltaico. A detecção de ilhamento é realizada fora da área local do gerador, sendo particularmente eficaz em sistemas maiores ou instalados em redes elétricas extensas. Um exemplo de método remoto é o uso de monitoramento via comunicação de dados, onde sensores externos transmitem informações sobre o *status* da rede e do sistema fotovoltaico para uma central de controle. A partir disso, é possível detectar sinais de ilhamento e realizar a desconexão remota do sistema fotovoltaico, sem a necessidade de intervenção física imediata. Entretanto, essa abordagem tende a ser mais cara, devido à infraestrutura necessária para a comunicação e monitoramento remoto, o que pode ser um fator limitante em sistemas de menor porte (ISLAM; XU; RAHMAN, 2016).
2. Métodos locais: Os métodos locais de mitigação de ilhamento dependem da instalação de sensores e dispositivos diretamente no inversor ou no sistema fotovoltaico. Esses dispositivos monitoram variáveis como tensão, corrente e frequência, sendo capazes de detectar desvios que indicam a ocorrência de ilhamento. O objetivo principal é garantir que, ao detectar a desconexão da rede, o inversor ou o sistema fotovoltaico seja automaticamente desligado, evitando a geração de energia isolada.

Entre os métodos locais mais comuns, destacam-se:

- Detecção de Variação de Tensão e Frequência: Sensores locais no inversor monitoram a tensão e a frequência da rede, desconectando automaticamente o sistema fotovoltaico caso esses parâmetros se afastem dos níveis normais, prevenindo o ilhamento (ABNT, 2013b).
 - Relés de Proteção Locais: Relés especializados no inversor são programados para monitorar a rede elétrica e desligar o sistema fotovoltaico em caso de ilhamento. Um relé é um dispositivo elétrico que atua como um interruptor automático, sendo ativado por sinais de controle (como variações de tensão ou frequência) para proteger o sistema contra falhas. No contexto dos sistemas fotovoltaicos, ele garante que o sistema seja desconectado da rede quando detectar um ilhamento, evitando a geração de energia isolada. Esses dispositivos oferecem proteção eficiente, especialmente para sistemas de menor porte ou em configurações simples (ABNT, 2013b).
3. Métodos ativos: Métodos ativos envolvem a injeção de sinais artificiais na rede elétrica para avaliar sua resposta. Essa abordagem é eficaz para aumentar a precisão da detecção, permitindo que o sistema fotovoltaico verifique ativamente a presença

da rede. Ao gerar uma pequena perturbação, como uma variação de frequência ou amplitude, o sistema analisa a resposta da rede para verificar se houve desconexão. Um exemplo clássico é o *Anti-Islanding Active Control*, onde o sistema fotovoltaico envia uma modulação para verificar se a rede responde corretamente. Caso a resposta não seja observada, isso indica a desconexão da rede, e o sistema é desligado automaticamente (SILVA, 2016).

4. Métodos passivos: Ao contrário dos métodos ativos, os métodos passivos não injetam sinais na rede, mas monitoram as variações naturais de frequência e tensão. A principal vantagem dessa abordagem é que ela não interfere na operação da rede, apenas observa as condições de operação do sistema elétrico. Uma das técnicas passivas mais conhecidas é a detecção de mudanças na frequência ou na fase da tensão da rede. Quando a rede é desconectada, o sistema fotovoltaico opera fora dos parâmetros normais de frequência e tensão, indicando um possível ilhamento. Embora eficaz, essa abordagem pode ter limitações ao distinguir falhas reais de variações transitórias na rede (SILVA, 2016).
5. Métodos híbridos: Uma estratégia cada vez mais utilizada é a combinação de métodos ativos e passivos, visando melhorar a eficácia na detecção e minimizar os riscos de falsos positivos e negativos. A combinação permite uma detecção mais confiável e uma resposta mais rápida. A integração de diferentes abordagens proporciona maior robustez, corrigindo as limitações específicas de cada método.

A escolha do método de mitigação de ilhamento adequado depende de diversos fatores, como a escala do sistema fotovoltaico, os custos envolvidos, as características da rede elétrica e as exigências regulatórias. A implementação de técnicas eficientes de detecção e desconexão automática é fundamental para garantir a segurança das instalações e a conformidade com as normas de operação dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica. Em projetos de maior porte, a combinação de métodos locais, remotos, ativos e passivos pode ser a solução mais eficaz para minimizar os riscos de ilhamento.

2.2.3 Normas Técnicas e Regulamentações

Com o crescimento dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil, as normas técnicas desempenham um papel crucial na garantia da segurança, eficiência e confiabilidade desses sistemas. As diretrizes necessárias para a instalação e operação desses sistemas são estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que define requisitos essenciais para assegurar seu funcionamento adequado.

A ABNT NBR 16149 (ABNT, 2013a) estabelece os requisitos gerais para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, abrangendo aspectos fundamentais como instalação, operação e segurança. Essa norma garante que os sistemas sejam projetados para preservar

a integridade da rede elétrica, assegurando a operação segura e contribuindo para a confiabilidade do fornecimento de energia.

De forma complementar, a ABNT NBR 16150 (ABNT, 2013b) detalha os requisitos de proteção, incluindo métodos de detecção e desconexão em casos de ilhamento. A norma especifica, por exemplo, que, em caso de interrupção da energia, o sistema fotovoltaico deve ser automaticamente desconectado, evitando a geração de energia em condições inseguras e protegendo tanto a infraestrutura elétrica quanto os profissionais responsáveis pela manutenção.

Essas regulamentações são essenciais não apenas para garantir a segurança e a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, mas também para assegurar sua integração adequada com a rede elétrica, prevenindo interferências ou riscos operacionais. Dessa forma, as normas têm um papel fundamental na evolução sustentável e segura da energia fotovoltaica no Brasil.

2.3 Eficiência Energética

A eficiência energética é um conceito fundamental que visa reduzir o consumo de energia, mantendo ou até melhorando o desempenho dos sistemas. Ela envolve a adoção de práticas e tecnologias para otimizar todos os aspectos relacionados à geração, distribuição e consumo de energia. O objetivo principal é minimizar desperdícios e promover a sustentabilidade dos sistemas, tanto no setor industrial quanto no residencial, além de incentivar o uso de energias renováveis. Dessa forma, a eficiência energética contribui diretamente para a redução de custos, maior confiabilidade dos sistemas e menor impacto ambiental.

No contexto de um projeto de instalação elétrica de um hotel, a eficiência energética assume um papel ainda mais relevante. Além de buscar a redução no consumo de energia elétrica, é fundamental que o projeto incorpore práticas sustentáveis, como a utilização de energias renováveis, para minimizar o impacto ambiental e promover a sustentabilidade do hotel. Nesse cenário, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para suprir parte das demandas de energia do hotel se torna uma alternativa vantajosa, não apenas para reduzir os custos operacionais, mas também para atender à crescente demanda por soluções ecológicas e eficientes no setor hoteleiro.

Para sistemas fotovoltaicos instalados em hotéis, a eficiência energética se concentra principalmente na otimização do uso de energia gerada localmente. O dimensionamento adequado do sistema fotovoltaico é crucial para garantir que ele atenda de forma eficaz às necessidades de energia do hotel, equilibrando o consumo e a geração, sem sobrecarregar a infraestrutura elétrica existente. Além disso, o uso de tecnologias como automação e controle inteligente do consumo de energia pode aumentar ainda mais a eficiência do

sistema, monitorando e ajustando os níveis de consumo em tempo real, conforme as demandas do hotel variam ao longo do dia.

2.3.1 Redução de Perdas e Estratégias de Otimização de Consumo

A redução de perdas em sistemas energéticos é um dos pilares para alcançar maior eficiência e sustentabilidade. Perdas podem ocorrer em diferentes etapas do processo, desde a geração de energia até o seu consumo final. Identificar essas etapas críticas e aplicar estratégias direcionadas para mitigá-las é essencial para maximizar o aproveitamento da energia gerada, reduzir custos e promover o uso responsável dos recursos.

Nos sistemas fotovoltaicos, por exemplo, as perdas podem ser atribuídas a fatores como a conversão de energia pelos inversores, as resistências nos cabos e os desafios no armazenamento de energia. A utilização de inversores de alta eficiência contribui para minimizar as perdas durante o processo de conversão, aumentando a energia utilizável no sistema. Além disso, o correto dimensionamento do *layout* elétrico, com a escolha de cabos adequados e a minimização das distâncias entre os módulos fotovoltaicos e os inversores, pode reduzir significativamente as perdas resistivas.

Outro ponto essencial é a manutenção preventiva. A limpeza regular dos painéis solares e a inspeção periódica dos inversores e cabeamentos são fundamentais para garantir o funcionamento adequado do sistema e prevenir problemas que possam comprometer sua eficiência ao longo do tempo. Uma manutenção bem executada contribui para manter o desempenho esperado e prolongar a vida útil dos equipamentos, evitando prejuízos significativos na geração de energia (PINHO; GALDINO, 2014).

Além das estratégias técnicas, a implementação de tecnologias de monitoramento em tempo real permite uma gestão mais eficiente do consumo. Sistemas de controle automatizado, como os que utilizam sensores e algoritmos inteligentes, podem identificar padrões de uso e otimizar o desempenho do sistema conforme as demandas energéticas. Esses sistemas também são capazes de detectar anomalias que podem indicar perdas ocultas ou subutilização dos recursos disponíveis.

A adoção de soluções inovadoras, como o rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT - *Maximum Power Point Tracking*) em inversores, melhora a captação da energia mesmo em condições de baixa irradiação solar (MURILLO-YARCE, 2020). Já em sistemas isolados, a escolha de baterias de alta eficiência, combinada com controladores de carga otimizados, ajuda a reduzir desperdícios no armazenamento e garante um fornecimento contínuo de energia.

Essas estratégias, quando implementadas de forma integrada, não apenas aumentam a eficiência energética, mas também tornam os sistemas mais confiáveis e ambientalmente responsáveis. A busca por redução de perdas deve ser encarada como uma prática

contínua e alinhada aos avanços tecnológicos, garantindo que as soluções energéticas sejam sustentáveis e preparadas para os desafios futuros.

2.3.2 Integração dos Conceitos de Eficiência Energética em Projetos de Instalação Elétrica

No planejamento e execução de sistemas elétricos, a eficiência energética é um aspecto fundamental que impacta diretamente tanto na redução de custos quanto na otimização do desempenho dos sistemas. Entre os vários fatores que devem ser considerados, destacam-se o efeito Joule, as quedas de tensão e o fator de potência, que, quando adequadamente dimensionados e gerenciados, contribuem significativamente para o aprimoramento da eficiência energética de instalações elétricas.

O efeito Joule é um fenômeno que ocorre sempre que a corrente elétrica passa por um condutor com resistência, resultando na dissipação de energia sob a forma de calor. Esse fenômeno é inevitável, independentemente do dimensionamento do condutor, embora o dimensionamento inadequado possa aumentar a quantidade de calor dissipado. Além de representar uma perda de energia, o efeito Joule pode acarretar sérios riscos de segurança, como incêndios, caso a dissipação térmica seja excessiva. Portanto, o correto dimensionamento dos cabos e condutores elétricos é essencial para evitar esse tipo de perda, garantindo não apenas a eficiência energética, mas também a segurança e a durabilidade do sistema elétrico. A escolha adequada dos cabos, levando em consideração fatores como a carga elétrica que será distribuída, a distância entre os pontos de consumo e o ponto de fornecimento de energia, minimiza as perdas térmicas e assegura o funcionamento adequado do sistema (COTRIM, 2008).

Outro ponto relevante é a queda de tensão, que pode ocorrer devido ao dimensionamento inadequado dos cabos ou pela grande distância entre o ponto de fornecimento e os pontos de consumo. Esse fenômeno resulta na perda de energia, impactando a performance dos equipamentos elétricos e, muitas vezes, reduzindo sua vida útil. Para evitar essas quedas, é necessário realizar o cálculo do baricentro da instalação elétrica, que define a localização ideal para o quadro de distribuição. A alocação estratégica do quadro de distribuição, preferencialmente mais próxima das maiores cargas, como chuveiros, fornos e outros equipamentos de alto consumo, é uma medida eficiente para minimizar as quedas de tensão (ABNT, 2004:2008). Assim, ao otimizar a distribuição da energia elétrica de forma estratégica dentro da edificação, é possível garantir um funcionamento mais eficiente e estável dos sistemas elétricos.

Além disso, a correção do fator de potência é outro aspecto crucial para a eficiência de uma instalação elétrica. O fator de potência baixo, frequentemente causado pelo consumo excessivo de energia reativa, pode resultar em sobrecarga nos transformadores e nos cabos de distribuição, além de acarretar custos adicionais com a cobrança de energia reativa. Equipamentos como motores de indução e transformadores são os principais

responsáveis pela geração de energia reativa. A correção desse fator é realizada, em muitos casos, por meio da instalação de bancos de capacitores, que atuam compensando a energia reativa consumida pelo sistema, melhorando a eficiência global do sistema elétrico (COTRIM, 2008). A ANEEL estabelece que o fator de potência das instalações deve ser superior a 0,92, a fim de evitar a cobrança de energia reativa excedente, garantindo uma gestão mais eficiente do consumo de energia. Dessa forma, a correção do fator de potência contribui diretamente para a redução dos custos operacionais e melhora a performance do sistema elétrico.

O efeito Joule, a queda de tensão e o fator de potência são três aspectos que impactam diretamente a eficiência de um sistema elétrico e, por isso, devem ser cuidadosamente considerados no projeto e na execução de instalações elétricas. O correto dimensionamento dos cabos, a escolha estratégica da localização do quadro de distribuição e a correção do fator de potência são medidas essenciais para garantir a eficiência energética, evitar perdas e garantir a segurança do sistema. A aplicação adequada desses princípios no planejamento de uma instalação elétrica não apenas otimiza o consumo de energia, mas também contribui para a durabilidade dos componentes e a redução de custos operacionais. Dessa forma, cada um desses fatores desempenha um papel fundamental na criação de sistemas elétricos mais sustentáveis e eficientes, com menor risco de falhas e maior confiabilidade.

2.3.3 Boas Práticas de Consumo no Contexto de Hotéis

No contexto de um hotel, onde o consumo energético tende a ser elevado devido à diversidade de serviços e ao grande número de equipamentos em uso, a automação desempenha um papel crucial na melhoria da eficiência energética. A implementação de tecnologias inteligentes para controlar o consumo de energia pode gerar economias significativas e contribuir para a sustentabilidade do empreendimento.

Além disso, a integração de sensores de presença, temperatura e umidade pode aprimorar ainda mais a gestão energética. O ar condicionado pode ser ajustado automaticamente para uma temperatura mais eficiente quando o sistema detecta a presença de pessoas no ambiente, otimizando o consumo energético de forma dinâmica, conforme a demanda real.

A combinação dessas tecnologias inteligentes, juntamente com o uso de equipamentos com selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), como lâmpadas, sistemas de climatização e aquecimento eficientes, não só melhora o conforto e a experiência dos hóspedes, mas também contribui significativamente para a redução de custos operacionais. O selo Procel garante que os equipamentos possuem baixo consumo de energia, o que potencializa ainda mais as ações de otimização energética no hotel (ENERGIA, 2019). A automação de sistemas de iluminação, climatização e aquecimento, junto com o uso de sensores e dispositivos inteligentes, resulta em uma solução

eficaz para otimizar o consumo de energia, promovendo um ambiente mais sustentável e economicamente eficiente.

2.4 Análise do retorno financeiro

A análise de retorno financeiro é essencial para avaliar a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos, especialmente no contexto de hotéis, onde o consumo de energia é significativo. Essa análise combina conceitos financeiros clássicos, como *Payback*, VPL e TIR, proporcionando uma visão abrangente sobre a rentabilidade e a sustentabilidade do investimento ao longo do tempo.

2.4.1 Conceitos Fundamentais

- *Payback*: O *Payback* é um indicador essencial para medir o tempo necessário para recuperar o investimento inicial com base nas economias proporcionadas pelo sistema fotovoltaico. Em hotéis, onde o consumo de energia elétrica tende a ser elevado, esse indicador se torna fundamental para determinar a rapidez com que o investimento se paga. O cálculo do *Payback* leva em conta variáveis como o custo de instalação, a eficiência dos painéis solares, os incentivos fiscais e os custos de manutenção e operação do sistema. Para sistemas fotovoltaicos, um *Payback* mais curto é desejável, pois reflete uma recuperação do investimento mais ágil.
- Valor Presente Líquido (VPL): O VPL é amplamente utilizado para avaliar a rentabilidade de investimentos, pois leva em consideração o valor do dinheiro ao longo do tempo. Esse indicador desconta os fluxos de caixa futuros esperados do sistema fotovoltaico, permitindo que se determine se o investimento gerará retornos financeiros ou prejuízos durante sua vida útil. Um VPL positivo indica que o sistema é financeiramente viável, ou seja, os benefícios futuros superam os custos iniciais. Esse indicador é particularmente relevante para sistemas fotovoltaicos, dado o seu ciclo de vida longo e a necessidade de uma análise financeira detalhada ao longo dos anos.
- Taxa Interna de Retorno (TIR): A TIR é a taxa de desconto que faz com que o VPL seja igual a zero, ou seja, é a taxa de retorno anual do investimento. Quanto maior a TIR, mais atrativo é o investimento, pois ela indica que o retorno financeiro do projeto é elevado. A TIR é um indicador fundamental para comparar diferentes alternativas de investimentos em projetos fotovoltaicos, sendo particularmente útil no contexto hoteleiro, onde a otimização do uso de capital disponível é crucial.
- Custo Nivelado de Energia (LCOE): O LCOE é uma métrica financeira que avalia o custo médio por unidade de energia gerada por um sistema ao longo de sua vida útil.

Esse indicador é fundamental para comparar o custo de produção de energia entre diferentes fontes, como energia solar fotovoltaica e fontes convencionais, considerando todos os custos envolvidos, incluindo o investimento inicial, operação, manutenção e vida útil do sistema. Para hotéis, o LCOE é crucial, pois permite avaliar a competitividade da energia solar em relação à energia elétrica convencional, fornecendo uma visão clara sobre o impacto econômico de adotar sistemas fotovoltaicos. Um LCOE mais baixo indica que a energia solar se torna uma opção mais viável financeiramente, contribuindo para a redução de custos operacionais a longo prazo.

2.4.2 Impactos de Incentivos Fiscais e Regulações

No Brasil, a regulamentação nacional e os incentivos fiscais desempenham um papel fundamental na viabilização dos sistemas fotovoltaicos. Além disso, os estados também possuem programas que incentivam a adoção de energia solar. Este trabalho abordará tanto os programas nacionais, que estabelecem as bases para a implementação de sistemas fotovoltaicos no país, quanto os específicos de Minas Gerais, onde o empreendimento será realizado, com destaque para o programa Sol de Minas, que oferece benefícios adicionais para tornar a energia solar mais acessível e economicamente viável.

Além da Resolução Normativa nº 1.059/2023 da ANEEL, que possibilita a compensação de energia gerada por sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, Minas Gerais disponibiliza incentivos por meio do Sol de Minas, que visa fomentar o uso de fontes renováveis, especialmente a energia solar. Entre os principais benefícios desse programa, destacam-se a redução das alíquotas do Imposto de Importação para equipamentos de energia solar, o que diminui significativamente o custo de aquisição de materiais e componentes essenciais para a instalação de sistemas fotovoltaicos. O financiamento do Programa de Energia Renovável Social (PERS) oferece condições favoráveis para famílias de baixa renda, tornando a energia solar acessível a um público mais amplo e sustentável. Além disso, o Crédito Pessoal CAIXA Energia Renovável, uma linha de financiamento oferecida pela Caixa Econômica Federal, apresenta condições especiais para a instalação de sistemas fotovoltaicos, tanto para residências quanto para empresas, como hotéis, que desejam adotar fontes de energia mais limpas e reduzir seus custos operacionais.

Esses incentivos estaduais, aliados às políticas federais como a isenção de PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) sobre a compra de equipamentos fotovoltaicos, tornam a adoção de sistemas solares não apenas viável, mas financeiramente acessível. Para hotéis e estabelecimentos comerciais com alto consumo energético, esses programas oferecem uma redução considerável nos custos iniciais, acelerando o retorno sobre o investimento e promovendo uma transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável.

2.4.3 Comparação Financeira entre Sistemas

A escolha entre sistemas fotovoltaicos conectados à rede e sistemas ilhados exige uma análise detalhada de diversos fatores financeiros, como custos iniciais, manutenção, vida útil e retorno financeiro. A seguir, são discutidas as principais diferenças entre essas duas opções:

- **Custos Iniciais:** Sistemas ilhados tendem a apresentar custos iniciais mais elevados, principalmente devido à necessidade de baterias para o armazenamento de energia. Essas baterias, essenciais para garantir o fornecimento contínuo de energia quando a geração solar é insuficiente, representam um investimento considerável. Já os sistemas conectados à rede podem ter custos iniciais mais baixos, especialmente quando associados a incentivos fiscais, como a isenção de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) e PIS/COFINS, que reduzem o preço dos equipamentos fotovoltaicos.
- **Manutenção:** A manutenção de sistemas conectados à rede geralmente é mais simples e menos frequente, uma vez que esses sistemas não dependem de baterias. Isso resulta em menores custos com reparos e substituições ao longo do tempo. Por outro lado, os sistemas ilhados exigem cuidados adicionais, como o monitoramento constante do desempenho das baterias e a substituição periódica das mesmas, o que pode aumentar os custos de operação e manutenção.
- **Vida Útil:** A vida útil dos componentes de ambos os sistemas varia, mas sistemas conectados à rede tendem a ter um ciclo de vida mais longo, uma vez que não utilizam baterias, cujas substituições ao longo do tempo são um fator importante a ser considerado. Inversores e outros componentes também precisam ser substituídos em intervalos de tempo, mas esses custos podem ser diluídos ao longo da vida útil do sistema.
- **Retorno Financeiro:** Em termos de retorno financeiro, sistemas conectados à rede podem apresentar uma rentabilidade mais atraente devido à compensação de energia gerada, que permite que o consumidor venda o excedente de energia de volta para a rede elétrica, gerando créditos que ajudam a reduzir a fatura de energia. Além disso, esses sistemas geralmente têm menor custo de manutenção. Já os sistemas ilhados dependem fortemente do perfil de consumo e da capacidade de armazenamento. O retorno financeiro desses sistemas pode ser mais lento, principalmente se o consumo for alto e as baterias não forem suficientes para armazenar energia para períodos de baixa geração.

Essa análise comparativa é crucial para a escolha do sistema mais adequado, considerando as particularidades de cada aplicação. No contexto de um hotel, onde o

consumo de energia pode ser elevado e variável ao longo do dia, é fundamental avaliar qual das opções proporciona um melhor equilíbrio entre custo e benefício, garantindo eficiência energética e viabilidade econômica a longo prazo.

2.5 Projeto de instalações elétricas

Os projetos de instalações elétricas são regulados por normas técnicas que asseguram a segurança, funcionalidade e eficiência energética de edificações. Além das normas nacionais, como a ABNT NBR 5410 e ABNT NBR 15920, também é fundamental atender aos padrões estabelecidos pelas concessionárias de energia elétrica, que regulam aspectos específicos relacionados à conexão das instalações à rede pública.

2.5.1 Normas Técnicas Aplicáveis

2.5.1.1 ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão

A norma ABNT NBR 5410 é a principal referência para o projeto e execução de instalações elétricas em baixa tensão. Seu objetivo é assegurar a proteção das pessoas, animais e bens, além de garantir o funcionamento adequado das instalações elétricas. A seguir, destacam-se os principais pontos abordados por esta norma:

- Dimensionamento de condutores: Assegura que os cabos utilizados nas instalações possam suportar a corrente elétrica de carga sem risco de superaquecimento.
- Sistemas de proteção: Define as medidas necessárias para proteger contra choques elétricos, curtos-circuitos e sobretensões, utilizando dispositivos como disjuntores e fusíveis.
- Aterramento e equipotencialização: Estabelece critérios para minimizar os riscos de descargas elétricas, garantindo a segurança dos usuários.
- Segurança em ambientes especiais: Define requisitos específicos para ambientes com maior risco, como banheiros, cozinhas e piscinas, onde a segurança deve ser ainda mais rigorosa.

2.5.1.2 ABNT NBR 15920: Eficiência Energética em Edificações

A norma ABNT NBR 15920 orienta a concepção de projetos arquitetônicos e de instalações com foco na promoção da eficiência energética nas edificações. Seu objetivo é reduzir o consumo de energia sem comprometer o conforto e a funcionalidade dos ambientes. Entre os principais tópicos abordados por esta norma, destacam-se:

- Iluminação eficiente: Incentiva o uso de tecnologias de iluminação mais econômicas, como lâmpadas LED, e a implementação de sistemas automatizados para otimizar o consumo.
- Equipamentos de alto desempenho: Recomenda a adoção de motores e aparelhos de elevado desempenho energético, reduzindo o consumo sem prejudicar a operação dos sistemas.
- Energia renovável: Estimula a integração de fontes de energia renovável, como sistemas fotovoltaicos, para promover a sustentabilidade e a redução da dependência de fontes não renováveis.
- Gestão inteligente: Incentiva a implementação de sistemas de automação predial para monitorar e controlar o consumo de energia, aumentando a eficiência e a conveniência.

2.5.1.3 ABNT NBR 10898 – Sistemas de Iluminação de Emergência

Esta norma estabelece os requisitos para o projeto, instalação e manutenção de sistemas de iluminação de emergência em edificações, com o objetivo de garantir a segurança das pessoas em situações de falta de energia elétrica, como em casos de incêndios ou outros acidentes. Ela define as características dos sistemas, incluindo luminárias, circuitos de alimentação, baterias e dispositivos de controle, além de orientar sobre tempo de autonomia e nível de iluminação necessário para a evacuação segura das pessoas.

2.6 Normas e Requisitos das Concessionárias

Além das normas da ABNT, é essencial atender às exigências técnicas estabelecidas pelas concessionárias de energia elétrica, que regulamentam aspectos específicos da conexão das instalações à rede pública. Essas normas variam entre as concessionárias, como Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), Neoenergia, Energisa, entre outras, mas geralmente incluem os seguintes requisitos:

- Padrão de entrada de energia: Definições sobre as dimensões das caixas de medição, os tipos de proteção e os sistemas de aterramento necessários.
- Demanda contratada: Determinação da potência máxima permitida, com o objetivo de evitar sobrecargas na rede elétrica.
- Qualidade de energia: Monitoramento e controle de harmônicos e distorções que possam afetar o funcionamento da rede elétrica.

- Fator de potência: Necessidade de correção do fator de potência, frequentemente com o uso de bancos de capacitores, especialmente em instalações com cargas indutivas significativas.

Cumprir essas normas é imprescindível para garantir a aprovação do projeto junto à concessionária e assegurar a conformidade com as exigências técnicas e regulatórias.

2.7 Integração das Normas

A integração das normas da ABNT com os regulamentos das concessionárias é fundamental para garantir projetos elétricos mais robustos, confiáveis e em conformidade com as exigências legais. Essa abordagem resulta em:

- Segurança: Protege tanto os usuários quanto a rede elétrica contra riscos e falhas, assegurando a integridade do sistema.
- Eficiência energética: Contribui para a redução de perdas elétricas e otimização do consumo de energia, beneficiando a economia e a sustentabilidade da edificação.
- Sustentabilidade: Garante conformidade com padrões de eficiência, promovendo a redução do impacto ambiental e favorecendo o uso de fontes de energia renováveis.

Por exemplo, ao instalar um sistema fotovoltaico conectado à rede, é essencial atender simultaneamente às normas da ABNT, como a NBR 5410 e a NBR 15920, aos manuais técnicos das concessionárias e às diretrizes estabelecidas pela Resolução Normativa nº 1059/2023 da ANEEL, que regula a micro e minigeração distribuída. Essa integração assegura que as instalações elétricas atendam aos requisitos técnicos, legais e ambientais, promovendo a segurança, funcionalidade e eficiência das edificações.

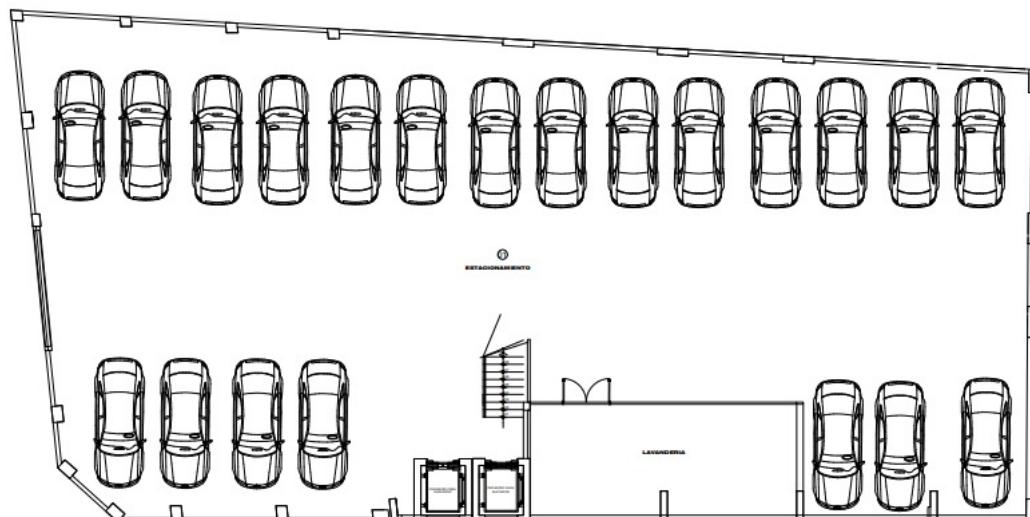
3 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE ESTUDO

O projeto elétrico e o estudo do sistema fotovoltaico serão desenvolvidos para um empreendimento hoteleiro, abrangendo tanto as áreas comuns quanto os dormitórios, com o objetivo de atender às necessidades de conforto, funcionalidade e eficiência energética. O edifício possui uma área total de 3.512,64 m², distribuída por cinco pavimentos, conforme detalhamento a seguir.

3.1 Subsolo

A planta baixa do subsolo, apresentada na figura 2, detalha a disposição dos espaços, incluindo as vagas para veículos e a lavanderia. Essa representação serve como base para o desenvolvimento do projeto das instalações elétricas, orientando a localização dos pontos de iluminação e tomadas.

Figura 2 – Planta baixa do Subsolo

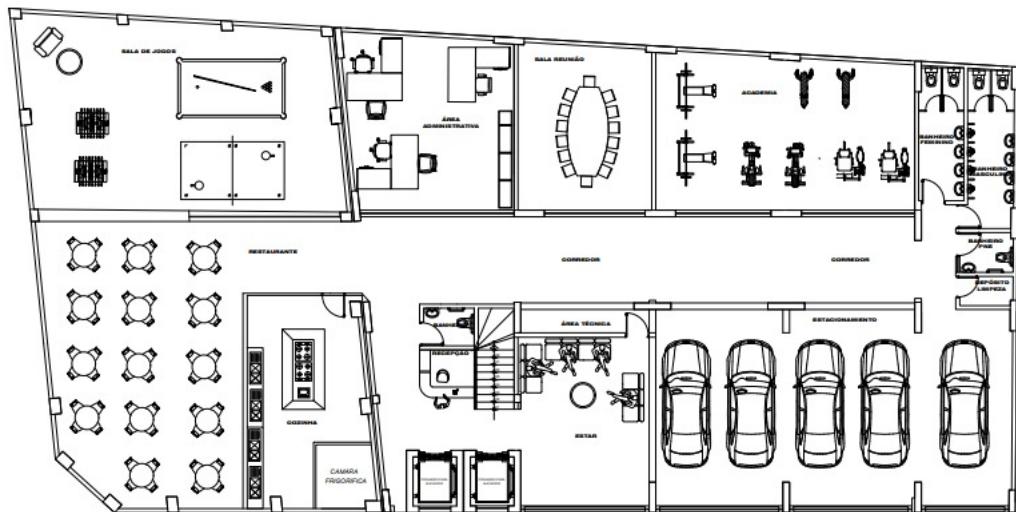


Fonte: Autor.

3.2 Térreo

A figura 3 apresenta a planta baixa do térreo, detalhando a disposição das áreas comuns do hotel, como recepção, restaurante e espaços de lazer. A organização foi projetada para otimizar a funcionalidade e o conforto dos usuários, servindo como base para a implementação das soluções elétricas, que incluem sistemas de iluminação, climatização e pontos de energia, adaptados às necessidades específicas de cada ambiente.

Figura 3 – Planta baixa do Térreo

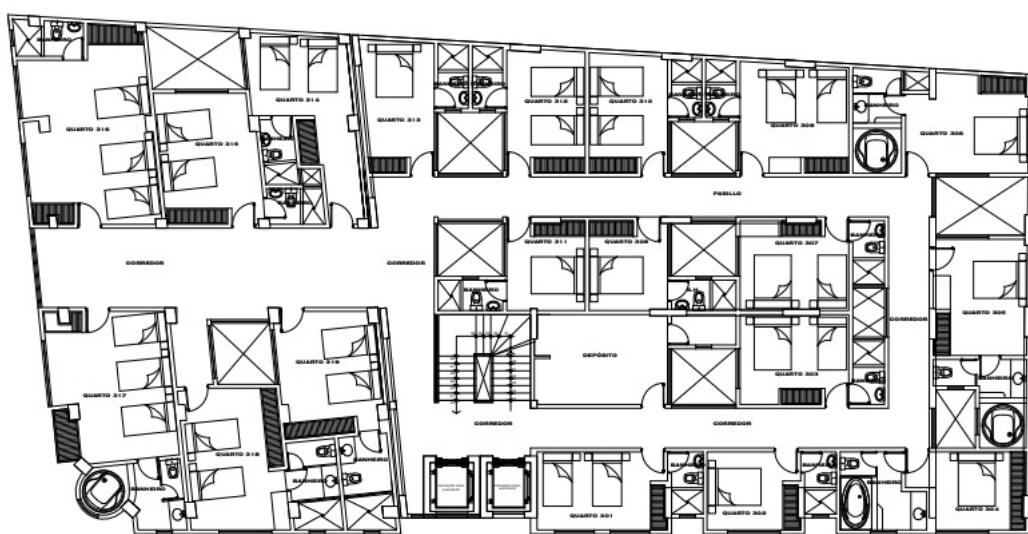


Fonte: Autor.

3.3 Pavimentos Tipo

Conforme a figura 4, os pavimentos tipo são destinados exclusivamente aos dormitórios, sendo cada andar composto por 19 quartos padronizados, com uma unidade habitacional por quarto, dividida em dois cômodos: quarto e banheiro. Além disso, cada pavimento inclui um depósito destinado ao armazenamento de itens diversos, complementando a funcionalidade dos andares.

Figura 4 – Planta baixa típica dos andares 2º, 3º, 4º

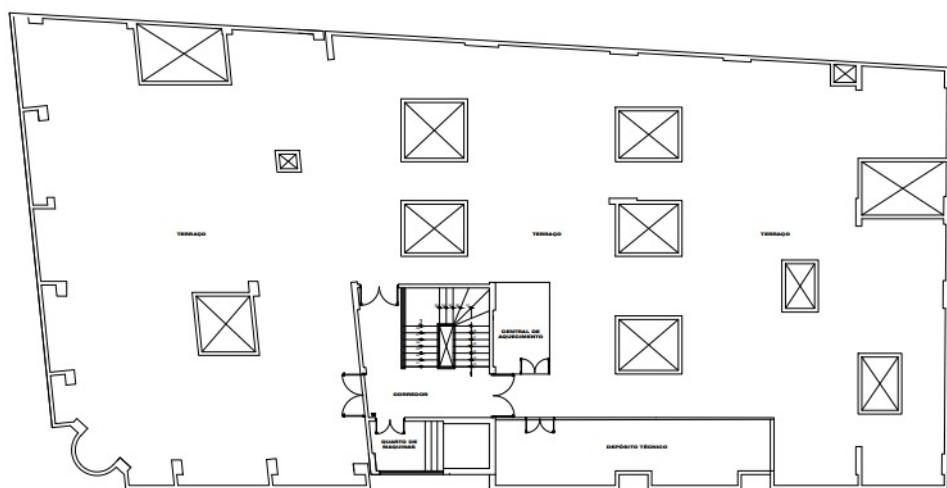


Fonte: Autor.

3.4 Terraço

A figura 5 apresenta a planta baixa da área técnica, que detalha a disposição dos espaços dedicados à casa de máquinas, à central de aquecimento e aos sistemas de suporte técnico. O *layout* foi cuidadosamente planejado para atender às necessidades operacionais do hotel, otimizando a eficiência e a funcionalidade dos processos, e garantindo a integração adequada entre os diferentes sistemas. Além disso, o terraço foi designado como o local para a instalação das placas solares, aproveitando a área disponível para a geração de energia renovável e contribuindo para a sustentabilidade do empreendimento.

Figura 5 – Planta baixa do Terraço



Fonte: Autor.

3.5 Vistas do empreendimento

As figuras 6 e 7 demonstram as vistas frontais e laterais do empreendimento, que ilustram sua concepção arquitetônica e integração com o entorno, facilitando a compreensão do *design* e das proporções do projeto.

Figura 6 – Vista da elevação lateral do Hotel



Fonte: Autor.

Figura 7 – Vista da elevação frontal do Hotel



Fonte: Autor.

A disposição das infraestruturas elétricas foi planejada para atender às necessidades de iluminação e distribuição de energia de maneira otimizada, sem comprometer a estética do empreendimento. Além disso, o planejamento levou em consideração a distribuição dos projetos de instalação elétrica e fotovoltaica, garantindo que os sistemas fossem integrados de forma eficiente e funcional. A integração dos elementos elétricos foi projetada de modo a manter um ambiente funcional, com fiação e componentes estrategicamente posicionados, assegurando o máximo desempenho do sistema elétrico e, ao mesmo tempo, preservando a harmonia visual do projeto.

4 PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA

O projeto de instalação elétrica foi elaborado em conformidade com as normas técnicas brasileiras aplicáveis, incluindo a ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, a ABNT NBR 10898 – Sistemas de Iluminação de Emergência e a ABNT NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação em Ambientes de Trabalho, que estabelecem os requisitos essenciais para as instalações elétricas e de iluminação, garantindo a segurança, eficiência e o adequado desempenho do sistema.

4.1 Dimensionamento de Carga

O dimensionamento da carga elétrica começa com o levantamento das áreas e perímetros de cada ambiente do hotel, considerando as particularidades de cada setor. Esse levantamento é essencial para determinar as potências necessárias para iluminação, tomadas e outros equipamentos, conforme os critérios da ABNT NBR 5410.

4.1.1 Levantamento das Áreas e Perímetros dos Cômodos

Apresentam-se a seguir as Tabelas 1, 2, 3 e 4, contendo as áreas e os perímetros levantados para cada setor do hotel. Os dados foram extraídos das plantas baixas fornecidas, sendo fundamentais para o dimensionamento das cargas elétricas, conforme as normas técnicas brasileiras.

4.1.2 Subsolo

Para o subsolo, foram coletados os dados de áreas e perímetros dos cômodos, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 – Áreas e Perímetros do Subsolo

Descrição	Área (m ²)	Perímetro (m)
Estacionamento	583,08	118,48
Lavanderia	40,51	29,83
Escada	5,06	10,55
Total	629,19	158,86

Fonte: Autor.

4.1.3 Térreo

O térreo foi analisado considerando os cômodos presentes, com a identificação detalhada das áreas e perímetros de cada um. A Tabela 2 apresenta essas informações de maneira estruturada, facilitando a compreensão dos dados levantados de forma clara e objetiva.

Tabela 2 – Áreas e Perímetros do Térreo

Descrição	Área (m ²)	Perímetro (m)
Estacionamento	98,47	49,48
Depósito de limpeza	02,30	06,50
Banheiro PNE	03,23	07,35
Banheiro Masculino	10,52	16,26
Banheiro Feminino	08,63	13,81
Academia	56,03	31,26
Sala de Reunião	31,22	22,50
Administrativo	41,21	25,84
Sala de Jogos	83,60	39,94
Cozinha	35,71	28,66
Restaurante	76,31	37,51
Escada	05,47	10,62
Corredor	85,39	71,72
Estar	31,03	22,60
Recepção	31,21	27,47
Banheiro da Recepção	02,84	06,96
Área técnica	04,24	11,45
Total	608,41	429,97

Fonte: Autor.

4.1.4 Pavimentos Tipo

Os pavimentos tipo do hotel, correspondentes aos 2º, 3º, 4º andares, possuem as seguintes áreas e perímetros conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Áreas e Perímetros dos Pavimentos Tipo

Descrição	Área (m ²)	Perímetro (m)
Quarto 01	14,51	17,40
Banheiro 01	02,94	07,40
Quarto 02	10,25	14,35
Banheiro 02	09,94	07,40
Quarto 03	13,94	17,85
Banheiro 03	03,00	07,50
Quarto 04	11,53	15,22
Banheiro 04	08,36	12,80
Quarto 05	15,41	16,35
Banheiro 05	07,71	13,76

Tabela 3 – Continuação

Descrição	Área (m ²)	Perímetro (m)
Quarto 06	16,22	18,50
Banheiro 06	07,40	11,86
Quarto 07	13,82	18,00
Banheiro 07	03,00	07,50
Quarto 08	19,90	18,18
Banheiro 08	02,62	06,95
Quarto 09	10,10	14,25
Banheiro 09	02,90	07,50
Quarto 10	13,35	16,42
Banheiro 10	02,63	07,10
Quarto 11	10,00	14,40
Banheiro 11	02,93	07,50
Quarto 12	13,78	16,77
Banheiro 12	02,81	07,32
Quarto 13	13,42	16,91
Banheiro 13	02,90	07,43
Quarto 14	19,12	24,96
Banheiro 14	03,20	07,75
Quarto 15	18,20	18,93
Banheiro 15	02,98	07,26
Quarto 16	32,57	30,80
Banheiro 16	03,50	02,66
Quarto 17	25,57	26,30
Banheiro 17	08,04	15,93
Quarto 18	19,89	20,69
Banheiro 18	06,08	11,00
Quarto 19	17,62	19,37
Banheiro 19	06,57	12,11
Corredor	135,50	170,62
Escada	12,15	13,96
Depósito	19,86	25,60
Total	559,22	734,56

Fonte: Autor.

4.1.5 Terraço

O terraço do hotel apresenta a seguinte configuração de área e perímetro conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Áreas e Perímetros do Terraço

Descrição	Área (m ²)	Perímetro (m)
Central de aquecimento	08,69	12,25
Casa de máquina	09,71	14,16
Corredor	16,91	22,05
Depósito técnico	29,07	29,32
Escada	12,15	13,96
Telhado	520,85	421,32
Total	597,38	513,06

Fonte: Autor.

4.2 Critério para Previsão de Iluminação

A determinação das cargas de iluminação foi realizada conforme o critério apresentado na norma, como alternativa à aplicação da ABNT NBR 5410, segundo a alínea a) de 4.2.1.2.2. O critério adotado foi o seguinte:

- Para cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m², foi prevista uma carga mínima de 100 VA.
- Para cômodos ou dependências com área superior a 6 m², foi prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m², acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m² inteiros.

Nota: Os valores apurados referem-se à potência destinada à iluminação para efeito de dimensionamento dos circuitos, e não necessariamente à potência nominal das lâmpadas.

Este critério foi aplicado a todos os cômodos do empreendimento, considerando as áreas levantadas, de forma a atender aos requisitos mínimos de iluminação estabelecidos na norma ABNT NBR 5410 e garantir um dimensionamento adequado e seguro dos circuitos elétricos (ABNT, 2004:2008).

Após o levantamento das áreas e perímetros, as potências de iluminação foram determinadas com base nas cargas mínimas estabelecidas pela norma para cada ambiente ou dependência. As potências de iluminação calculadas para o subsolo, térreo e pavimentos superiores foram obtidas conforme as dimensões de cada espaço.

4.2.1 Subsolo

Apresenta-se a Tabela 5 com as cargas de iluminação do subsolo:

Tabela 5 – Levantamento de Cargas de Iluminação do Subsolo

Descrição	100 (VA)	60 (VA)	Total (VA)
Estacionamento	1	144	8.740
Escada	1	0	100
Lavanderia	1	8	580
Total	3	152	9.420

Fonte: Autor.

4.2.2 Térreo

Apresenta-se a Tabela 6 com as cargas de iluminação do térreo:

Tabela 6 – Levantamento de Cargas de Iluminação do Térreo

Descrição	100 (VA)	60 (VA)	Total (VA)
Estacionamento	1	23	2.080
Depósito de Limpeza	1	0	100
Banheiro PNE	1	0	100
Banheiro Masculino	1	1	160
Banheiro Feminino	1	0	100
Academia	1	12	820
Sala de Reunião	1	6	460
Administrativo	1	8	580
Sala de Jogos	1	19	1.240
Cozinha	1	7	520
Restaurante	1	17	1.120
Escada	1	1	100
Corredor	1	19	1.240
Estar	1	6	460

Tabela 6 – Continuação

Descrição	100 (VA)	60 (VA)	Total (VA)
Recepção	1	6	460
Banheiro Recepção	1	0	100
Área técnica	1	0	100
Total	18	126	9.360

Fonte: Autor.

4.2.3 Pavimentos Tipo

Apresenta-se a Tabela 7 com as cargas de iluminação dos pavimentos tipo:

Tabela 7 – Levantamento de Cargas de Iluminação dos Pavimentos Tipo

Descrição	100 (VA)	60 (VA)	Total (VA)
Estacionamento	1	23	2.080
Depósito de Limpeza	1	0	100
Banheiro PNE	1	0	100
Banheiro Masculino	1	1	160
Banheiro Feminino	1	0	100
Academia	1	12	820
Sala de Reunião	1	6	460
Administrativo	1	8	580
Sala de Jogos	1	19	1.240
Cozinha	1	7	520
Restaurante	1	17	1.120
Escada	1	1	100
Corredor	1	19	1.240
Estar	1	6	460

Tabela 7 – Continuação

Descrição	100 (VA)	60 (VA)	Total (VA)
Recepção	1	6	460
Banheiro Recepção	1	0	100
Estacionamento	1	23	2.080
Depósito de Limpeza	1	0	100
Banheiro PNE	1	0	100
Banheiro Masculino	1	1	160
Banheiro Feminino	1	0	100
Academia	1	12	820
Sala de Reunião	1	6	460
Administrativo	1	8	580
Sala de Jogos	1	19	1.240
Cozinha	1	7	520
Restaurante	1	17	1.120
Escada	1	1	100
Corredor	1	19	1.240
Estar	1	6	460
Recepção	1	6	460
Banheiro Recepção	1	0	100
Estacionamento	1	23	2.080
Depósito de Limpeza	1	0	100
Banheiro PNE	1	0	100
Banheiro Masculino	1	1	160
Banheiro Feminino	1	0	100
Academia	1	12	820

Tabela 7 – Continuação

Descrição	100 (VA)	60 (VA)	Total (VA)
Sala de Reunião	1	6	460
Administrativo	1	8	580
Sala de Jogos	1	19	1.240
Cozinha	1	7	520
Restaurante	1	17	1.120
Escada	1	1	100
Corredor	1	19	1.240
Estar	1	6	460
Recepção	1	6	460
Banheiro Recepção	1	0	100
Área técnica	1	0	100
Total	18	126	9.360

Fonte: Autor.

4.2.4 Terraço

Apresenta-se a Tabela 8 com as cargas de iluminação do terraço:

Tabela 8 – Levantamento de Cargas de Iluminação do Terraço

Descrição	100 (VA)	60 (VA)	Total (VA)
Central de aquecimento	1	0	100
Casa de máquina	1	0	100
Corredor	1	2	220
Depósito técnico	1	5	400
Escada	1	1	160
Telhado	1	130	7.900
Total	6	136	8.760

Fonte: Autor.

4.2.5 Iluminação de Emergência

Para garantir a segurança e atender às normas vigentes, como a (ABNT, 2014) de Iluminação de Emergência, foi prevista a instalação de iluminação de emergência por meio de blocos autônomos, com baterias projetadas para suportar 3 horas de operação, cada um com potência de 12 W.

Os pontos de iluminação de emergência foram distribuídos estrategicamente nos ambientes, garantindo o atendimento aos critérios mínimos de iluminância conforme a NBR 10898 - Sistemas de Iluminação de Emergência.

Considerando que cada luminária de emergência possui potência de 13,04 VA (aproximadamente 0,013 kVA), a tabela 9 apresenta a distribuição das luminárias de emergência por ambiente e o total de potência em kVA.

Tabela 9 – Levantamento de Cargas de Iluminação de Emergência

Descrição	Quantidade	Total (VA)
Subsolo		
Estacionamento	7	91,30
Escada	1	13,04
Lavanderia	1	13,04
Total	9	117,39
Térreo		
Estacionamento	5	65,21
Academia	2	26,08
Banheiro feminino	1	13,04
Banheiro masculino	1	13,04
Banheiro PNE	1	13,04
Sala de reunião	1	13,04
Administrativo	2	26,08
Sala de jogos	3	39,13
Cozinha	4	52,17

Tabela 9 – Continuação

Descrição	Quantidade	Total (VA)
Restaurante	4	52,17
Escada	1	13,04
Corredor	7	91,30
Estar	2	26,08
Recepção	2	26,08
Total	36	469,56
Pavimentos		
Corredor	17	221,73
Escada	3	39,13
Total	20	260,86
Terraço		
Corredor	2	26,08
Casa de máquinas	1	13,04
Escada	3	39,13
Central de aquecimento	1	13,04
Total	7	91,30

Fonte: Autor.

Dessa forma, a distribuição das luminárias de emergência foi planejada para garantir cobertura adequada dos ambientes e assegurar a iluminação mínima necessária em situações de queda de energia elétrica.

4.3 Levantamento das Demandas de Tomada

A determinação das demandas de tomadas foi realizada conforme o critério apresentado na norma ABNT NBR 5410, conforme os requisitos dos itens 9.5.2.2.1 e 9.5.2.2.2. O critério adotado foi o seguinte:

- Em banheiros, foi prevista a instalação de no mínimo 1 ponto de tomada;

- Em locais de serviço, foi prevista a instalação de 1 ponto de tomada a cada $3,5\text{ m}$ (ou fração) de perímetro;
- Em varandas, foi prevista a instalação de no mínimo 1 ponto de tomada;
- Em quartos e salas, foi prevista a instalação de 1 ponto de tomada a cada 5 m (ou fração) de perímetro;
- Para os demais cômodos, como corredores e halls, foram observadas as seguintes áreas para definir a quantidade de pontos:
 - Se a área $A \leq 2,25\text{ m}^2 \rightarrow$ mínimo de 1 ponto;
 - Se $2,25\text{ m}^2 \leq A \leq 6\text{ m}^2 \rightarrow$ mínimo de 1 ponto;
 - Se $A \geq 6\text{ m}^2 \rightarrow$ mínimo de 1 ponto de tomada para cada 5 m (ou fração) de perímetro.

Nota: A quantidade de pontos de tomada foi definida com base na norma ABNT NBR 5410 para garantir que as necessidades de eletricidade para uso geral e específico fossem atendidas de maneira segura e eficaz.

Além disso, as potências atribuídas a cada tomada seguiram as especificações da NBR 5410. Em cômodos de serviço, as 3 primeiras tomadas receberam uma potência de 600 VA , e para as demais, foi atribuída uma potência de 100 VA . Para os demais cômodos, foi atribuída uma potência de 100 VA por tomada.

Esse critério foi aplicado a todos os cômodos do empreendimento, considerando as áreas e os perímetros levantados, a fim de atender aos requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 5410 e garantir um dimensionamento adequado dos circuitos elétricos (ABNT, 2004:2008).

4.3.1 Subsolo

A Tabela 10 apresenta a determinação da potência das tomadas de uso geral (TUGs). Na área de estacionamento, optou-se por um número reduzido de pontos, considerando a baixa circulação de pessoas e a pouca necessidade de uso. Essa decisão foi tomada com base na funcionalidade do espaço, mantendo a conformidade com a NBR 5410, que não estabelece exigências específicas para essa aplicação quando não há demanda operacional relevante.

Tabela 10 – Distribuição de tomadas TUGs para o Subsolo

Descrição	100 (VA)	600 (VA)	Total (VA)
Estacionamento	11	0	1.100
Escada	2	0	200
Lavanderia	6	2	1.800
Total	19	2	3.100

Fonte: Autor.

A seguir, apresenta-se a Tabela 11 referente à determinação da potência das tomadas de uso específico (TUEs). Para atender plenamente à demanda da lavanderia do hotel, foram projetados pontos duplicados para as secadoras, calandras e lavadoras industriais, garantindo eficiência operacional e a disponibilidade adequada dos equipamentos.

Tabela 11 – Distribuição de tomadas TUEs para o Subsolo

Descrição	Total (VA)
Ponto para carregamento de carro elétrico	8.222,22
Lavadora industrial 20kg	4.088,88
Lavadora industrial 20kg	4.088,88
Secadora 20kg	18.333,33
Secadora 20kg	18.333,33
Calandra	5.111,11
Calandra	5.111,11
Total	63.288,88

Fonte: Autor.

4.3.2 Térreo

Apresenta-se a Tabela 12 referente à determinação da potência das TUGs:

Tabela 12 – Distribuição de tomadas TUGs para o Térreo

Descrição	100 (VA)	600 (VA)	Total (VA)
Estacionamento	3	0	300
Depósito De Limpeza	1	0	100
Banheiro PNE	0	1	600
Banheiro Masculino	2	3	2.000
Banheiro Feminino	1	3	1.900
Academia	6	0	600
Sala De Reunião	5	0	500
Administrativo	7	0	700
Sala De Jogos	8	0	800
Cozinha	8	2	2000
Restaurante	8	0	800
Escada	2	0	200
Corredor	6	0	600
Estar	4	0	400
Recepção	5	0	500
Banheiro Recepção	0	1	600
Banheiro Recepção	3	0	300
Total	69	10	12.900

Fonte: Autor.

Apresenta-se a Tabela 13 referente à determinação da potência das TUEs para equipamentos de ar condicionado, a qual foi calculada utilizando a ferramenta disponível no site da *Web Continental* (CONTINENTAL, 2025). Essa ferramenta considera fatores como a área, exposição solar, número de pessoas, janelas, equipamentos eletrônicos e iluminação para determinar a quantidade de BTU necessária para os ambientes.

Tabela 13 – Distribuição dos equipamentos de refrigeração do Térreo

Descrição	Quantidade	BTU Total	Total (VA)
Restaurante	3	66.000,00	3.966,66
Sala de Jogos	1	22.000,00	1.322,22
Sala de Reunião	1	12.000,00	1.205,55
Administrativo	1	18.000,00	1.811,11
Academia	2	44.000,00	4.422,22
Estar	1	12.000,00	1.205,55
Recepção	1	9.000,00	905,55
Total	10	117.000,00	14.838,88

Fonte: Autor.

Apresenta-se a Tabela 14 referente à determinação da potência das TUEs para os equipamentos presentes neste pavimento.

Tabela 14 – Distribuição de tomadas TUEs para o Térreo

Descrição	Quantidade	Total (VA)
Câmara frigorífica	1	2.072,22
Lava louça	1	17.511,11
Freezer vertical	2	666,66
Total	4	20.250,00

Fonte: Autor.

4.3.3 Pavimentos Tipo

É apresentada a Tabela 15 referente à determinação da potência das TUGs. Diversos pontos de tomada foram distribuídos nos corredores para atender às necessidades de manutenção e limpeza.

Tabela 15 – Distribuição de tomadas TUGs para os Pavimentos Tipo

Descrição	100 (VA)	600 (VA)	Total (VA)
Quarto 01	4	0	400
Banheiro 01	0	1	600
Quarto 02	3	0	300
Banheiro 02	0	1	600
Quarto 03	4	0	400
Banheiro 03	0	1	600
Quarto 04	4	0	400
Banheiro 04	0	1	600
Quarto 05	5	0	500
Banheiro 05	0	1	600
Quarto 06	5	0	500
Banheiro 06	0	1	600
Quarto 07	4	0	400
Banheiro 07	0	1	600
Quarto 08	4	0	400
Banheiro 08	0	1	600
Quarto 09	3	0	300
Banheiro 09	0	1	600
Quarto 10	4	0	400
Banheiro 10	0	1	600
Quarto 11	3	0	300
Banheiro 11	0	1	600
Quarto 12	4	0	400

Tabela 15 – Continuação

Descrição	100 (VA)	600 (VA)	Total (VA)
Banheiro 12	0	1	600
Quarto 13	4	0	400
Banheiro 13	0	1	600
Quarto 14	5	0	500
Banheiro 14	0	1	600
Quarto 15	4	0	400
Banheiro 15	0	1	600
Quarto 16	6	1	600
Banheiro 16	0	1	600
Quarto 17	6	0	600
Banheiro 17	0	1	600
Quarto 18	4	0	400
Banheiro 18	0	1	600
Quarto 19	4	0	400
Banheiro 19	0	1	600
Corredor	27	0	2.700
Escada	3	0	300
Depósito	5	0	500
Total	115	19	22.900

Fonte: Autor.

Apresenta-se a Tabela 16 referente à determinação da potência das TUEs para os equipamentos de ar condicionado.

Tabela 16 – Distribuição dos equipamentos de refrigeração
dos Pavimentos Tipo

Descrição	BTU Total	Ar Con. Escolhido (VA)
Quarto 01	12.000,00	1116,50
Quarto 02	9.000,00	837,38
Quarto 03	12.000,00	1116,50
Quarto 04	9.000,00	837,38
Quarto 05	12.000,00	1116,50
Quarto 06	12.000,00	1116,50
Quarto 07	12.000,00	1116,50
Quarto 08	12.000,00	1116,50
Quarto 09	9.000,00	837,38
Quarto 10	12.000,00	1116,50
Quarto 11	9.000,00	837,38
Quarto 12	12.000,00	1116,50
Quarto 13	12.000,00	1116,50
Quarto 14	12.000,00	1116,50
Quarto 15	12.000,00	1116,50
Quarto 16	22.000,00	1116,50
Quarto 17	12.000,00	1116,50
Quarto 18	12.000,00	1116,50
Quarto 19	12.000,00	1116,50
Total	216.0000,00	20.097,13

Fonte: Autor.

A Tabela 17 apresenta a determinação da potência das TUEs para os quartos que possuem hidromassagem e frigobar, considerando um total de 19 quartos com frigobar.

A potência individual de cada frigobar é de 61,11 VA, enquanto a potência do motor da hidromassagem é de 1222,22 VA.

Tabela 17 – Distribuição de tomadas TUEs para os Pavimentos Tipo

Descrição	Total (VA)
Motores de Hidromassagem dos Quartos 205, 206, 207 e 218	1.195,65
Frigobares dos Quartos	61,11
Total	5.943,71

Fonte: Autor.

4.3.4 Terraço

A Tabela 18 apresenta a determinação da potência das TUGs. No terraço, não foram previstas tomadas externas, pois a ausência de cobertura poderia comprometer a segurança e a funcionalidade do sistema.

Tabela 18 – Distribuição de tomadas TUGs para o Terraço

Descrição	100 (VA)	600 (VA)	Total (VA)
Central de aquecimento	2	0	200
Casa de máquina	3	0	300
Corredor	4	0	400
Depósito técnico	6	0	600
Escada	3	0	300
Telhado	0	0	0
Total	18	0	1.800

Fonte: Autor.

A Tabela 19 determina a potência das tomadas de uso específico, incluindo o motor para dois elevadores e os equipamentos da central de aquecimento responsáveis pelo aquecimento da água dos chuveiros.

Tabela 19 – Distribuição de tomadas TUEs para o Terraço

Descrição	Quantidade	Total (VA)
Motor do elevador	2	12.266,66

Tabela 19 – Continuação

Descrição	Quantidade	Total (VA)
Motor do sistema de aquecimento de água	1	1.635,55
Bomba de calor do sistema de aquecimento de água	1	12.222,22
Total	5	26.124,44

Fonte: Autor.

4.4 Cálculo da Demanda Total de Potência

O cálculo da demanda total de potência visa a determinação do total de carga instalada no sistema elétrico do hotel. Para isso, deve-se somar a potência nominal de todos os equipamentos, como iluminação, tomadas, sistemas de climatização, elevadores e outros. Esta demanda total é essencial para dimensionar o sistema de distribuição de energia de forma adequada.

A potência ativa, expressa em Watts (W), pode ser calculada a partir da potência aparente, expressa em Volt-Amperes (VA), utilizando o fator de potência (FP). Assim, temos:

$$\text{Potência ativa (W)} = \text{Potência aparente (VA)} \times \text{FP} \quad (4.1)$$

Conforme a NBR 5410, adotou-se um fator de potência de 0,92 para o dimensionamento da potência das lâmpadas, valor padrão para lâmpadas fluorescentes e LEDs.

No caso das tomadas de uso geral, considerou-se um FP de 0,8, valor amplamente utilizado para representar o desempenho médio dos dispositivos conectados, garantindo que o cálculo da potência atenda às normas técnicas e aos requisitos do sistema elétrico.

Para equipamentos de uso específico, adotou-se um FP de 0,9, adequado para dispositivos de maior potência, possibilitando um dimensionamento compatível com as demandas desses aparelhos.

Por fim, a potência do circuito reserva foi definida conforme as normas vigentes, visando a flexibilidade para futuras expansões. O FP adotado foi de 0,9, considerando a possibilidade de diferentes tipos de cargas e a necessidade de adaptação do sistema elétrico a futuras ampliações.

4.4.1 Subsolo

No subsolo, as principais cargas elétricas correspondem à iluminação e às máquinas da lavanderia. A demanda total dessa área será determinada pela soma das potências

nominais de cada equipamento. A consolidação desses cálculos é apresentada nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20 – Cálculo da Potência Ativa Total do Subsolo

Descrição	Total (W)
Potência Ativa de Iluminação	8.774,40
Potência Ativa de TUG	2.480,00
Potência Ativa de TUE	56.960,00
Potência Ativa de Circuito Reserva	5.112,00
Total	73.326,40

Fonte: Autor.

Tabela 21 – Cálculo da Potência Aparente Total do Subsolo

Descrição	Total (VA)
Potência Aparente de Iluminação	9.537,39
Potência Aparente de TUG	3.100,00
Potência Aparente de TUE	63.288,88
Potência Aparente de Circuito Reserva	5.680,00
Total	81.606,28

Fonte: Autor.

4.4.2 Térreo

No térreo, as principais cargas elétricas são compostas pela iluminação, sistemas de climatização e equipamentos específicos de diversos ambientes, como a academia, sala de jogos, restaurante, sala de reunião, estacionamento, banheiros, recepção, cozinha e áreas de estar. A demanda total dessa área será obtida pela soma das potências nominais de cada equipamento, conforme especificado no projeto. A consolidação desses cálculos é apresentada nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22 – Cálculo da Potência Ativa Total do Térreo

Descrição	Total (W)
Potência Ativa de Iluminação	9.043,20
Potência Ativa de TUG	10.320,00
Potência Ativa de TUE	31.580,00
Potência Ativa de Circuito Reserva	6.192,00
Total	57.135,20

Fonte: Autor.

Tabela 23 – Cálculo da Potência Aparente Total do Térreo

Descrição	Total (VA)
Potência Aparente de Iluminação	9.829,56
Potência Aparente de TUG	12.900,00
Potência Aparente de TUE	35088,88
Potência Aparente de Circuito Reserva	6.880,00
Total	64.698,45

Fonte: Autor.

4.4.3 Pavimentos Tipo

Nos Pavimentos Tipo, as principais cargas elétricas estão concentradas nos quartos. A consolidação desses cálculos é apresentada nas Tabelas 24 e 25.

Tabela 24 – Cálculo da Potência Ativa Total dos Pavimentos Tipo

Descrição	Total (W)
Potência Ativa de Iluminação	8.860,86
Potência Ativa de TUG	18.320,00
Potência Ativa de TUE	23.532,42
Total	50.004,42

Fonte: Autor.

Tabela 25 – Cálculo da Potência Aparente Total dos Pavimentos Tipo

Descrição	Total (VA)
Potência Aparente de Iluminação	8.860,86
Potência Aparente de TUG	22.900,00
Potência Aparente de TUE	26.147,13
Total	58.168,87

Fonte: Autor.

4.4.4 Terraço

No terraço, as principais cargas elétricas estão concentradas na casa de máquinas e na central de aquecimento. Os resultados desses cálculos estão organizados nas Tabelas 26 e 27.

Tabela 26 – Cálculo da Potência Ativa Total do Terraço

Descrição	Total (W)
Potência Ativa de Iluminação	8.143,20
Potência Ativa de TUG	1.440,00
Potência Ativa de TUE	23.512,00
Potência Ativa de Circuito Reserva	5.520,00
Total	38.315,20

Fonte: Autor.

Tabela 27 – Cálculo da Potência Ativa Total do Terraço

Descrição	Total (VA)
Potência Aparente de Iluminação	8.851,30
Potência Aparente de TUG	1.800
Potência Aparente de TUE	26.124,44
Potência Aparente de Circuito Reserva	5.800,00
Total	42.575,74

Fonte: Autor.

4.4.5 Considerações

Como a carga instalada é superior a 15 kW, o fornecimento deve ser a 4 fios, sendo o dimensionamento da entrada de serviço feito pela demanda provável.

4.5 Cálculo da demanda provável

Cada andar contará com um quadro de distribuição individual, e o cálculo da demanda será realizado separadamente para cada quadro, garantindo que a distribuição de energia elétrica atenda adequadamente às necessidades de cada setor do hotel. Essa abordagem assegura que a categoria de alimentação escolhida seja adequada para suportar a carga elétrica total, sem comprometer a eficiência do sistema.

O cálculo da demanda pode ser realizado pelo consumidor considerando o regime de funcionamento das cargas da edificação. A norma fornece um exemplo de como essa demanda pode ser determinada, porém, a responsabilidade de escolher o critério mais adequado para a edificação é do próprio consumidor, conforme a alínea 8.2.2 da Norma Técnica ND5.1 – Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária Rede de Distribuição Aérea – Edificações Individuais - (CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais, 2024).

De acordo com a Seção 8.2.3 da Norma ND 5.1 da CEMIG, a fórmula utilizada para calcular a demanda total da edificação é a seguinte:

$$D = a + b + c + d + e + f \text{ (kVA)} \quad (4.2)$$

Onde cada componente da equação representa diferentes tipos de carga, conforme descrito abaixo:

- **a:** Demanda referente à iluminação e tomadas, conforme a Tabela 10 – Fatores de Demanda para Iluminação e Tomadas em Unidades Consumidoras Residenciais – e a Tabela 11 – Fatores de Demanda para Iluminação e Tomadas em Unidades Consumidoras Não Residenciais – da norma ND 5.1.
- **b:** Demanda relativa a aparelhos eletrodomésticos e de aquecimento, de acordo com os fatores especificados na Tabela 13 – Fatores de Demanda de Aparelhos Eletrodomésticos, de Aquecimento, de Refrigeração e Condicionadores de Ar – da norma ND 5.2. Esses aparelhos são classificados nos seguintes grupos:
 - **b1:** Chuveiros, torneiras e cafeteiras elétricas;
 - **b2:** Aquecedores de água por acumulação e por passagem;
 - **b3:** Fornos, fogões e aparelhos do tipo *grill*;

- **b4:** Máquinas de lavar e secar roupas, ferro elétrico e máquinas de lavar louças;
- **b5:** Outros aparelhos, como televisores, ventiladores, geladeiras, freezers, liquidificadores, entre outros.
- **c:** Demanda dos aparelhos de ar condicionado, conforme a Tabela 13 da norma. Para sistemas de ar condicionado central, aplica-se um fator de demanda de 100%.
- **d:** Demanda associada a motores elétricos, conforme os critérios da Tabela 14
 - Demanda Individual para Motores Monofásicos – e da Tabela 15 – Demanda Individual para Motores Trifásicos – da norma ND 5.1.
- **e:** Demanda de máquinas de solda e transformadores, calculada da seguinte forma:
 - **100%** da potência do maior aparelho;
 - **70%** da potência do segundo maior aparelho;
 - **40%** da potência do terceiro maior aparelho;
 - **30%** da potência dos demais aparelhos.

Caso a máquina de solda ou o transformador possua ligação V-v invertida, sua potência é considerada em dobro.
- **f:** Demanda de aparelhos de raios-x, determinada pelas seguintes regras:
 - **100%** da potência do maior aparelho;
 - **10%** da potência dos demais aparelhos.

4.5.1 Subsolo

Os fatores de demanda foram estabelecidos conforme a Norma ND 5.1. Para iluminação e tomadas, foi adotado um fator de 0,50, uma vez que a carga total não ultrapassa 20 kVA, conforme especificado na Tabela 11 da norma. O carregador de veículo elétrico foi considerado com fator de demanda de 100%, devido à existência de apenas um ponto de recarga. Para os demais equipamentos do subsolo, classificados na categoria B4, foi aplicado um fator de 92%, conforme a Tabela 13. No caso do circuito reserva, destinado a futuras expansões, adotou-se um fator de 0,50, garantindo margem de segurança no dimensionamento. Na tabela 28, apresenta-se a consolidação do cálculo da demanda provável.

Tabela 28 – Demanda provável do Subsolo

Descrição	Potência (VA)	Fator de Demanda	Potência Provável (VA)
Iluminação	9.537,39	0,5	4.768,69
TUG's	3.100,00	0,5	1.550,00
Reserva	5.680,00	0,5	2.840,00
Carregador de carro elétrico	8.222,22	1	8.222,22
Secadora	33.000,00	0,92	30.360,00
Lavadora	7.360,00	0,92	6.771,20
Calandra	9.200,00	0,92	8.464,00
Total	76.099,61	-	62.976,11

Fonte: Autor.

Com base na demanda obtida de 62.976,11 VA e na análise da Tabela 2 - Dimensionamento Para Unidades Consumidoras Urbanas Ou Rurais Atendidas Por Redes De Distribuição Secundárias Trifásicas (127/220 V) - Ligações A 4 Fios, da Norma ND 5.1 da CEMIG, conclui-se que o fornecimento será do tipo C, faixa C6. Apresenta-se na Tabela 29 a consolidação das informações.

Tabela 29 – Critérios de Dimensionamento para Alimentação Elétrica do Subsolo

Descrição	Especificação
Demandas	62.976,11 VA
Tipo de Fornecimento	Tipo C, Faixa C6
Número de Fios	4 e 3 Fases
Disjuntor	200 A
Condutor de Ramal de Entrada	95 mm ² (Cobre PVC)
Eletrodutos	75 mm ² (PVC)
Aterrramento	10mm ²
Condutor de Proteção	35 mm ²

Fonte: Autor.

4.5.2 Térreo

Os fatores de demanda foram estabelecidos conforme a Norma ND 5.1. Para iluminação e tomadas, adotou-se um fator de 0,50, conforme a Tabela 11. O circuito reserva recebeu o mesmo fator, garantindo segurança no dimensionamento.

Para os equipamentos de ar condicionado, classificados na categoria C pela norma ND 5.1, aplicou-se um fator de 60% para sete unidades, conforme a Tabela 13. A câmara frigorífica, enquadrada na categoria de refrigeração pela norma, teve um fator de 100%, por contar com apenas uma unidade.

A lava-louça industrial, pertencente à categoria B4 da norma, recebeu 100%, enquanto o freezer vertical, classificado na categoria B5 pela norma, teve um fator de 92% para duas unidades, conforme a Tabela 13.

Para o térreo, foram considerados os seguintes valores conforme a tabela 30:

Tabela 30 – Demanda provável do Térreo

Descrição	Potência (VA)	Fator de Demanda	Potência Provável (VA)
Iluminação	9.829,57	0,5	4.914,78
TUG's	12.900,00	0,5	6.450,00
Reserva	6.880,00	0,5	3.440,00
Ar Condicionado	14.838,88	0,6	8.903,33
Câmara Frigorífica	2.072,22	1	2.072,22
Lava Louça	17.511,11	1	17.511,11
Freezer Vertical	666,67	0,92	613,33
Total	64.698,45	-	43.904,78

Fonte: Autor.

Com base na demanda obtida de 43.904,78 VA e na análise da Tabela 2 da Norma ND 5.1 da CEMIG, conclui-se que o fornecimento será do tipo C, faixa C4. A Tabela 31 apresenta a consolidação das informações.

Tabela 31 – Critérios de Dimensionamento para Alimentação Elétrica do Térreo

Descrição	Especificação
Demandas	43.904,78 VA
Tipo de Fornecimento	Tipo C, Faixa C4
Número de Fios	4 e 3 Fases
Disjuntor	125 A
Condutor de Ramal de Entrada	50 mm ² (Cobre PVC)

Tabela 31 – Continuação

Descrição	Especificação
Eletrodutos	50 mm ² (PVC)
Aterramento	10 mm ²
Condutor de Proteção	25 mm ²

Fonte: Autor.

4.5.3 Pavimentos Tipo

Os fatores de demanda foram estabelecidos conforme a Norma ND 5.1. Para iluminação e tomadas, adotou-se um fator de 0,50 para cargas até 20 kVA e de 0,40 para os excedentes, conforme a Tabela 11.

Os equipamentos de ar condicionado, classificados na categoria C pela Norma ND 5.1, apresentaram um fator de demanda de 40% para 19 unidades, conforme a Tabela 13.

Os frigobares dos quartos, enquadrados na categoria de refrigeração pela norma, receberam um fator de 40% para 19 unidades, conforme a Tabela 13.

Para os motores de hidromassagem, classificados na categoria D pela norma, adotou-se um fator de 1,35 para quatro unidades de motor monofásico de 1,5 CV, conforme a Tabela 14.

Para os pavimentos tipo, onde há três pavimentos idênticos com a mesma potência, foram considerados os seguintes valores para cada pavimento conforme a Tabela 32:

Tabela 32 – Demanda provável dos Pavimentos Tipo

Descrição	Potência (VA)	Fator de Demanda	Potência Provável (VA)
Iluminação	9.121,73	0,5	4.560,86
TUG's	20.000,00	0,5	10.000,00
TUG's	2.900,00	0,4	1.160,00
Ar Condicionado	20.097,13	0,4	8.038,85
Frigobar	1.161,11	0,4	464,44
Motor hidromassagem	4.888,88	1,35	6.600,00
Total	53.279,98	-	30.824,16

Fonte: Autor.

Com base na demanda obtida de 30.824,16 VA e na análise da Tabela 2 da Norma ND 5.1 da CEMIG, conclui-se que o fornecimento será do tipo C, faixa C3. A Tabela 33 apresenta a consolidação das informações.

Tabela 33 – Critérios de Dimensionamento para Alimentação Elétrica dos Pavimentos Tipo

Descrição	Especificação
Demandas	30.693,73 VA
Tipo de Fornecimento	Tipo C, Faixa C3
Número de Fios	4 e 3 Fases
Disjuntor	100 A
Condutor de Ramal de Entrada	35 mm ² (Cobre PVC)
Eletrodutos	40 mm ² (PVC)
Aterramento	10 mm ²
Condutor de Proteção	16 mm ²

Fonte: Autor.

4.5.4 Terraço

Os fatores de demanda foram estabelecidos conforme a Norma ND 5.1. Para iluminação e tomadas, adotou-se um fator de 0,50, assim como para o circuito reserva, garantindo uma margem de segurança no dimensionamento.

Os motores de elevadores apresentaram um fator de 6,50 para duas unidades de 7,5 CV (Cavalo-Vapor), enquanto o motor do sistema de aquecimento de água recebeu um fator de 2,40 para uma unidade de 2 CV, conforme a Tabela 15. A central de aquecimento teve um fator de 100% para uma unidade, conforme a Tabela 13.

Os dados consolidados são apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 – Demanda provável do Terraço

Descrição	Potência (VA)	Fator de Demanda	Potência Provável (VA)
Iluminação	8.851,30	0,5	4.425,65
TUG's	1.800,00	0,5	900,00
Reserva	5.800,00	0,5	2.900,00
Motor do elevador	12.266,66	6,5	79.733,33
Motor - Aquecimento de água	1.635,55	2,4	3.925,33
Bomba de calor - Aquecimento	12.222,22	1	12.222,22
Total	42.575,74	-	104.106,54

Fonte: Autor.

Com base na demanda obtida de 104.106,54 VA e após a análise da Tabela 4 - Dimensionamento da Entrada de Edificações e Unidades Consumidoras Urbanas ou Rurais Atendidas por Redes de Distribuição Secundárias Trifásicas (127/220 V) para Atender aos Fornecimentos com Demanda entre 75,1 e 304 kVA da Norma ND 5.1 da CEMIG, verificou-se que o fornecimento será do tipo F, faixa F3. Os dados consolidados são apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 – Critérios de Dimensionamento para Alimentação Elétrica do Terraço

Descrição	Especificação
Demandas	104.106,54 VA
Tipo de Fornecimento	Tipo F, Faixa F3
Número de Fios	4 e 3 Fases
Disjuntor	300 A
Condutor de Ramal de Entrada	240 mm ² (Cobre PVC)
Eletrodutos	100 mm ² (PVC)
Aterramento	16 mm ²
Condutor de Proteção	120 mm ²

Fonte: Autor.

4.5.5 Considerações

Após a realização dos cálculos para cada quarto individual em todos os andares, identificou-se uma demanda total provável de 303.459,91 VA, resultante da soma das demandas de todos os pavimentos.

Analizando a Tabela 4 da Norma ND 5.1, para esse valor, verifica-se que o fornecimento será do tipo F, faixa F9, conforme apresentado na Tabela 36.

Tabela 36 – Especificações de Dimensionamento para Fornecimento de Energia do Empreendimento

Descrição	Especificação
Demandas	303.459,91 VA
Tipo de Fornecimento	Tipo F, Faixa F9
Número de Fios	4 e 3 Fases
Condutor de Ramal de Entrada	3x185 mm ² (Cobre)
Eletrodutos	3x110 mm ² (PVC)
Transformador de corrente	600/5
Aterramento	16 mm ²
Condutor de Proteção	95 mm ²

Fonte: Autor.

4.6 Divisão dos circuitos

Após o dimensionamento do ramal de entrada, a divisão dos circuitos foi estabelecida com base nas demandas específicas de cada pavimento, sendo previstos quadros de distribuição individuais para cada andar.

4.6.1 Subsolo

A distribuição elétrica foi projetada em conformidade com a NBR 5410, com circuitos distintos para iluminação, TUGs e TUEs, assegurando o equilíbrio de carga. A única exceção ocorreu no ponto da escada, onde a iluminação e as tomadas compartilham o mesmo circuito, conforme a alínea 9.5.3.3 da norma. Para a lavanderia e o carregamento de veículo elétrico, foram adotados circuitos exclusivos, de acordo com a alínea 9.5.3.1, devido à corrente nominal superior a 10 A. A lavanderia conta com uma tomada de 20 A, enquanto os demais circuitos seguem o limite de 10 A. A iluminação de emergência foi projetada conforme a NBR 10898. Adicionalmente, conforme a Tabela 59 da NBR 5410, foram previstos quatro circuitos reserva nos quadros de distribuição, garantindo flexibilidade para futuras ampliações.

Apresenta-se a Tabela 37 com a distribuição dos circuitos.

Tabela 37 – Dimensionamento dos Circuitos do Subsolo

Nº Circuito	Descrição	Total (VA)	Tensão (V)
1	Iluminação 1 - Garagem	1.248,57	127
2	Iluminação 2 - Garagem	1.248,57	127
3	Iluminação 3 - Garagem	1.248,57	127
4	Iluminação 4 - Garagem	1.248,57	127
5	Iluminação 5 - Garagem	1.248,57	127
6	Iluminação 6 - Garagem	1.248,57	127
7	Iluminação 7 - Garagem	1.248,57	127
8	Iluminação 8 - Lavanderia	580,00	127
9	Iluminação de emergência	117,39	127
10	Iluminação e TUG - Escada	300,00	127
11	TUG - Lavanderia	1.800,00	127
12	TUG - Garagem	1.100,00	127
13	Carregamento de Carro elétrico	8.222,22	220
14	Lavadora	4.088,89	220
15	Lavadora	4.088,89	220
16	Secadora	18.333,33	220
17	Secadora	18.333,33	220
18	Calandra	5.111,11	220
19	Calandra	5.111,11	220
20	Reserva	1.200,00	127
21	Reserva	1.200,00	127
22	Reserva	1.200,00	220
23	Reserva	2.080,00	220

Tabela 37 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
Total	-	81.606,28	-

Fonte: Autor.

4.6.1.1 Divisão entre Fases

Após definir e distribuir os circuitos, é fundamental realizar o balanceamento das cargas entre as fases disponíveis, garantindo uma distribuição uniforme da eletricidade. Esse balanceamento é crucial para evitar desequilíbrios que possam comprometer o desempenho e a segurança do sistema elétrico, assegurando que todas as fases operem dentro de sua capacidade nominal e minimizando riscos de sobrecarga e falhas no sistema. A Tabela 38 apresenta o dimensionamento das cargas entre as fases, demonstrando a distribuição adotada para garantir um funcionamento eficiente e seguro do sistema.

Tabela 38 – Balanceamento de Fases do Subsolo

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Círculo 1	-	Círculo 1	1.248,57	Círculo 1	-
Círculo 2	-	Círculo 2	1.248,57	Círculo 2	-
Círculo 3	-	Círculo 3	1.248,57	Círculo 3	-
Círculo 4	1.248,57	Círculo 4	-	Círculo 4	-
Círculo 5	-	Círculo 5	1.248,57	Círculo 5	-
Círculo 6	-	Círculo 6	-	Círculo 6	1.248,57
Círculo 7	-	Círculo 7	1.248,57	Círculo 7	-
Círculo 8	580,00	Círculo 8	-	Círculo 8	-
Círculo 9	-	Círculo 9	-	Círculo 9	117,39
Círculo 10	-	Círculo 10	-	Círculo 10	300,00
Círculo 11	-	Círculo 11	-	Círculo 11	1.800,00
Círculo 12	-	Círculo 12	1.100,00	Círculo 12	-
Círculo 13	4.111,11	Círculo 13	-	Círculo 13	4.111,11

Tabela 38 – Continuação

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Circuito 14	1.362,96	Circuito 14	1.362,96	Circuito 14	1.362,96
Circuito 15	1.362,96	Circuito 15	1.362,96	Circuito 15	1.362,96
Circuito 16	6.111,11	Circuito 16	6.111,11	Circuito 16	6.111,11
Circuito 17	6.111,11	Circuito 17	6.111,11	Circuito 17	6.111,11
Circuito 18	1.703,70	Circuito 18	1.703,70	Circuito 18	1.703,70
Circuito 19	1.703,70	Circuito 19	1.703,70	Circuito 19	1.703,70
Circuito 20	1.200,00	Circuito 20	-	Circuito 20	-
Circuito 21	-	Circuito 21	-	Circuito 21	1.200,00
Circuito 22	600,00	Circuito 22	600,00	Circuito 22	-
Circuito 23	1.040,00	Circuito 23	1.040,00	Circuito 23	-
Total	24.079,62		24.282,85		24.077,07

Fonte: Autor.

4.6.2 Térreo

A distribuição elétrica foi elaborada conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 5410, com circuitos distintos para iluminação, TUGs e TUEs.

Nos banheiros e na cozinha, foram utilizadas TUGs de 20 A, adequadas para suportar os equipamentos de maior potência presentes nessas áreas. Para esses pontos, foram alocados circuitos exclusivos com corrente superior a 10 A, conforme a alínea 9.5.3.1 da NBR 5410. Os demais circuitos, com corrente abaixo de 10 A, foram projetados de acordo com os limites estabelecidos pela norma. A iluminação de emergência foi projetada de acordo com a NBR 10898, assegurando o funcionamento adequado do sistema em caso de interrupção no fornecimento de energia elétrica.

Adicionalmente, conforme a Tabela 59 da NBR 5410, foram reservados cinco circuitos adicionais nos quadros de distribuição, oferecendo flexibilidade para futuras expansões sem a necessidade de modificações significativas na infraestrutura elétrica.

Para melhor compreensão da distribuição dos circuitos, as Tabelas 39, 40 e 41 apresentam a divisão realizada, com os circuitos organizados conforme os quadros de distribuição existentes neste pavimento:

Tabela 39 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo - QDC
Parcial 1

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
3	Ilum. Banheiros e Academia	1.180,00	127
12	TUG - Academia	600	127
13	TUG - Banheiro Feminino	1.900,00	127
14	TUG - Banheiro Masculino	2.000,00	220
26	TUE - AC - Academia 1	2.211,11	220
27	TUE - AC - Academia 2	2.211,11	220
36	Ilum. emg. - Acad. e banh.	65,22	127
38	Reserva	1.200,00	127
Total	-	11.367,44	-

Fonte: Autor.

Tabela 40 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo - QDC
Parcial 2

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
4	Ilum. - Sala de reunião e Adm.	1.040,00	127
5	Ilum. - Sala de jogos	1.240,00	127
10	TUG - Sala de jogos	800,00	127
11	TUG - Adm. e sala de reunião	1.200,00	127
23	TUE - AC - Sala de jogos	1.322,22	220
24	TUE - AC - Adm.	1.811,11	220
25	TUE - AC - Sala de reunião	1.205,56	220
37	Ilum. emg. - Sala de jogos, adm. e sala de reunião	78,26	127
39	Reserva	1.200,00	127

Tabela 40 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
Total	-	9.777,14	-

Fonte: Autor.

Tabela 41 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo - QDC
Parcial 3

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
6	Ilum. - Restaurante	1.120,00	127
8	Ilum. - Cozinha	460,00	127
18	TUG - Cozinha	2.000,00	127
19	TUG - Restaurante	800,00	127
20	TUE - Cozinha - Lava-louça	1.7511,11	220
21	TUE - Cozinha	666,67	127
22	TUE - Câmara frigorífica	2.072,22	220
28	TUE - AC - Restaurante 1	1.322,22	220
29	TUE - AC - Restaurante 2	1.322,22	220
30	TUE - AC - Restaurante 3	1.322,22	220
35	Ilum. emg. - Rest. e cozinha	104,35	127
40	Reserva	1.200,00	127
Total	-	29.900,99	-

Fonte: Autor.

Além dos circuitos específicos detalhados na Tabela 42, o quadro principal do térreo é responsável por centralizar as demandas de todos os quadros de distribuição secundários, assegurando a organização e proteção do sistema elétrico de toda a instalação.

Tabela 42 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo - QDC Principal

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
1	Ilum. 1 - Garagem	740,00	127
2	Ilum. 2 - Garagem e Depósito	840,00	127
7	Ilum. - Recepção, banh. recep. e estar	1.180,00	127
9	Ilum. - Corredor	1.240,00	127
15	TUG - Banh. PNE, dep. e garagem	1.000,00	127
16	TUG - Corredor e banh. recep.	1.200,00	127
17	TUG - Recepção e estar	1.200,00	127
31	TUE - AC - Recepção	905,56	220
32	TUE - AC - Estar	1.205,56	220
33	Ilum. emg. - Corr. e garagem	156,52	127
34	Ilum. emg. - Estar, recep. e esc.	65,22	127
41	Reserva	1.200,00	220
42	Reserva	2.080,00	220
Total	-	7.812,86	-

Fonte: Autor.

4.6.2.1 Divisão entre Fases

Após a organização dos circuitos, torna-se essencial distribuir a carga elétrica de forma equilibrada entre as fases disponíveis, evitando desbalanceamentos que possam comprometer a eficiência e a segurança do sistema. Essa divisão pode ser observada na Tabela 43.

Tabela 43 – Balanceamento de Fases do Térreo

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Circuito 1	740,00	Circuito 1	-	Circuito 1	-
Circuito 2	-	Circuito 2	840,00	Circuito 2	-
Circuito 3	-	Circuito 3	-	Circuito 3	1.180,00
Circuito 4	-	Circuito 4	-	Circuito 4	1.040,00
Circuito 5	1.240,00	Circuito 5	-	Circuito 5	-
Circuito 6	-	Circuito 6	-	Circuito 6	1.120,00
Circuito 7	1.080,00	Circuito 7	-	Circuito 7	-
Circuito 8	-	Circuito 8	-	Circuito 8	460,00
Circuito 9	-	Circuito 9	1.240,00	Circuito 9	-
Circuito 10	-	Circuito 10	800,00	Circuito 10	-
Circuito 11	-	Circuito 11	1.200,00	Circuito 11	-
Circuito 12	-	Circuito 12	-	Circuito 12	600,00
Circuito 13	1.900,00	Circuito 13	-	Circuito 13	-
Circuito 14	2.000,00	Circuito 14	-	Circuito 14	-
Circuito 15	-	Circuito 15	-	Circuito 15	1.000,00
Circuito 16	-	Circuito 16	-	Circuito 16	1.200,00
Circuito 17	-	Circuito 17	-	Circuito 17	1.200,00
Circuito 18	-	Circuito 18	2.000,00	Circuito 18	-
Circuito 19	800,00	Circuito 19	-	Circuito 19	-
Circuito 20	5.837,04	Circuito 20	5.837,04	Circuito 20	5.837,04
Circuito 21	666,67	Circuito 21	-	Circuito 21	-
Circuito 22	690,74	Circuito 22	690,74	Circuito 22	690,74
Circuito 23	-	Circuito 23	661,11	Circuito 23	661,11
Circuito 24	905,56	Circuito 24	905,56	Circuito 24	-

Tabela 43 – Continuação

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Circuito 25	602,78	Circuito 25	602,78	Circuito 25	-
Circuito 26	1.105,56	Circuito 26	-	Circuito 26	1.105,56
Circuito 27	-	Circuito 27	1.105,56	Circuito 27	1.105,56
Circuito 28	661,11	Circuito 28	-	Circuito 28	661,11
Circuito 29	661,11	Circuito 29	661,11	Circuito 29	-
Circuito 30	-	Circuito 30	1.105,56	Circuito 30	1.105,56
Circuito 31	452,78	Circuito 31	452,78	Circuito 31	-
Circuito 32	602,78	Circuito 32	602,78	Circuito 32	-
Circuito 33	-	Circuito 33	-	Circuito 33	156,52
Circuito 34	-	Circuito 34	-	Circuito 34	65,21
Circuito 35	-	Circuito 35	104,34	Circuito 35	-
Circuito 36	-	Circuito 36	-	Circuito 36	65,21
Circuito 37	-	Circuito 37	78,26	Circuito 37	-
Circuito 38	1.200,00	Circuito 38	-	Circuito 38	-
Circuito 39	-	Circuito 39	1.200,00	Circuito 39	-
Circuito 40	-	Circuito 40	-	Circuito 40	1.200,00
Circuito 41	600	Circuito 41	600,00	Circuito 41	-
Circuito 42	-	Circuito 42	1.040,00	Circuito 42	1040
Total	21.846,11		22.172,05		21.493,62

Fonte: Autor.

4.6.3 Pavimentos Tipo

A distribuição elétrica deste pavimento foi projetada com quatro quadros de distribuição gerais, sendo três deles quadros parciais, estrategicamente posicionados para otimizar o atendimento à demanda. Além desses, foi instalado um quadro por quarto, garantindo uma distribuição eficiente e independente para cada ambiente. De acordo

com a alínea 9.5.3.3 da NBR 5410, que permite a alimentação conjunta de iluminação e tomadas, optou-se por unificar as alimentações dos circuitos de iluminação e tomadas neste pavimento, com o objetivo de simplificar a distribuição elétrica.

Nos banheiros, foram utilizadas TUEs de 20 A para suportar equipamentos de maior potência. Os circuitos com corrente superior a 10 A foram alimentados de forma exclusiva, enquanto os demais pontos atenderam à limitação de até 16 A por circuito, conforme estabelecido na alínea 9.5.3.3, no tópico a, da norma.

Os circuitos de iluminação de emergência foram projetados em conformidade com a NBR 10898 – Sistemas de Iluminação de Emergência, garantindo operação adequada em caso de falha no fornecimento de energia.

Para uma melhor compreensão da distribuição dos circuitos, a Tabela 44 apresenta a distribuição dos circuitos do Quadro Parcial 1.

Tabela 44 – Dimensionamento dos Circuitos - QDC Parcial 1

QDC - QUARTO 01			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
1	Ilum. e TUG - Qto 01	620,00	127
2	Ilum. e TUG - Banh. 01	700,00	127
3	Frigobar - Qto 01	61,11	127
4	Ar cond. - Qto 01	1116,51	220
QDC - QUARTO 02			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
5	Ilum. e TUG - Qto 02	460,00	127
6	Ilum. e TUG - Banh. 02	700,00	127
7	Frigobar - Qto 02	61,11	127
8	Ar cond. - Qto 02	837,38	220
QDC - QUARTO 03			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
9	Ilum. e TUG - Qto 03	560,00	127
10	Ilum. e TUG - Banh. 03	700,00	127

Tabela 44 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
11	Frigobar - Qto 03	61,11	127
12	Ar cond. - Qto 03	1.116,51	220
QDC - QUARTO 04			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
13	Ilum. e TUG - Qto 04	560,00	127
14	Ilum. e TUG - Banh. 04	700,00	127
15	Frigobar - Qto 04	61,11	127
16	Ar cond. - Qto	837,38	220
17	Motor hidromassagem - Qto 04	1.222,22	220
QDC - QUARTO 05			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
18	Ilum. e TUG - Qto 05	720,00	127
19	Ilum. e TUG - Banh. 05	700,00	127
20	Frigobar - Qto 05	61,11	127
21	Ar cond. - Qto 05	1.116,51	220
22	Motor hidromassagem - Qto 05	1.222,22	220
Circuitos Adicionais - QDC PARCIAL 1			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
81	Ilum. e TUG - Depósito	780,00	127
82	Ilum. corredor - QD Parcial 1	1.004,00	127
83	Ilum. emergência - QD Parcial 1	52,17	127
Total	-	16.030,45	-

Fonte: Autor.

Para uma melhor compreensão da distribuição dos circuitos, a Tabela 45 apresenta a distribuição dos circuitos do Quadro Parcial 2.

Tabela 45 – Dimensionamento dos Circuitos - QDC Parcial 2

QDC - QUARTO 06			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
23	Ilum. e TUG - Qto 06	720,00	127
24	Ilum. e TUG - Banh. 06	700,00	127
25	Frigobar - Qto 06	61,11	127
26	Ar cond. - Qto 06	1.116,51	220
27	Motor hidromassagem - Qto 306	1.222,22	220

QDC - QUARTO 07			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
28	Ilum. e TUG - Qto 07	560,00	127
29	Ilum. e TUG - Banh. 07	700,00	127
30	Frigobar - Qto 07	61,11	127
31	Ar cond. - Qto 07	1.116,51	220

QDC - QUARTO 08			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
32	Ilum. e TUG - Qto 08	680,00	127
33	Ilum. e TUG - Banh. 08	700,00	127
34	Frigobar - Qto 08	61,11	127
35	Ar cond. - Qto 08	1.116,51	220

QDC - QUARTO 09			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
36	Ilum. e TUG - Qto 09	460,00	127
37	Ilum. e TUG - Banh. 09	700,00	127

Tabela 45 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
38	Frigobar - Qto 09	61,11	127
39	Ar cond. - Qto 09	837,38	220

QDC - QUARTO 10

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
40	Ilum. e TUG - Qto 10	560,00	127
41	Ilum. e TUG - Banh. 10	700,00	127
42	Frigobar - Qto 10	61,11	127
43	Ar cond. - Qto 10	1.116,51	220

QDC - QUARTO 11

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
44	Ilum. e TUG - Qto 11	460,00	127
45	Ilum. e TUG - Banh. 11	700,00	127
46	Frigobar - Qto 11	61,11	127
47	Ar cond. - Qto 11	837,38	220

QDC - QUARTO 12

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
48	Ilum. e TUG - Qto 12	560,00	127
49	Ilum. e TUG - Banh. 12	700,00	127
50	Frigobar - Qto 12	61,11	127
51	Ar cond. - Qto 12	1.116,51	220

QDC - QUARTO 13

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
52	Ilum. e TUG - Qto 13	560,00	127
53	Ilum. e TUG - Banh. 13	700,00	127

Tabela 45 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
54	Frigobar - Qto 13	61,11	127
55	Ar cond. - Qto 13	1.116,51	220
Circuitos Adicionais - QDC PARCIAL 2			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
84	Ilum. corredor - QD Parcial 2	804,00	127
85	Ilum. corredor - QD Parcial 2	904,00	127
86	Ilum. emergência - QD Parcial 2	78,26	127
Total		22.031,17	

Fonte: Autor.

A Tabela 46 apresenta a distribuição dos circuitos do Quadro Parcial 3.

Tabela 46 – Dimensionamento dos Circuitos - QDC Parcial 3

QDC - QUARTO 14			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
56	Ilum. e TUG - Qto 14	780,00	127
57	Ilum. e TUG - Banh. 14	700,00	127
58	Frigobar - Qto 14	61,11	127
59	Ar cond. - Qto 14	1.116,51	220
QDC - QUARTO 15			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
60	Ilum. e TUG - Qto 15	680,00	127
61	Ilum. e TUG - Banh. 15	700,00	127
62	Frigobar - Qto 15	61,11	127
63	Ar cond. - Qto 15	1.116,51	220

Tabela 46 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
QDC - QUARTO 16			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
64	Ilum. e TUG - Qto 16	1.060,00	127
65	Ilum. e TUG - Banh. 16	700,00	127
66	Frigobar - Qto 16	61,11	127
67	Ar cond. - Qto 16	1.116,51	220
QDC - QUARTO 17			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
68	Ilum. e TUG - Qto 17	940,00	127
69	Ilum. e TUG - Banh. 17	700,00	127
70	Frigobar - Qto 17	61,11	127
71	Ar cond. - Qto 17	1.116,51	220
72	Motor hidromassagem - Qto 17	1.222,22	220
QDC - QUARTO 18			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
73	Ilum. e TUG - Qto 18	680,00	127
74	Ilum. e TUG - Banh. 18	700,00	127
75	Frigobar - Qto 18	61,11	127
76	Ar cond. - Qto 18	1.116,51	220
QDC - QUARTO 19			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
77	Ilum. e TUG - Qto 19	620,00	127
78	Ilum. e TUG - Banh. 19	700,00	127
79	Frigobar - Qto 19	61,11	127

Tabela 46 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
80	Ar cond. - Qto 19	1.116,51	220
Circuitos Adicionais - QDC PARCIAL 3			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
87	Ilum. corredor - QD Parcial 3	904,00	127
88	Ilum. corredor - QD Parcial 3	1.104,00	127
89	Ilum. emergência - QD Parcial 3	91,30	127
Total		18.567,24	

Fonte: Autor.

A Tabela 47 apresenta a organização dos circuitos terminais do quadro de distribuição principal do pavimento, considerando o somatório total da potência de todos os quadros parciais.

Tabela 47 – Dimensionamento dos Circuitos - QDC Principal

Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
QDC - PRINCIPAL			
Nº Circuito	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
90	Ilum. e TUG - Escada	460,00	127
91	Ilum. emergência - Escada	39,13	127
Total		58.168,87	

Fonte: Autor.

4.6.3.1 Divisão entre Fases

A divisão entre as fases foi realizada levando em consideração a melhor disposição dos circuitos em cada quadro, além de uma análise geral para o quadro principal, garantindo uma distribuição equilibrada e eficiente da carga elétrica. Essa distribuição pode ser observada na tabela 48 abaixo.

Tabela 48 – Balanceamento de Fases dos Pavimentos Tipo

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Circuito 1	620,00	Circuito 1	-	Circuito 1	-
Circuito 2	-	Circuito 2	-	Circuito 2	700,00
Circuito 3	-	Circuito 3	-	Circuito 3	61,11
Circuito 4	-	Circuito 4	558,25	Circuito 4	558,25
Circuito 5	460,00	Circuito 5	-	Circuito 5	-
Circuito 6	-	Circuito 6	-	Circuito 6	700,00
Circuito 7	-	Circuito 7	-	Circuito 7	61,11
Circuito 8	418,69	Circuito 8	418,69	Circuito 8	-
Circuito 9	-	Circuito 9	-	Circuito 9	560,00
Circuito 10	-	Circuito 10	700,00	Circuito 10	-
Circuito 11	-	Circuito 11	-	Circuito 11	61,11
Circuito 12	558,25	Circuito 12	558,25	Circuito 12	-
Circuito 13	560,00	Circuito 13	-	Circuito 13	-
Circuito 14	-	Circuito 14	700,00	Circuito 14	-
Circuito 15	-	Circuito 15	-	Circuito 15	61,11
Circuito 16	-	Circuito 16	418,69	Circuito 16	418,69
Circuito 17	611,11	Circuito 17	-	Circuito 17	611,11
Circuito 18	-	Circuito 18	-	Circuito 18	720,00
Circuito 19	-	Circuito 19	700,00	Circuito 19	-
Circuito 20	61,11	Circuito 20	-	Circuito 20	-
Circuito 21	558,25	Circuito 21	558,25	Circuito 21	-
Circuito 22	611,11	Circuito 22	-	Circuito 22	611,11
Circuito 23	-	Circuito 23	720,00	Circuito 23	-
Circuito 24	700,00	Circuito 24	-	Circuito 24	-

Tabela 48 – Continuação

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Circuito 25	-	Circuito 25	-	Circuito 25	61,11
Circuito 26	558,25	Circuito 26	-	Circuito 26	558,25
Circuito 27	611,11	Circuito 27	611,11	Circuito 27	-
Circuito 28	560,00	Circuito 28	-	Circuito 28	-
Circuito 29	-	Circuito 29	-	Circuito 29	700,00
Circuito 30	-	Circuito 30	61,11	Circuito 30	-
Circuito 31	-	Circuito 31	558,25	Circuito 31	558,25
Circuito 32	-	Circuito 32	-	Circuito 32	680,00
Circuito 33	-	Circuito 33	700,00	Circuito 33	-
Circuito 34	-	Circuito 34	-	Circuito 34	61,11
Circuito 35	-	Circuito 35	558,25	Circuito 35	558,25
Circuito 36	460,00	Circuito 36	-	Circuito 36	-
Circuito 37	-	Circuito 37	700,00	Circuito 37	-
Circuito 38	-	Circuito 38	-	Circuito 38	61,11
Circuito 39	-	Circuito 39	418,69	Circuito 39	418,69
Circuito 40	560,00	Circuito 40	-	Circuito 40	-
Circuito 41	-	Circuito 41	-	Circuito 41	700,00
Circuito 42	-	Circuito 42	61,11	Circuito 42	-
Circuito 43	558,25	Circuito 43	-	Circuito 43	558,25
Circuito 44	460,00	Circuito 44	-	Circuito 44	-
Circuito 45	-	Circuito 45	700,00	Circuito 45	-
Circuito 46	-	Circuito 46	61,11	Circuito 46	-
Circuito 47	-	Circuito 47	418,69	Circuito 47	418,69
Circuito 48	560,00	Circuito 48	-	Circuito 48	-

Tabela 48 – Continuação

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Circuito 49	-	Circuito 49	700,00	Circuito 49	-
Circuito 50	-	Circuito 50	-	Circuito 50	61,11
Circuito 51	558,25	Circuito 51	-	Circuito 51	558,25
Circuito 52	560,00	Circuito 52	-	Circuito 52	-
Circuito 53	-	Circuito 53	700,00	Circuito 53	-
Circuito 54	-	Circuito 54	61,11	Circuito 54	-
Circuito 55	558,25	Circuito 55	558,25	Circuito 55	-
Circuito 56	-	Circuito 56	-	Circuito 56	780,00
Circuito 57	700,00	Circuito 57	-	Circuito 57	-
Circuito 58	-	Circuito 58	61,11	Circuito 58	-
Circuito 59	-	Circuito 59	558,25	Circuito 59	558,25
Circuito 60	-	Circuito 60	-	Circuito 60	680,00
Circuito 61	-	Circuito 61	700,00	Circuito 61	-
Circuito 62	-	Circuito 62	-	Circuito 62	61,11
Circuito 63	558,25	Circuito 63	558,25	Circuito 63	-
Circuito 64	1.060,00	Circuito 64	-	Circuito 64	-
Circuito 65	-	Circuito 65	700,00	Circuito 65	-
Circuito 66	-	Circuito 66	-	Circuito 66	61,11 66
Circuito 67	-	Circuito 67	558,25	Circuito 67	558,25
Circuito 68	-	Circuito 68	-	Circuito 68	940,00
Circuito 69	700,00	Circuito 69	-	Circuito 69	-
Circuito 70	-	Circuito 70	-	Circuito 70	61,11
Circuito 71	558,25	Circuito 71	-	Circuito 71	558,25
Circuito 72	611,11	Circuito 72	611,11	Circuito 72	-

Tabela 48 – Continuação

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Circuito 73	-	Circuito 73	680,00	Circuito 73	-
Circuito 74	-	Circuito 74	-	Circuito 74	700,00
Circuito 75	-	Circuito 75	61,11	Circuito 75	-
Circuito 76	558,25	Circuito 76	-	Circuito 76	558,25
Circuito 77	620,00	Circuito 77	-	Circuito 77	-
Circuito 78	700,00	Circuito 78	-	Circuito 78	-
Circuito 79	-	Circuito 79	61,11	Circuito 79	-
Circuito 80	-	Circuito 80	558,25	Circuito 80	558,25
Circuito 81	780,00	Circuito 81	-	Circuito 81	-
Circuito 82	-	Circuito 82	1.004,82	Circuito 82	-
Circuito 83	-	Circuito 83	-	Circuito 83	52,17
Circuito 84	804,00	Circuito 84	-	Circuito 84	-
Circuito 85	-	Circuito 85	-	Circuito 85	904,00
Circuito 86	-	Circuito 86	78,26	Circuito 86	-
Circuito 87	-	Circuito 87	-	Circuito 87	904,00
Circuito 88	-	Circuito 88	1.104,00	Circuito 88	-
Circuito 89	91,30	Circuito 89	-	Circuito 89	-
Circuito 90	460,00	Circuito 90	-	Circuito 90	-
Circuito 91	-	Circuito 91	39,13	Circuito 91	-
Total	19.363,83		19.532,68		19.011,47

Fonte: Autor.

4.6.4 Terraço

A distribuição elétrica deste pavimento foi projetada em um único quadro de distribuição, atendendo a todos os circuitos de iluminação e tomadas TUG e TUE. Optou-se por separar os circuitos de iluminação e tomadas para melhor organização. Conforme a

alínea 9.5.3.1, os circuitos com corrente nominal superior a 10A foram alocados de forma independente.

Os circuitos de iluminação de emergência foram projetados em conformidade com a NBR 10898 – Sistemas de Iluminação de Emergência, garantindo operação adequada em caso de falha no fornecimento de energia.

Além disso, de acordo com o item 6.5.4.7 da NBR 5410 e a Tabela 59 – Quadros de Distribuição – Espaço de Reserva, a norma estabelece a necessidade de 3 circuitos reserva para este projeto, considerando a quantidade de circuitos presentes.

Para uma melhor compreensão, a Tabela 49 apresenta a organização dos circuitos.

Tabela 49 – Dimensionamento dos Circuitos do Terraço

Nº do Circuito	Descrição	Total (VA)	Tensão (V)
1	Iluminação - Corredor	220,00	127
2	Iluminação de emergência	91,30	127
3	Iluminação 1 - Área externa	1.111,42	127
4	Iluminação 2 - Área externa	1.111,42	127
5	Iluminação 3 - Área externa	1.111,42	127
6	Iluminação 4 - Área externa	1.111,42	127
7	Iluminação 5 - Área externa	1.111,42	127
8	Iluminação 6 - Área externa	1.111,42	127
9	Iluminação 7 - Área externa	1.111,42	127
10	Iluminação - Depósito técnico	400,00	127
11	TUG - Depósito técnico	600,00	127
12	TUG - Corredor	400,00	127
13	Motor do elevador	6.133,33	220
14	Motor do elevador	6.133,33	220
15	Motor do aquecimento	1.635,55	220
16	Bomba de calor	12.222,22	220
17	Reserva	1.200,00	127

Tabela 49 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Total (VA)	Tensão (V)
18	Reserva	1.200,00	127
19	Reserva	1.200,00	127
20	Reserva	2.200,00	220
Total	-	41.415,74	-

Fonte: Autor.

4.6.4.1 Divisão entre Fases

A Tabela 50 apresenta a divisão dos circuitos entre as fases do quadro do terraço, com o objetivo de equilibrar a carga elétrica e garantir a eficiência e segurança do sistema.

Tabela 50 – Balanceamento de Fases do Terraço

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Círculo 1	-	Círculo 1	-	Círculo 1	220,00
Círculo 2	91,30	Círculo 2	-	Círculo 2	-
Círculo 3	1.111,42	Círculo 3	-	Círculo 3	-
Círculo 4	-	Círculo 4	-	Círculo 4	1.111,42
Círculo 5	1.111,42	Círculo 5	-	Círculo 5	-
Círculo 6	-	Círculo 6	1.111,42	Círculo 6	-
Círculo 7	-	Círculo 7	-	Círculo 7	1.111,42
Círculo 8	1.111,42	Círculo 8	-	Círculo 8	-
Círculo 9	-	Círculo 9	-	Círculo 9	1.111,42
Círculo 10	400,00	Círculo 10	-	Círculo 10	-
Círculo 11	-	Círculo 11	-	Círculo 11	600,00
Círculo 12	-	Círculo 12	400,00	Círculo 12	-
Círculo 13	2.044,44	Círculo 13	2.044,44	Círculo 13	2.044,44
Círculo 14	2.044,44	Círculo 14	2.044,44	Círculo 14	2.044,44

Tabela 50 – Continuação

Fase R	Total (VA)	Fase S	Total (VA)	Fase T	Total (VA)
Círculo 15	545,18	Círculo 15	545,18	Círculo 15	545,18
Círculo 16	4.074,07	Círculo 16	4.074,07	Círculo 16	4.074,07
Círculo 17	1.200,00	Círculo 17	-	Círculo 17	-
Círculo 18	-	Círculo 18	1.200,00	Círculo 18	-
Círculo 19	-	Círculo 19	1.200,00	Círculo 19	-
Círculo 20	-	Círculo 20	1.100,00	Círculo 20	1.100,00
Total	13.733,73		13.719,57		13.962,43

Fonte: Autor.

4.7 Dimensionamento dos condutores

As Tabelas 51, 52, 53 e 54 apresentam as informações finais obtidas após a aplicação dos métodos de dimensionamento estabelecidos pela NBR 5410, visando garantir a segurança e a eficiência da instalação elétrica. Os critérios utilizados foram:

- Seção Mínima (Tabela 47 da NBR 5410);
- Método da Ampacidade (Tabela 36 da NBR 5410);
- Método da Queda de Tensão (limites definidos nos itens 6.2.7.1 e 6.2.7.2 da NBR 5410).

A maior seção obtida entre os três critérios foi adotada, assegurando a conformidade com as normas e a adequada operação da instalação.

4.7.1 Subsolo

A Tabela 51 apresenta a seção dos condutores do subsolo:

Tabela 51 – Dimensionamento dos Circuitos do Subsolo

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm ²)
1	Iluminação 1 - Garagem	2,5
2	Iluminação 2 - Garagem	2,5
3	Iluminação 3 - Garagem	1,5
4	Iluminação 4 - Garagem	1,5
5	Iluminação 5 - Garagem	2,5
6	Iluminação 6 - Garagem	1,5
7	Iluminação 7 - Garagem	1,5
8	Iluminação 8 - Lavanderia	1,5
9	Iluminação de emergência	2,5
10	Iluminação e TUG - Escada	2,5
11	TUG - Lavanderia	2,5
12	TUG - Garagem e Escada	2,5
13	Carro elétrico 1	4,0
14	Lavadora	2,5
15	Lavadora	2,5
16	Secadora	10,0
17	Secadora	10,0
18	Calandra	2,5
19	Calandra	2,5
20	Reserva	2,5
21	Reserva	2,5
22	Reserva	2,5

Tabela 51 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm ²)
23	Reserva	2,5

Fonte: Autor.

4.7.2 Térreo

A Tabela 52 apresenta o dimensionamento dos circuitos do térreo, detalhando a seção nominal dos condutores conforme a demanda de cada circuito.

Tabela 52 – Dimensionamento dos Circuitos do Térreo

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm ²)
1	Ilum. 1 - Garagem	2,5
2	Ilum. 2 - Garagem e Dep.	4,0
3	Ilum. - Banhe. e Acad.	4,0
4	Ilum. - Sala Reunião/Admin.	2,5
5	Ilum. - Sala Jogos	2,5
6	Ilum. - Restaurante	2,5
7	Ilum. - Recepção, Banho Recepção e Estar	4,0
8	Ilum. - Cozinha	2,5
9	Ilum. - Corredor	4,0
10	TUG - Sala Jogos	4,0
11	TUG - Sala Admin. e Sala Reunião	2,5
12	TUG - Academia	4,0
13	TUG - Banhe. Fem. 1	2,5
14	TUG - Banhe. Masc.	6,0
15	TUG - Banhe. PNE, Dep. e Garagem	4,0
16	TUG - Corredor e Banho Recepção	2,5
17	TUG - Recepção e Estar	2,5

Tabela 52 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm²)
18	TUG - Cozinha	4,0
19	TUG - Restaurante	2,5
20	TUE - Cozinha - Lava Louça	6,0
21	TUE - Cozinha	4,0
22	TUE - Cozinha - Forno	2,5
23	TUE - Câmara Frigorífica	2,5
24	Ar Cond. - Sala Jogos	2,5
25	Ar Cond. - Administrativo	2,5
26	Ar Cond. - Sala Reunião	2,5
27	Ar Cond. - Acad. 1	2,5
28	Ar Cond. - Acad. 2	2,5
29	Ar Cond. - Restaurante 1	2,5
30	Ar Cond. - Restaurante 2	2,5
31	Ar Cond. - Restaurante 3	2,5
32	Ar Cond. - Recepção	2,5
33	Ar Cond. - Estar	2,5
34	Ilum. Emerg. - Corredor e Garagem	2,5
35	Ilum. Emerg. - Estar, Recepção e Escada	2,5
36	Ilum. Emerg. - Restaurante e Cozinha	2,5
37	Ilum. Emerg. - Acad. e Banheiros	2,5
38	Ilum. Emerg. - Sala Jogos, Admin. e Sala Reunião	2,5
39	Reserva	2,5
40	Reserva	2,5
41	Reserva	2,5

Tabela 52 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm ²)
42	Reserva	2,5

Fonte: Autor.

4.7.3 Pavimentos Tipo

A Tabela 53 apresenta o dimensionamento dos circuitos dos Pavimentos Tipo, especificando a seção nominal dos condutores de acordo com a demanda de cada circuito, garantindo conformidade com os critérios normativos e a eficiência da instalação elétrica.

Tabela 53 – Dimensionamento dos Circuitos dos Pavimentos Tipo

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm ²)
1	Ilum. e TUG - Quarto 301	2,5
2	Ilum. e TUG - Banhe. 301	2,5
3	Frigobar - Quarto 301	2,5
4	Ar Cond. - Quarto 301	2,5
5	Ilum. e TUG - Quarto 302	2,5
6	Ilum. e TUG - Banhe. 302	2,5
7	Frigobar - Quarto 302	2,5
8	Ar Cond. - Quarto 302	2,5
9	Ilum. e TUG - Quarto 303	2,5
10	Ilum. e TUG - Banhe. 303	4,0
11	Frigobar - Quarto 303	2,5
12	Ar Cond. - Quarto 303	2,5
13	Ilum. e TUG - Quarto 304	2,5
14	Ilum. e TUG - Banhe. 304	4,0
15	Frigobar - Quarto 304	2,5

Tabela 53 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm²)
16	Ar Cond. - Quarto 304	2,5
17	Motor Hidro. - Quarto 304	2,5
18	Ilum. e TUG - Quarto 305	2,5
19	Ilum. e TUG - Banhe. 305	2,5
20	Frigobar - Quarto 305	2,5
21	Ar Cond. - Quarto 305	2,5
22	Motor Hidro. - Quarto 305	2,5
23	Ilum. e TUG - Quarto 306	2,5
24	Ilum. e TUG - Banhe. 306	2,5
25	Frigobar - Quarto 306	2,5
26	Ar Cond. - Quarto 306	2,5
27	Motor Hidro. - Quarto 306	2,5
28	Ilum. e TUG - Quarto 307	2,5
29	Ilum. e TUG - Banhe. 307	4,0
30	Frigobar - Quarto 307	2,5
31	Ar Cond. - Quarto 307	2,5
32	Ilum. e TUG - Quarto 308	2,5
33	Ilum. e TUG - Banhe. 308	4,0
34	Frigobar - Quarto 308	2,5
35	Ar Cond. - Quarto 308	2,5
36	Ilum. e TUG - Quarto 309	2,5
37	Ilum. e TUG - Banhe. 309	4,0
38	Frigobar - Quarto 309	2,5
39	Ar Cond. - Quarto 309	2,5

Tabela 53 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm²)
40	Ilum. e TUG - Quarto 310	2,5
41	Ilum. e TUG - Banhe. 310	2,5
42	Frigobar - Quarto 310	2,5
43	Ar Cond. - Quarto 310	2,5
44	Ilum. e TUG - Quarto 311	2,5
45	Ilum. e TUG - Banhe. 311	4,0
46	Frigobar - Quarto 311	2,5
47	Ar Cond. - Quarto 311	2,5
48	Ilum. e TUG - Quarto 312	2,5
49	Ilum. e TUG - Banhe. 312	4,0
50	Frigobar - Quarto 312	2,5
51	Ar Cond. - Quarto 312	2,5
52	Ilum. e TUG - Quarto 313	2,5
53	Ilum. e TUG - Banhe. 313	4,0
54	Frigobar - Quarto 313	2,5
55	Ar Cond. - Quarto 313	2,5
56	Ilum. e TUG - Quarto 314	2,5
57	Ilum. e TUG - Banhe. 314	4,0
58	Frigobar - Quarto 314	2,5
59	Ar Cond. - Quarto 314	2,5
60	Ilum. e TUG - Quarto 315	2,5
61	Ilum. e TUG - Banhe. 315	4,0
62	Frigobar - Quarto 315	2,5
63	Ar Cond. - Quarto 315	2,5

Tabela 53 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm²)
64	Ilum. e TUG - Quarto 316	2,5
65	Ilum. e TUG - Banhe. 316	4,0
66	Frigobar - Quarto 316	2,5
67	Ar Cond. - Quarto 316	2,5
68	Ilum. e TUG - Quarto 317	2,5
69	Ilum. e TUG - Banhe. 317	4,0
70	Frigobar - Quarto 317	2,5
71	Ar Cond. - Quarto 317	2,5
72	Motor Hidro. - Quarto 317	2,5
73	Ilum. e TUG - Quarto 318	2,5
74	Ilum. e TUG - Banhe. 318	4,0
75	Frigobar - Quarto 318	2,5
76	Ar Cond. - Quarto 318	2,5
77	Ilum. e TUG - Quarto 319	2,5
78	Ilum. e TUG - Banhe. 319	4,0
79	Frigobar - Quarto 319	2,5
80	Ar Cond. - Quarto 319	2,5
81	Ilum. e TUG - Depósito	2,5
82	Ilum. Corredor - QD Parcial 1	2,5
83	Ilum. Emerg. - QD Parcial 1	2,5
84	Ilum. Corredor - QD Parcial 2	2,5
85	Ilum. Corredor - QD Parcial 2	2,5
86	Ilum. Emerg. - QD Parcial 2	2,5
87	Ilum. Corredor - QD Parcial 3	2,5

Tabela 53 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm ²)
88	Ilum. Corredor - QD Parcial 3	2,5
89	Ilum. Emerg. - QD Parcial 3	2,5
90	Ilum. e TUG - Escada	2,5
91	Ilum. Emerg. - Escada	2,5

Fonte: Autor.

4.7.4 Terraço

A Tabela 54 apresenta a distribuição dos circuitos do térreo, especificando a seção dos condutores de acordo com as exigências de cada circuito:

Tabela 54 – Dimensionamento dos Circuitos do Terraço

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm ²)
1	Iluminação - Corredor	2,5
2	Iluminação Emerg.	2,5
3	Iluminação 1 - Externa	2,5
4	Iluminação 2 - Externa	4,0
5	Iluminação 3 - Externa	4,0
6	Iluminação 4 - Externa	2,5
7	Iluminação 5 - Externa	2,5
8	Iluminação 6 - Externa	1,5
9	Iluminação 7 - Externa	1,5
10	Iluminação - Depósito técnico	2,5
11	TUG - Depósito técnico	2,5
12	TUG - Corredor	2,5
13	Motor Elevador	2,5
14	Motor Elevador	2,5

Tabela 54 – Continuação

Nº Circuito	Descrição	Seção (mm ²)
15	Motor Aq. a Gás	2,5
16	Bomba Calor - Aq. Gás	6,0
17	Reserva	2,5
18	Reserva	2,5
19	Reserva	2,5
20	Reserva	2,5

Fonte: Autor.

4.8 Dimensionamento dos Eletrodutos

Os eletrodutos desempenham a função essencial de proteger a fiação elétrica contra agentes externos e possíveis curtos-circuitos. No mercado, há diferentes tipos disponíveis, incluindo metálicos, não-metálicos, rígidos e flexíveis. Para este projeto, foram adotados eletrodutos flexíveis de PVC, considerando sua adequação às necessidades da instalação.

O dimensionamento foi realizado com base no cenário mais crítico, assegurando que todos os circuitos sejam devidamente atendidos. De acordo com a NBR 5410, no item 6.2.10.2, é permitido o compartilhamento de múltiplos circuitos em um mesmo eletroduto, desde que sejam atendidas as seguintes condições:

- Os circuitos devem pertencer à mesma instalação, ou seja, devem partir de um mesmo quadro de distribuição;
- As seções nominais dos condutores de fase devem estar contidas dentro de um intervalo de três valores normalizados sucessivos;
- Os condutores devem possuir o mesmo metal e a mesma isolação;
- Todos os condutores devem ser isolados para a mais alta Tensão Nominal presente no circuito.

No presente projeto, todas as condições estabelecidas pela norma são devidamente atendidas.

Para prevenir o superaquecimento e garantir uma dissipação térmica eficiente, a NBR 5410, no item 6.2.11.1.6, define as taxas máximas de ocupação dos eletrodutos.

Esses limites são determinados com base na quantidade de condutores, assegurando um espaçamento adequado para a troca de calor e a preservação da isolação dos cabos.

A taxa de ocupação é calculada pela relação entre a soma das áreas dos condutores e a área útil interna do eletroduto. Para este projeto, adotou-se a condição mais crítica, garantindo conformidade com os limites normativos.

Os valores utilizados foram obtidos a partir de referências de fabricantes, sendo aproximados aos disponibilizados no mercado. Para o dimensionamento das áreas e diâmetros dos eletrodutos, foram considerados os dados fornecidos pela Pirelli.

4.8.1 Subsolo

No subsolo, os circuitos 1, 2, 9 e 12 apresentam a situação de maior criticidade, cujas características estão detalhadas na Tabela 55.

Tabela 55 – Dimensionamento dos eletrodutos do Subsolo

Área Total	85,60
Área Interna Eletroduto	214,00
Raio Interno do Eletroduto	8,25
Diâmetro Interno do Eletroduto	16,50
Eletroduto Escolhido	3/4"

Fonte: Autor.

Dessa forma, para os circuitos deste pavimento, foi especificado o uso de eletroduto de 3/4".

4.8.2 Térreo

No pavimento térreo, foram identificadas três condições críticas distintas, conforme descrito a seguir:

- Primeira condição crítica: circuitos 1, 2, 15 e 34;
- Segunda condição crítica: circuitos 3, 12, 14 e 37;
- Terceira condição crítica: circuitos 6, 19, 31 e 36.

As análises indicaram valores similares para a área e o diâmetro interno do eletroduto em todas as situações. No entanto, para assegurar maior segurança e confiabilidade na instalação, adotou-se a condição com o maior valor, conforme apresentado na Tabela 56.

Tabela 56 – Dimensionamento dos eletrodutos do Térreo

Área Total	85,60
Área Interna Eletroduto	282,00
Raio Interno do Eletroduto	9,47
Diâmetro Interno do Eletroduto	18,94
Eletroduto Escolhido	3/4"

Fonte: Autor.

Dessa forma, para os circuitos deste pavimento, foi especificado o uso de eletroduto de 3/4".

4.8.3 Pavimentos Tipo

No pavimento tipo, foram identificadas seis condições críticas distintas, conforme descrito a seguir:

- Primeira condição crítica: circuitos 36, 37 e 38;
- Segunda condição crítica: circuitos 44, 45 e 46;
- Terceira condição crítica: circuitos 48, 49 e 50;
- Quarta condição crítica: circuitos 56, 57 e 58;
- Quinta condição crítica: circuitos 64, 65 e 66;
- Sexta condição crítica: circuitos 68, 69 e 70.

Para todas essas situações, foram observados os mesmos valores para área e diâmetro interno dos eletrodutos, conforme detalhado na Tabela 57.

Tabela 57 – Dimensionamento dos eletrodutos dos Pavimentos Tipo

Área Total	70,4
Área Interna Eletroduto	176,00
Raio Interno do Eletroduto	7,48
Diâmetro Interno do Eletroduto	14,96
Eletroduto Escolhido	3/8"

Fonte: Autor.

O diâmetro interno calculado de 14,96 mm corresponde à utilização de um eletroduto de 3/8". No entanto, simulando uma expansão futura e visando maior segurança e padronização na lista de materiais, foi considerado a inclusão de um circuito adicional de

2,5 mm² no agrupamento. Isso resulta em um diâmetro interno total de 17,09 mm, o que implica na necessidade de adoção de um eletroduto de 3/4", caso ocorra uma ampliação da instalação.

4.8.4 Terraço

No pavimento terraço, foi identificada a situação crítica, contendo os circuitos agrupados 3, 4, 5 e 12. Para esses circuitos, foram identificadas as seguintes características:

Tabela 58 – Dimensionamento dos eletrodutos do Térreo

Área Total	98,00
Área Interna Eletroduto	245,00
Raio Interno do Eletroduto	8,83
Diâmetro Interno do Eletroduto	17,66
Eletroduto Escolhido	3/4"

Fonte: Autor.

Dessa forma, para os circuitos deste pavimento, foi especificado o uso de eletroduto de 3/4".

4.9 Dimensionamento dos Condutores e Eletroduto do Circuito de Distribuição

Por fim, procede-se ao dimensionamento dos condutores do Circuito de Distribuição, responsável pela conexão entre o medidor e o Quadro Geral, bem como à seleção do disjuntor termomagnético correspondente.

Considerando que este projeto se enquadra na faixa F9, a seção do condutor de fase adotada é de 240 mm². Todas as correções necessárias foram realizadas com base no critério de queda de tensão estabelecido pela norma. Para a proteção do circuito, são permitidos disjuntores termomagnéticos com correntes nominais de 300 A, 315 A ou 320 A.

Neste estudo, optou-se pela utilização de um disjuntor do tipo DIN, por ser um padrão internacional da *International Electrotechnical Commission* (IEC), que proporciona maior compactade e resistência. Dessa forma, o disjuntor termomagnético do medidor selecionado foi dimensionado com corrente nominal de 300 A.

4.10 Dimensionamento dos Disjuntores Termomagnéticos

Nas instalações elétricas, as sobrecorrentes representam um risco significativo, sendo controladas por dispositivos de proteção como os disjuntores termomagnéticos (DTMs).

Esses dispositivos devem atender às normativas técnicas vigentes, garantindo a segurança e a confiabilidade da instalação (ABNT, 2004:2008).

Para isso, além da conformidade com a NBR 5410, os DTMs são regulamentados por normas específicas conforme o ambiente de aplicação (ABNT, 2023a; ABNT, 2023b):

- NBR IEC 60898: Voltada para instalações acessíveis a usuários sem capacitação técnica, como residências e pequenos comércios.
- NBR IEC 60947-2: Aplicável a ambientes industriais e comércios especializados, onde o manuseio é realizado por profissionais qualificados.

Dessa forma, a escolha adequada dos dispositivos de proteção assegura a mitigação de riscos associados às sobrecorrentes, promovendo a integridade dos circuitos e a segurança dos usuários (ABNT, 2004:2008).

De acordo com os critérios do item 5.3.4.1 da NBR 5410, a proteção dos condutores contra sobrecargas depende da adequada especificação dos dispositivos de proteção, considerando os limites de corrente de projeto, capacidade de condução e atuação. Assim, as Tabelas 59, 60, 61 e 62 apresentam os valores determinados para cada pavimento, demonstrando a aplicação desses parâmetros às condições específicas de instalação.

A seleção dos dispositivos foi realizada com base no Catálogo Siemens 2025 (SIE-MENS, 2025), assegurando conformidade com as normativas vigentes e viabilidade prática na implementação do sistema elétrico.

4.10.1 Subsolo

Para o subsolo, os valores apresentados na Tabela 59 consideram tanto as correntes calculadas quanto os valores comerciais disponíveis para os dispositivos de proteção, garantindo a conformidade com as normas e a viabilidade prática da instalação.

Tabela 59 – Dimensionamento dos DTMs do Subsolo

Nº Circ.	Descrição	Classe	Pol.	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
1	Ilum. 1 - Garagem	C	M	16	5
2	Ilum. 2 - Garagem	C	M	16	5
3	Ilum. 3 - Garagem	C	M	13	5
4	Ilum. 4 - Garagem	C	M	16	5
5	Ilum. 5 - Garagem	C	M	16	5

Tabela 59 – Continuação

Nº Circ.	Descrição	Classe	Pol.	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
6	Illum. 6 - Garagem	C	M	16	5
7	Illum. 7 - Garagem	C	M	16	5
8	Illum. 8 - Lavand.	C	M	16	5
9	Illum. Emerg.	C	M	16	5
10	Illum./TUG Escada	B	M	13	5
11	TUG Lavand.	B	M	13	5
12	TUG Garagem	B	M	16	5
13	Carro Elét. 1	C	B	32	5
14	Lavadora	C	T	13	4,5
15	Lavadora	C	T	13	4,5
16	Secadora	C	T	50	4,5
17	Secadora	C	T	50	4,5
18	Calandra	C	T	13	4,5
19	Calandra	C	T	13	4,5
20	Reserva	B	M	10	5
21	Reserva	B	M	10	5
22	Reserva	B	M	10	5
23	Reserva	B	B	10	5

Fonte: Autor.

4.10.2 Térreo

Para o térreo, os dados obtidos levam em conta as correntes dimensionadas e os padrões comerciais dos dispositivos de proteção, assegurando o atendimento às normativas e a aplicabilidade da instalação, conforme a Tabela 60 abaixo.

Tabela 60 – Dimensionamento dos DTM_s dos Pavimentos
Tipo

Nº Circ.	Descrição	Classe	Pol.	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
1	Ilum. 1 - Gar.	C	M	16	5
2	Ilum. 2 - Gar. e Dep.	C	M	16	5
3	Ilum. - Ban. e Acad.	C	M	16	5
4	Ilum. - S. Reun. e Adm.	C	M	16	5
5	Ilum. - S. Jogos	C	M	16	5
6	Ilum. - Rest.	C	M	16	5
7	Ilum. - Recep., Ban. Recep. e Est.	C	M	16	5
8	Ilum. - Coz.	C	M	20	5
9	Ilum. - Corr.	C	M	16	5
10	TUG - S. Jogos	B	M	16	5
11	TUG - S. Adm. e S. Reun.	B	M	16	5
12	TUG - Acad.	B	M	16	5
13	TUG - Ban. Fem. 1	B	M	20	5
14	TUG - Ban. Masc.	B	M	32	5
15	TUG - Ban. PNE, Dep. e Gar.	B	M	16	5
16	TUG - Corr. e Ban. Recep.	B	M	16	5
17	TUG - Recep. e Est.	B	M	16	5
18	TUG - Coz.	B	M	32	5
19	TUG - Rest.	B	M	20	5
20	TUE - Coz. - Lava-louças	B	T	50	4,5
21	TUE - Coz.	B	M	32	5
22	TUE - Câm. Frig.	B	T	10	4,5
23	Ar Cond. - S. Jogos	B	B	10	5

Tabela 60 – Continuação

Nº Circ.	Descrição	Classe	Pol.	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
24	Ar Cond. - Adm.	B	B	10	5
25	Ar Cond. - S. Reun.	B	B	10	5
26	Ar Cond. - Acad. 1	B	B	10	5
27	Ar Cond. - Acad. 2	B	B	10	5
28	Ar Cond. - Rest. 1	B	B	10	5
29	Ar Cond. - Rest. 2	B	B	10	5
30	Ar Cond. - Rest. 3	B	B	13	5
31	Ar Cond. - Recep.	B	B	10	5
32	Ar Cond. - Est.	B	B	10	5
33	Ilum. Emerg. - Corr. e Gar.	B	M	20	5
34	Ilum. Emerg. - Est., Rec. e Esc.	B	M	16	5
35	Ilum. Emerg. - Rest. e Coz.	B	M	16	5
36	Ilum. Emerg. - Acad. e Ban.	B	M	16	5
37	Ilum. Emerg. - S. Jogos, Adm.	B	M	16	5
38	Reserva	B	M	10	5
39	Reserva	B	M	10	5
40	Reserva	B	M	10	5
41	Reserva	B	M	10	5
42	Reserva	B	B	10	5

Fonte: Autor.

4.10.3 Pavimentos Tipo

Para os Pavimentos Tipo, as informações consideradas incluem as correntes dimensionadas e os padrões comerciais dos dispositivos de proteção, garantindo conformidade com as normas vigentes e a viabilidade da instalação, conforme a Tabela 61 abaixo.

Tabela 61 – Dimensionamento dos DTM_s dos Pavimentos
Tipo

Nº Circ.	Descrição	Classe	Polos	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
1	Ilum. e TUG - Quarto 01	B	M	13	5
2	Ilum. e TUG - Banheiro 01	B	M	20	5
3	Frigobar - Quarto 01	B	M	13	5
4	Ar condicionado - Quarto 01	B	B	10	5
5	Ilum. e TUG - Quarto 02	B	M	13	5
6	Ilum. e TUG - Banheiro 02	B	M	20	5
7	Frigobar - Quarto 02	B	M	16	5
8	Ar condicionado - Quarto 02	B	B	13	5
9	Ilum. e TUG - Quarto 03	B	M	13	5
10	Ilum. e TUG - Banheiro 03	B	M	25	5
11	Frigobar - Quarto 03	B	M	10	5
12	Ar condicionado - Quarto 03	B	B	10	5
13	Ilum. e TUG - Quarto 04	B	M	13	5
14	Ilum. e TUG - Banheiro 04	B	M	25	5
15	Frigobar - Quarto 04	B	M	10	5
16	Ar condicionado - Quarto 04	B	B	10	5
17	Hidromassagem - Quarto 04	C	T	10	4,5
18	Ilum. e TUG - Quarto 05	B	M	10	5
19	Ilum. e TUG - Banheiro 05	B	M	25	5
20	Frigobar - Quarto 05	B	M	10	5
21	Ar condicionado - Quarto 05	B	B	10	5
22	Hidromassagem - Quarto 05	C	T	10	4,5
23	Ilum. e TUG - Quarto 06	B	M	10	5

Tabela 61 – Continuação

Nº Circ.	Descrição	Classe	Polos	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
24	Ilum. e TUG - Banheiro 06	B	M	20	5
25	Frigobar - Quarto 06	B	M	10	5
26	Ar condicionado - Quarto 06	B	B	10	5
27	Hidromassagem - Quarto 06	C	T	10	4,5
28	Ilum. e TUG - Quarto 07	B	M	13	5
29	Ilum. e TUG - Banheiro 07	B	M	25	5
30	Frigobar - Quarto 07	B	M	10	5
31	Ar condicionado - Quarto 07	B	B	10	5
32	Ilum. e TUG - Quarto 08	B	M	13	5
33	Ilum. e TUG - Banheiro 08	B	M	25	5
34	Frigobar - Quarto 08	B	M	10	5
35	Ar condicionado - Quarto 08	B	B	10	5
36	Ilum. e TUG - Quarto 09	B	M	16	5
37	Ilum. e TUG - Banheiro 09	B	M	32	5
38	Frigobar - Quarto 09	B	M	16	5
39	Ar condicionado - Quarto 09	B	B	10	5
40	Ilum. e TUG - Quarto 10	B	M	13	5
41	Ilum. e TUG - Banheiro 10	B	M	20	5
42	Frigobar - Quarto 10	B	M	13	5
43	Ar condicionado - Quarto 10	B	B	10	5
44	Ilum. e TUG - Quarto 11	B	M	16	5
45	Ilum. e TUG - Banheiro 11	B	M	32	5
46	Frigobar - Quarto 11	B	M	16	5
47	Ar condicionado - Quarto 11	B	B	10	5

Tabela 61 – Continuação

Nº Circ.	Descrição	Classe	Polos	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
48	Ilum. e TUG - Quarto 12	B	M	16	5
49	Ilum. e TUG - Banheiro 12	B	M	32	5
50	Frigobar - Quarto 12	B	M	16	5
51	Ar condicionado - Quarto 12	B	B	10	5
52	Ilum. e TUG - Quarto 13	B	M	13	5
53	Ilum. e TUG - Banheiro 13	B	M	25	5
54	Frigobar - Quarto 13	B	M	13	5
55	Ar condicionado - Quarto 13	B	B	10	5
56	Ilum. e TUG - Quarto 14	B	M	16	5
57	Ilum. e TUG - Banheiro 14	B	M	32	5
58	Frigobar - Quarto 14	B	M	16	5
59	Ar condicionado - Quarto 14	B	B	10	5
60	Ilum. e TUG - Quarto 15	B	M	13	5
61	Ilum. e TUG - Banheiro 15	B	M	25	5
62	Frigobar - Quarto 15	B	M	10	5
63	Ar condicionado - Quarto 15	B	B	10	5
64	Ilum. e TUG - Quarto 16	B	M	16	5
65	Ilum. e TUG - Banheiro 16	B	M	32	5
66	Frigobar - Quarto 16	B	M	16	5
67	Ar condicionado - Quarto 16	B	B	10	5
68	Ilum. e TUG - Quarto 17	B	M	16	5
69	Ilum. e TUG - Banheiro 17	B	M	32	5
70	Frigobar - Quarto 17	B	M	16	5
71	Ar condicionado - Quarto 17	B	B	0	5

Tabela 61 – Continuação

Nº Circ.	Descrição	Classe	Polos	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
72	Hidromassagem - Quarto 17	C	T	10	4,5
73	Ilum. e TUG - Quarto 18	B	M	13	5
74	Ilum. e TUG - Banheiro 18	B	M	25	5
75	Frigobar - Quarto 18	B	M	10	5
76	Ar condicionado - Quarto 18	B	B	10	5
77	Ilum. e TUG - Quarto 19	B	M	16	5
78	Ilum. e TUG - Banheiro 19	B	M	32	5
79	Frigobar - Quarto 19	B	M	16	5
80	Ar condicionado - Quarto 19	B	B	10	5
81	Ilum. e TUG - Depósito	B	M	10	5
82	Ilum. corredor - QD PARCIAL 1	B	M	13	5
83	Ilum. emergência - QD PARCIAL 1	B	M	13	5
84	Ilum. corredor - QD PARCIAL 2	B	M	13	5
85	Ilum. corredor - QD PARCIAL 2	B	M	13	5
86	Ilum. emergência - QD PARCIAL 2	B	M	13	5
87	Ilum. corredor - QD PARCIAL 3	B	M	13	5
88	Ilum. corredor - QD PARCIAL 23	B	M	13	5
89	Ilum. emergência - QD PARCIAL 3	B	M	13	5
90	Ilum. e TUG - Escada	B	M	13	5
91	Ilum. emergência - Escada	B	M	13	5

Fonte: Autor.

4.10.4 Terraço

Para o terraço, a seleção dos dispositivos de proteção seguiu as correntes dimensionadas e os padrões comerciais, garantindo conformidade com as normas vigentes e viabilidade da instalação, conforme a Tabela 62 abaixo.

Tabela 62 – Dimensionamento dos DTMs do Terraço

Circ.	Descrição	Classe	Polos	I _{nom} (A)	I _{rupt} (kVA)
1	Ilum. - Corredor	C	M	16	5
2	Ilum. Emerg.	C	M	16	5
3	Ilum. 1 - Externa	C	M	16	5
4	Ilum. 2 - Externa	C	M	16	5
5	Ilum. 3 - Externa	C	M	16	5
6	Ilum. 4 - Externa	C	M	16	5
7	Ilum. 5 - Externa	C	M	16	5
8	Ilum. 6 - Externa	C	M	16	5
9	Ilum. 7 - Externa	C	M	16	5
10	Ilum. - Dep. Tec.	B	M	16	5
11	TUG - Dep. Tec.	B	M	16	5
12	TUG - Corredor	B	M	16	5
13	Motor do elevador	C	T	13	4,5
14	Motor do elevador	C	T	13	4,5
15	Motor aquecimento	C	B	10	5
16	Bomba de calor	C	T	32	4,5
17	Reserva	B	M	10	5
18	Reserva	B	M	10	5
19	Reserva	B	M	10	5
20	Reserva	B	M	10	5

Fonte: Autor.

4.11 Dimensionamento dos Dispositivos Diferenciais Residuais

A norma NBR 5410, no item 5.1.3.2.2, determina a obrigatoriedade do uso de Dispositivos Diferenciais Residuais (DRs) em circuitos que alimentam ambientes externos

e cômodos de serviço. Além disso, a norma proíbe o uso de DRs quando o condutor de neutro e o condutor de proteção são o mesmo, uma vez que o condutor de proteção nunca deve ser interrompido por um dispositivo de proteção.

A seguir, são apresentadas as especificações adotadas para os DRs no projeto, em conformidade com as diretrizes da NBR 5410 e com as condições de segurança exigidas para os circuitos localizados em ambientes externos e cômodos de serviço. O uso de DRs foi implementado, garantindo proteção eficaz contra choques elétricos e outras falhas de isolamento, assegurando a segurança dos usuários e a integridade da instalação elétrica.

4.11.1 Subsolo

No subsolo, todos os DRs serão do tipo AC e serão alocados nos pontos da lavanderia, conforme estabelecido no item 5.1.3.2.2 da norma NBR 5410. Dessa forma, os circuitos dessa área contarão com esses dispositivos de proteção, garantindo a segurança elétrica e atendendo aos requisitos normativos para ambientes com maior risco de choque elétrico, conforme detalhado na Tabela 63.

Tabela 63 – Dimensionamento dos DRs do Subsolo

Nº Circ.	Descrição	Tensão (V)	I _{nom} (A)	I _{DRn} (mA)
11	TUG - Lavanderia	220	13	30
14	Lavadora	220	14	30
15	Lavadora	220	13	30
16	Secadora	220	50	30
17	Secadora	220	50	30
18	Calandra	220	13	30
19	Calandra	220	13	30

Fonte: Autor.

4.11.2 Térreo

No pavimento térreo, os DRs tipo AC serão instalados nos circuitos da cozinha e dos banheiros, atendendo às exigências da norma NBR 5410. Com isso, será assegurada a proteção dessas áreas, minimizando riscos de choques elétricos e garantindo a segurança dos usuários, conforme detalhado na Tabela 64.

Tabela 64 – Dimensionamento dos DRs do Térreo

Nº Circ.	Descrição	Tensão (V)	I _{nom} (A)	I _{DRn} (mA)
11	TUG - Ban. Fem. 1	127	20	30
14	TUG - Ban. Masc.	127	32	30
15	TUG - Ban. PNE, Dep.	127	20	30
16	TUG - Corred. e Ban. Rec.	127	16	30
18	TUG - Cozinha	127	32	30
20	TUE - Coz. - Lava-louça	220	50	30
21	TUE - Cozinha	127	32	30
23	TUE - Câmara Frigor.	220	10	30

Fonte: Autor.

4.11.3 Pavimentos Tipo

Nos Pavimentos Tipo, a adoção de um único Dispositivo Diferencial Residual (DR) do tipo AC no quadro geral se mostrou mais vantajosa do que a instalação de 19 DRs individuais por pavimento. Essa escolha permitiu uma redução significativa na complexidade da instalação elétrica, otimizando a distribuição dos circuitos e facilitando a manutenção. Além disso, a centralização do DR no quadro geral contribuiu para a redução de custos com materiais e mão de obra, ao mesmo tempo em que manteve a segurança elétrica dos circuitos protegidos, conforme detalhado na Tabela 65.

Tabela 65 – Dimensionamento dos DRs dos Pavimentos Tipo

Descrição	Tens. (V)	Corr. Nom. (A)	I _{DRn} (mA)
DR do quadro geral	220	125	30

Fonte: Autor.

4.11.4 Terraço

No terraço, os DRs do tipo AC serão alocados nos pontos da central de aquecimento, garantindo a proteção adequada conforme a norma NBR 5410. Dessa forma, assegura-se a proteção dos circuitos dessa área, minimizando riscos de choques elétricos e garantindo a segurança dos usuários, conforme detalhado na Tabela 66.

Tabela 66 – Dimensionamento dos DRs do Terraço

Nº Circ.	Descrição	Tens. (V)	Corr. Nom. (A)	I_{DR_n} (mA)
15	Motor aquecimento	220	10	30
16	Bomba de calor	220	32	30

Fonte: Autor.

4.12 Aterramento da Instalação

A escolha do sistema de aterramento TN-S para a instalação elétrica do hotel foi fundamentada em critérios técnicos e normativos, visando garantir a segurança dos usuários, a proteção dos equipamentos e o funcionamento adequado do sistema elétrico. O sistema TN-S foi selecionado por atender às exigências da NBR 5410, que regula as instalações elétricas de baixa tensão, além de proporcionar uma configuração que separa de maneira clara o condutor de neutro (N) do condutor de proteção (PE). Essa separação é essencial para a segurança da instalação, especialmente em edificações de grande porte, como hotéis, que demandam alto consumo de energia elétrica.

Conforme estabelecido no item 6.4 da NBR 5410, o principal objetivo do aterramento é garantir a equipotencialização das partes metálicas acessíveis da instalação elétrica, além de possibilitar a dissipação segura de correntes de falha e fuga. A equipotencialização assegura que não haja diferença de potencial entre as partes metálicas da edificação e o solo, minimizando os riscos de choques elétricos.

A NBR 5410 também define duas funções essenciais do aterramento:

- Aterramento Funcional: Conforme descrito no item 6.4.1 da norma, o aterramento funcional tem como objetivo a redução da tensão de deslocamento do neutro, evitando variações de tensão que poderiam comprometer o desempenho dos aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos.
- Aterramento de Proteção: De acordo com o item 6.4.2, o aterramento de proteção visa a condução de correntes de falha ou correntes de fuga para o solo, protegendo as pessoas de choques elétricos. Em caso de falha no isolamento ou contato acidental com partes energizadas, o sistema de aterramento garante que a corrente de falha seja dissipada de maneira segura, evitando riscos de acidentes.

Além dessas funções, o aterramento assegura o correto funcionamento do sistema elétrico, oferecendo a proteção necessária aos usuários.

Em conformidade com a Tabela 4 da norma ND 5.1 da CEMIG, a instalação deste projeto, classificada na categoria de fornecimento F6, exige a utilização de três hastes de aterramento. As hastes de aterramento exigidas pela concessionária desempenham funções tanto de aterramento funcional quanto de proteção. No entanto, embora atendam a essas funções, isoladamente, as hastes não são suficientes para constituir o sistema de aterramento completo necessário para a instalação.

As hastes especificadas pela concessionária, localizadas nas proximidades do ramal de entrada e junto aos limites da propriedade, têm como principal função reduzir a tensão de deslocamento do neutro. No entanto, para garantir a equipotencialização e a segurança elétrica adequadas, essas hastes devem ser corretamente conectadas ao conjunto de eletrodos de aterramento da instalação.

A NBR 5410, no item 6.4.1.1.1, recomenda a utilização da armadura metálica do concreto das fundações como eletrodo de aterramento. As ferragens estruturais das edificações se estendem por toda a construção, oferecendo uma distribuição eficiente do potencial elétrico e garantindo maior eficiência na equipotencialização do sistema.

Esse tipo de aterramento, baseado nas ferragens de concreto, é totalmente compatível com o sistema TN-S, pois a separação entre os condutores de neutro e de proteção facilita a condução das correntes de falha para o solo, sem comprometer a segurança da instalação elétrica. Dessa forma, o uso da armadura metálica como eletrodo de aterramento contribui significativamente para a eficiência do sistema, assegurando que a instalação esteja devidamente protegida contra possíveis falhas elétricas.

4.13 Dimensionamento do Dispositivo de Proteção contra Surtos

O Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) é essencial para proteger as instalações elétricas contra sobretensões transitórias causadas por descargas atmosféricas ou manobras na rede elétrica. Conforme a NBR 5410, a escolha do tipo de DPS deve considerar o nível de proteção exigido e o tipo de sistema de aterramento adotado na instalação.

Para a instalação do hotel, foi selecionado o DPS de Classe 2, que é indicado para a proteção contra surtos de média intensidade, geralmente oriundos da rede elétrica ou de descargas atmosféricas menos severas. Esse dispositivo será instalado tanto no quadro de distribuição principal quanto nos quadros secundários, conforme orientado pela NBR 5410, garantindo proteção contínua em toda a instalação.

A escolha do DPS de 275 V e capacidade de 40 kA foi feita levando em consideração as especificações da norma NBR 5410, bem como as particularidades da instalação elétrica do hotel. Dessa forma, assegura-se que a proteção contra surtos seja eficiente e adequada, minimizando riscos e danos aos equipamentos elétricos e aos usuários.

4.14 Lista de materiais

A lista de materiais em um projeto de instalações elétricas é um documento essencial que detalha todos os componentes necessários para a execução do sistema elétrico, garantindo a conformidade com as normas técnicas e a segurança da instalação. Ela inclui itens como fios, cabos, disjuntores, dispositivos de proteção, quadros de distribuição, conectores, tomadas, interruptores, eletrodos de aterramento, entre outros. Cada material é especificado quanto à quantidade, características e normas, assegurando a eficiência e a segurança da instalação elétrica.

Uma vantagem significativa deste projeto é a elaboração de uma lista de materiais bem dimensionada, evitando gastos desnecessários. Dessa forma, os componentes são especificados de acordo com as necessidades reais da instalação, o que contribui para a otimização de custos e a redução de desperdícios, promovendo maior eficiência no uso dos recursos e garantindo o cumprimento dos requisitos técnicos e de segurança.

4.14.1 Subsolo

A Tabela 67 apresenta a lista de materiais necessários para a execução da instalação elétrica no subsolo.

Tabela 67 – Lista de Materiais do Subsolo

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Acessórios p/ eletrodutos			
Caixa PVC	4x2"	49	pç
Caixa PVC octogonal	3x3"	26	pç
Cabo Unipolar (cobre)			
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	1.5 mm ² - Amarelo	39,39	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	1.5 mm ² - Azul claro	106,99	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	1.5 mm ² - Branco	66,69	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	1.5 mm ² - Vermelho	15,08	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Amarelo	34,58	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Azul claro	329,81	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Branco	161,20	m

Tabela 67 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Preto	137,41	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Verde-Amarelo	158,73	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Vermelho	27,69	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Preto	10,40	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Verde-Amarelo	10,40	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Vermelho	10,40	m
Isol.PVC	95 mm ² - Vermelho	15,00	m
Isol.PVC	50 mm ² - Vermelho	5,00	m
Isol.PVC	35 mm ² - Vermelho	5,00	m
Dispositivo Elétrico - embutido			
Placa 2x4"	Interruptor simples - 1 tecla	1	pç
Placa 2x4"	Placa c/ furo	1	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 1 função	15	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 2 funções	5	pç
Placa 2x4"	Tomada hexagonal 2P+T 10 A	16	pç
Placa 2x4"	Tomada hexagonal 2P+T 20 A	8	pç
Módulo Tomada 10 A Branco	Tomada hexagonal 2P+T 10 A	19	pç
Módulo Tomada 10 A Branco	Tomada hexagonal (2) 2P+T 10 A	1	pç
Módulo Tomada 20 A Vermelho	Tomada hexagonal (2) 2P+T 20 A	4	pç
Tomada industrial 40 A -220 V	Tomada 2P+T 40 A	1	pç
Tomada industrial 63 A -220 V	Tomada 2P+T 63 A	2	pç
Dispositivo de Comando			

Tabela 67 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Interruptor autom. por presença	220 V - 1200 W resistivo	16	pç
Dispositivo de Proteção			
Disjuntor monopolar	10 A - 6 kA - Curva B	3	pç
Disjuntor monopolar	13 A - 6 kA - Curva B	1	pç
Disjuntor monopolar	13 A - 6 kA - Curva C	2	pç
Disjuntor monopolar	16 A - 6 kA - Curva B	1	pç
Disjuntor monopolar	16 A - 6 kA - Curva C	8	pç
Disjuntor bipolar	10 A - 6 kA - Curva B	1	pç
Disjuntor bipolar	32 A - 6 kA - Curva C	1	pç
Disjuntor tripolar	13 A - 4,5 kA - Curva C	4	pç
Disjuntor tripolar	50 A - 4,5 kA - Curva B	2	pç
Disjuntor de caixa moldada	200 A - Trifásico - Curva C	1	pç
Disjuntor DR tripolar	13 A - 6 kA - AC - In 30 mA	5	pç
Disjuntor DR tripolar	50 A - 6 kA - AC - In 30 mA	1	pç
Eletroduto PVC flexível			
Eletroduto	3/4"	189,5	m
Eletroduto	75 mm ²	4	m
Iluminação de emergência			
Bloco autônomo - aclaramento	Autonomia 3h - 600lm	9	pç
Luminária e acessórios			
Luminária Tubular Led	Luminária tubular Led	26	pç
Soquete	base G 13	52	pç
Lâmpadas Led			

Tabela 67 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Tubular Led	18 W	26	pç
Quadro distrib. chapa pintada - embutir			
Barr. trif., disj. geral compacto	Cap. 24 disj. - In barr. 200 A	1	pç

Fonte: Autor.

4.14.2 Térreo

A Tabela 68 apresenta a lista de materiais necessários para a execução da instalação elétrica no térreo.

Tabela 68 – Lista de Materiais dos Pavimentos Tipo

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Acessórios p/ eletrodutos			
Caixa PVC	4x2"	153	pç
Caixa PVC octogonal	3x3"	126	pç
Curva 180 PVC rosca	4"	4	pç
Curva 90 PVC rosca	4"	4	pç
Cabo Unipolar (cobre)			
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Amarelo	208,80	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Azul claro	942,40	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Branco	363,50	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Preto	305,10	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Verde-Amarelo	364,20	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Vermelho	1.365,90	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Amarelo	358,10	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Azul claro	585,20	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Branco	99,10	m

Tabela 68 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Preto	208,20	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Verde-Amarelo	289,90	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Vermelho	193,20	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² - Azul claro	59,50	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² - Branco	45,90	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² - Preto	27,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² - Verde-Amarelo	59,40	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² - Vermelho	13,30	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	240 mm ² - Vermelho	16,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	120 mm ² - Azul claro	16,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	120 mm ² - Verde-Amarelo	16,00	m
Caixa de passagem - embutir			
Aço pintada	100x100x80 mm	1	pç
Aço pintada	120x120x65 mm	1	pç
Aço pintada	150x150x75 mm	6	pç
Dispositivo Elétrico - embutido			
Placa 2x4"	Interruptor simples - 1 tecla	14	pç
Placa 2x4"	Interruptor paralelo - 1 tecla	2	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 1 função	107	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 2 função	3	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 3 função	1	pç
Placa 2x4"	Tomada hexagonal 2P+T 10 A	38	pç
Módulo Tomada 10 A Branco	Tomada hexagonal (2) 2P+T 10 A	1	pç
Módulo Tomada 20 A Branco	Tomada hexagonal (2) 2P+T 20 A	2	pç

Tabela 68 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Módulo Tomada 20 A Branco	Tomada hexagonal (3) 2P+T 20 A	1	pç
Módulo Tomada 10 A Branco	Tomada hexagonal 2P+T 10 A	43	pç
Módulo Tomada 20 A Branco	Tomada hexagonal 2P+T 20 A	24	pç
Módulo Tomada 20 A Vermelho	Tomada hexagonal 2P+T 20 A	2	pç
Dispositivo de Comando			
Interruptor autom. por presença	220 V - 1200 W resistivo	15	pç
Relé fotoelétrico	Fotocélula	1	pç
Relé temporizador	Simples	1	pç
Dispositivo de Proteção			
Disjuntor monopolar	10 A - 6 kA - Curva B	4	pç
Disjuntor monopolar	16 A - 6 kA - Curva B	18	pç
Disjuntor monopolar	20 A - 6 kA - Curva B	4	pç
Disjuntor monopolar	32 A - 6 kA - Curva B	3	pç
Disjuntor bipolar	10 A - 6 kA - Curva B	109	pç
Disjuntor bipolar	13 A - 6 kA - Curva B	1	pç
Disjuntor tripolar	10 A - 4,5 kA - Curva B	1	pç
Disjuntor tripolar	50 A - 4,5 kA - Curva B	1	pç
Disjuntor de caixa moldada	300 A - 10 kA - Curva C	1	pç
Dispositivo contra surto	275 V - 40 kA - Classe II	4	pç
Disjuntor DR tripolar	10 A - AC - In 30 mA	1	pç
Disjuntor DR tripolar	16 A - AC - In 30 mA	2	pç
Disjuntor DR tripolar	20 A - AC - In 30 mA	1	pç
Disjuntor DR tripolar	32 A - AC - In 30 mA	3	pç

Tabela 68 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Disjuntor DR tripolar	50 A - AC - In 30 mA	1	pç
Eletroduto PVC flexível			
Eletroduto	3/4"	1.107,1	m
Eletroduto	2"	15,35	m
Eletroduto PVC rosca			
Eletroduto vara 3m	4"	2,5	m
Iluminação de emergência			
Bloco autônomo - aclaramento	Autonomia 3h - 600lm	38	pç
Luminária e acessórios			
Luminária Led Sobrepor	Ledvance Slim Plafon	102	pç
Luminária tubular LED	Luminária tubular LED	24	pç
Soquete	Base G13	48	pç
Lâmpada LED			
Tubular LED	20 W	24	pç
Quadro de medição			
Unidade consumidora individual - embutir	CM 17 - Caixa de distribuição geral (disjuntor até 300 A)	1	pç
Quadro distrib. chapa pintada - embutir			
Barr. trif., disj. geral - DIN	Cap. 12 disj - In barr. 63 A	3	pç
Barr. trif., disj. geral - DIN	Cap. 20 disj. - In barr. 300 A	1	pç

Fonte: Autor.

4.14.3 Pavimentos Tipo

A Tabela 69 apresenta a lista de materiais necessários para a execução da instalação elétrica nos pavimentos tipo, já considerando o total necessário para os três andares do empreendimento.

Tabela 69 – Lista de Materiais dos Pavimentos Tipo

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Acessórios p/ eletrodutos			
Caixa PVC	4x2"	876	pç
Caixa PVC octogonal	3x3"	252	pç
Cabo Unipolar (cobre)			
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Amarelo	2.607,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Azul claro	4.227,90	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Branco	2063,10	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Preto	1.358,70	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Verde-Amarelo	3.457,20	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Vermelho	1.932,30	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Amarelo	189,60	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Azul claro	583,80	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Branco	182,70	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Preto	447,60	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Verde-Amarelo	583,80	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Vermelho	1.129,70	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	25 mm ² - Vermelho	100,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	16 mm ² - Vermelho	30,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	240 mm ² - Vermelho	60,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	120 mm ² - Vermelho	18,00	m
Caixa de passagem - embutir			
Aço pintada	150x150x75 mm	111	pç
Dispositivo Elétrico - embutido			
Placa 2x4"	Interruptor simples - 1 tecla	6	pç

Tabela 69 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Placa 2x4"	Interruptor simples - 2 tecla	66	pç
Placa 2x4"	Interruptor intermediário - 1 tecla	27	pç
Placa 2x4"	Interruptor paralelo - 1 tecla	38	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 1 função	172	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 2 função	3	pç
Placa 2x4"	Tomada hexagonal 2P+T 10A	60	pç
Módulo Tomada 10 A Branco	Tomada hexagonal 2P+T 10 A	342	pç
Módulo Tomada 10 A Branco	Tomada hexagonal(2) 2P+T 10 A	3	pç
Placa 2x4"	Tomada hexagonal 2P+T 20 A	114	pç
Dispositivo de Comando			
Interruptor autom. por presença	220 V - 1200 W resistivo	63,0	pç
Dispositivo de Proteção			
Disjuntor monopolar	10 A - 6 kA - Curva B	33,0	pç
Disjuntor monopolar	13 A - 6 kA - Curva B	69,0	pç
Disjuntor monopolar	16 A - 6 kA - Curva B	45,0	pç
Disjuntor monopolar	20 A - 6 kA - Curva B	15,0	pç
Disjuntor monopolar	25 A - 6 kA - Curva B	21,0	pç
Disjuntor monopolar	32 A - 6 kA - Curva B	21,0	pç
Disjuntor bipolar	10 A - 6 kA - Curva B	54,0	pç
Disjuntor bipolar	13 A - 6 kA - Curva B	3,0	pç
Disjuntor tripolar	10 A - 6 kA - Curva B	9,0	pç
Disjuntor tripolar	13 A - 6 kA - Curva C	3,0	pç
Disjuntor tripolar	63 A - 10 kA - Curva B	69,0	pç

Tabela 69 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Disjuntor de caixa moldada	100 A - 10 kA - Curva B	3,0	pç
Disjuntor DR tripolar	100 A - 6kA - AC - In 30 mA	3	pç
Eletroduto PVC flexível			
Eletroduto	3/4"	5.344,7	m
Eletroduto	110m ²	51	m
Iluminação de emergência			
Bloco autônomo - aclaramento	Autonomia 3h - 600lm	60	pç
Luminária e acessórios			
Luminária Led Sobrepor	Ledvance Slim Plafon	252	pç
Quadro distrib. chapa pintada - embutir			
Barr. trif., disj. geral - DIN	Cap. 12 disj. - In barr. 63 A	63	pç
Barr. trif., disj. geral - DIN	Cap. 12 disj. - In barr. 100 A	3	pç

Fonte: Autor.

4.14.4 Terraço

A Tabela 70 apresenta os materiais necessários para a instalação elétrica no Terraço.

Tabela 70 – Lista de Materiais do Terraço

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Acessórios p/ eletrodutos			
Caixa PVC	4x2"	34	pç
Caixa PVC octogonal	3x3"	6	pç
Cabo Unipolar (cobre)			
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	1.5 mm ² - Amarelo	30,03	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	1.5 mm ² - Branco	30,03	m

Tabela 70 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Amarelo	41,73	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Azul claro	258,96	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Branco	105,95	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Preto	122,98	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Verde-Amarelo	93,99	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	2.5 mm ² - Vermelho	67,60	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Azul claro	73,45	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	4 mm ² - Preto	73,45	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² - Branco	8,97	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² - Preto	8,97	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² - Verde-Amarelo	8,97	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	240 mm ² - Vermelho	15,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	120 mm ² - Vermelho	5,00	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	120 mm ² - Vermelho	5,00	m

Dispositivo Elétrico - embutido

Placa 2x4"	Interruptor simples - 1 tecla	3	pç
Placa 2x4"	Placa c/ furo	3	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 1 função	14	pç
Placa 2x4"	Placa p/ 2 funções	2	pç
Placa 2x4"	Tomada hexagonal 2P+T 10A	14	pç
Placa 2x4"	Tomada hexagonal (2) 2P+T 10 A	2	pç
Módulo Tomada 10 A Branco	Tomada hexagonal 2P+T 10 A	14	pç
Módulo Tomada 10 A Branco	Tomada hexagonal (2) 2P+T 10 A	2	pç
Tomada industrial 32 A -220 V	Tomada 3P+T 32 A	1	pç

Tabela 70 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Dispositivo de Comando			
Interruptor autom. por presença	220 V - 1200 W resistivo	7	pç
Dispositivo de Proteção			
Disjuntor monopolar	10 A - 6 kA - Curva B	3	pç
Disjuntor monopolar	16 A - 6 kA - Curva B	12	pç
Disjuntor bipolar	10 A - 6 kA - Curva B	2	pç
Disjuntor tripolar	13 A - 6 kA - Curva C	2	pç
Disjuntor tripolar	32 A - 4,5 kA - Curva C	1	pç
Disjuntor DR tripolar	10 A - 6kA - AC - In 30 mA	1	pç
Disjuntor DR tripolar	32 A - 6kA - AC - In 30 mA	1	pç
Disjuntor de caixa moldada	300 A - Trifásico - Curva C	1	pç
Eletroduto PVC flexível			
Eletroduto	3/4"	222,30	m
Eletroduto	110mm ²	15	m
Iluminação de emergência			
Bloco autônomo - aclaramento	Autonomia 3h - 600lm	6	pç
Luminária e acessórios			
Luminária Led Sobrepor	Ledvance Slim Plafon	6	pç
Lâmpadas Led			
Refletores	30 W com sensor	7	pç
Quadro distrib. chapa pintada - embutir			
Barr. trif., disj. geral - DIN	Cap. 24 disj. - In barr. 300 A	1	pç

Fonte: Autor.

Com a finalização do projeto de instalação elétrica, foi possível garantir a distribuição segura e eficiente da energia em todos os pavimentos, atendendo às normativas vigentes e assegurando a proteção dos circuitos e usuários. A seleção adequada dos dispositivos de proteção, o balanceamento das cargas entre as fases e a definição dos materiais necessários contribuíram para a viabilidade e confiabilidade da instalação. Dando continuidade ao projeto, é essencial abordar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, que permitirá a integração de uma fonte de energia sustentável, reduzindo o consumo da rede elétrica e promovendo maior eficiência energética para o empreendimento.

5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento de um sistema de geração de energia fotovoltaica deve considerar diversos fatores iniciais, como a área disponível para a instalação dos painéis, o orçamento disponível e a busca pela otimização do tempo de retorno financeiro. Além disso, é essencial analisar a quantidade de energia necessária para atender ao consumo do usuário, levando em consideração os dados solarimétricos da região de instalação, que podem ser obtidos por meio de medições, tabelas, programas ou mapas solares. A precisão desses dados é fundamental, pois erros na coleta podem resultar em prejuízos financeiros ou em um desempenho insatisfatório do sistema.

5.1 Incidência de Radiação Solar

Para calcular a irradiação solar média de Juiz de Fora - MG, inicialmente foram determinadas suas coordenadas geográficas, as quais foram obtidas por meio de ferramentas de geolocalização, como o *Google Maps*, e confirmadas com fontes oficiais. As coordenadas $21^{\circ} 46'$ de latitude sul e $43^{\circ} 21'$ de longitude oeste foram então utilizadas na plataforma online do Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB, 2025) para acessar os dados de irradiação solar. Para validar esses dados, também foi realizada uma consulta no *Global Solar Atlas* (World Bank Group, 2024), que indicou uma irradiação horizontal global de $4,516 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$, valor bastante próximo dos $4,55 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ adotados nos cálculos. Essa convergência reforça a confiabilidade dos dados utilizados para estimar o potencial de geração do sistema fotovoltaico.

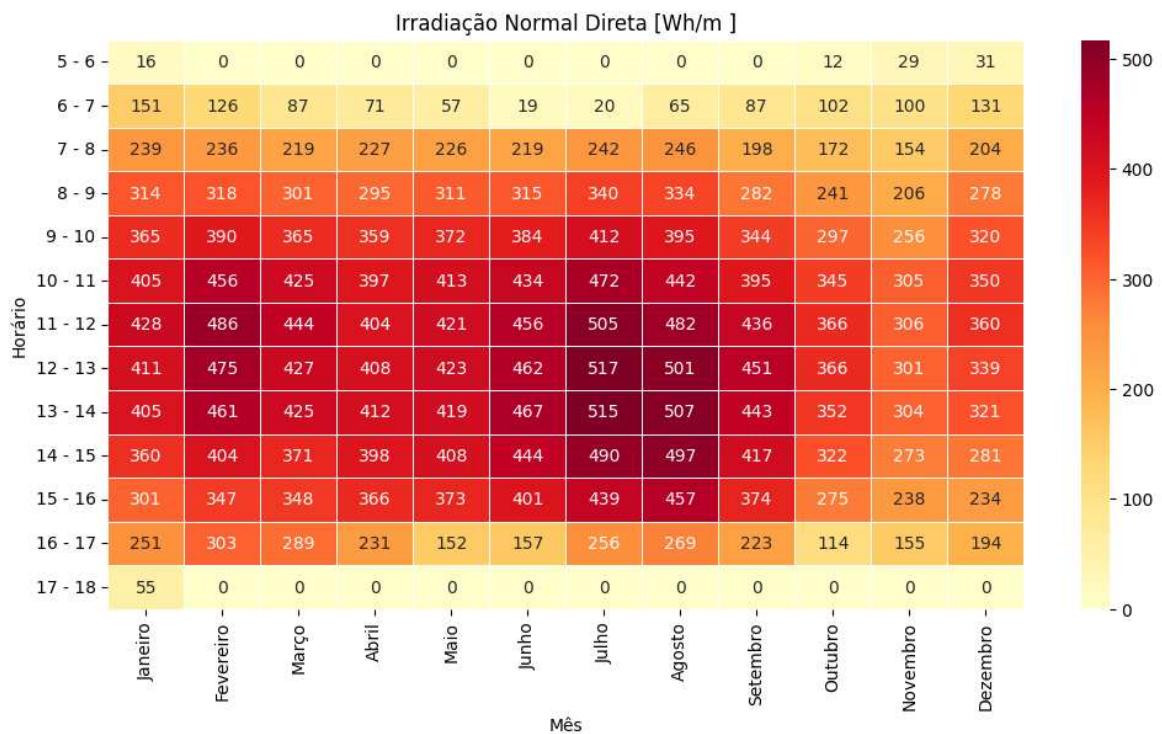
No entanto, a irradiação solar não representa diretamente a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico, pois fatores como eficiência dos painéis, temperatura ambiente e inclinação da instalação influenciam o rendimento final. Para estimar a produção elétrica real, utiliza-se o conceito de *Specific Photovoltaic Power Output* (PVOUT), que indica a quantidade de energia gerada por cada quilowatt-pico (kWp) instalado.

Segundo o *Global Solar Atlas*, o valor médio diário de PVOUT para Juiz de Fora/MG é de $3,837 \text{ kWp/dia}$, o que significa que um sistema com 1 kWp de potência instalada produziria, em média, $3,837 \text{ kWh}$ por dia.

Dessa forma, ao considerar tanto a irradiação solar quanto o PVOUT, é possível dimensionar adequadamente o sistema fotovoltaico e estimar sua contribuição para a demanda energética do local.

Além da irradiação horizontal global, é relevante analisar a Irradiação Normal Direta (DNI), que representa a componente da radiação solar incidente perpendicularmente a uma superfície. A seguir, a Figura 8 apresenta a distribuição horária e mensal da DNI para Juiz de Fora/MG.

Figura 8 – Incidência Normal Radiação Solar



Fonte: O Autor, baseado nos dados *Global Solar Atlas* (2025).

O gráfico de DNI ao longo do ano para Juiz de Fora/MG revela variações sazonais expressivas, com os maiores valores registrados durante o inverno e a primavera. Esse comportamento está associado à menor cobertura de nuvens e ao ângulo de incidência solar mais favorável nesses períodos.

Observa-se que os picos de DNI ocorrem nas horas centrais do dia, ressaltando a importância de um posicionamento otimizado dos módulos fotovoltaicos para maximizar a captação de energia. Além disso, a distribuição horária da irradiação destaca a necessidade de um dimensionamento criterioso do sistema, considerando não apenas a média diária de irradiação, mas também suas flutuações sazonais e diárias, que influenciam diretamente a geração fotovoltaica.

Essa análise enfatiza a relevância de avaliar múltiplas métricas de irradiação, como o PVOUT e a inclinação ideal dos módulos, para estimativas mais precisas da produção de energia elétrica no local.

5.2 Dimensionamento do consumo médio

A potência ativa instalada do hotel foi fornecida como 316,79 kW, representando a carga máxima possível da instalação. No entanto, essa potência não reflete o consumo real ao longo do dia, pois hotéis apresentam variações de demanda devido à ocupação sazonal e ao uso intermitente de equipamentos. Dessa forma, a análise do consumo energético deve

levar em consideração o fator de carga da instalação, permitindo um dimensionamento adequado do sistema.

5.2.1 Cálculo do Consumo Energético Médio

A potência ativa instalada do hotel foi fornecida como 316,79 kW, representando a carga máxima que a instalação pode demandar em um determinado instante. No entanto, esse valor não reflete o consumo real de energia ao longo do tempo, pois a demanda (kW) corresponde à potência instantânea requisitada, enquanto o consumo (kWh) representa a energia total utilizada em um período específico (dia, mês ou ano).

Por se tratar de uma instalação nova, ainda não há faturas de energia disponíveis para análise do consumo real. Assim, a estimativa do consumo médio diário e mensal é realizada a partir da demanda máxima e do fator de carga, que indica a fração média da demanda máxima efetivamente utilizada ao longo do tempo. Esse fator, além de refletir as variações no uso dos equipamentos, é essencial para o correto dimensionamento do sistema fotovoltaico, evitando seu superdimensionamento.

Neste estudo, adota-se um fator de carga de 60% para a estimativa do consumo energético do hotel. Esse valor foi determinado com base na taxa média de ocupação hoteleira no Brasil (Fórum de Operadores Hoteleiros do Brasil, 2024). Essa abordagem permite uma previsão mais realista do consumo, incorporando as oscilações no uso dos equipamentos e assegurando um dimensionamento adequado do sistema fotovoltaico.

A estimativa do consumo é realizada por meio da equação 5.1:

$$E = P_{dem} \times FC \times H \quad (5.1)$$

Onde:

- E = Consumo de energia (kWh);
- P_{dem} = Potência demandada (kW);
- FC = Fator de carga (adimensional);
- H = Tempo considerado (horas).

Substituindo os valores na equação 5.1, temos:

$$E = 316,79 \text{ kW} \times 0,60 \times 24 \text{ h} \quad (5.2)$$

$$E = 4.561,78 \text{ kWh/dia} \quad (5.3)$$

Assim, a instalação apresenta um consumo médio de 4.561,78 kWh/dia, considerando as variações sazonais e a utilização eficiente da energia.

5.3 Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

Para determinar a quantidade de painéis solares necessários, foi realizada uma análise de diversas marcas de módulos solares, levando em consideração os modelos com melhor eficiência, custo-benefício e maior utilização no mercado.

As especificações dos módulos solares escolhidos para o sistema de geração fotovoltaica estão apresentadas na Tabela 71.

Tabela 71 – Especificações do Módulo Solar

Especificação	Valor
Fabricante	LONGi
Modelo	LR5-54HTH-435M
Potência Máxima (Pmax)	435 W
Tolerância (%)	0 a 3%
Tensão de Máxima Potência (Vmp)	33,04 V
Corrente de Máxima Potência (Imp)	13,17 A
Tensão em Aberto (Voc)	39,33 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	14,22 A
Eficiência (%)	22,3 %
Classe do Inmetro	A
Tipo de Célula/Tecnologia	Silício Monocristalino
Número de Células	108 (Half-cell)
Configuração	6x18
Dimensões (mm)	1722 x 1134 x 30 mm
Área (m ²)	1,95 m ²
Peso (kg)	20,8 kg
Garantia	15 anos

Fonte: Autor.

Conforme os dados disponíveis, a área destinada à instalação das placas solares é de 520,85 m². Cada placa possui dimensões de 1722 mm × 1134 mm, o que equivale

a $1,722\text{ m} \times 1,134\text{ m}$. Dessa forma, a área ocupada por cada placa pode ser calculada através da equação 5.4.

$$\text{Área da placa} = 1,722\text{ m} \times 1,134 \quad (5.4)$$

$$\text{Área da placa} \approx 1,953\text{ m}^2 \quad (5.5)$$

Agora, o número máximo de placas que podem ser alocadas é dado pela Equação 5.6.

$$\text{Número de placas} = \frac{520,85\text{ m}^2}{1,953\text{ m}^2} \approx 266,69 \quad (5.6)$$

Portanto, o espaço disponível permite a alocação de até 266 placas solares.

No entanto, para garantir espaço para manutenção e circulação entre as placas, decidiu-se reservar parte da área disponível. Além disso, o espaçamento entre as placas fotovoltaicas foi planejado para evitar que se sombrem umas às outras, especialmente em determinadas épocas do ano, o que poderia comprometer a eficiência do sistema. Esse espaçamento também visa proporcionar uma boa ventilação entre as placas, prevenindo o superaquecimento e garantindo o bom desempenho do sistema. Dessa forma, foram alocadas 260 placas solares, ocupando um total de $507,78\text{ m}^2$, deixando uma área de $13,07\text{ m}^2$ livre, que facilita o acesso para manutenção e a realização de eventuais intervenções, sem comprometer a eficiência do sistema.

Após a escolha dos painéis fotovoltaicos, com os valores de potência dos módulos disponíveis, é possível determinar a quantidade de energia que será gerada pelo sistema. A potência nominal de cada painel solar representa sua capacidade máxima de geração em condições ideais de operação, ou seja, quando exposto à radiação solar máxima e sob condições ideais de temperatura. Esse valor de potência é fundamental para calcular a produção total de energia do sistema fotovoltaico, considerando a quantidade de painéis alocados e as condições reais de operação.

A estimativa da energia gerada pelo sistema fotovoltaico pode ser obtida por meio da Equação 5.7.

$$P_{\text{instalada}} = P_{\text{máxima}} \times N \quad (5.7)$$

Onde:

- $P_{\text{instalada}}$ é a potência total gerada pelos painéis solares (em kWp);

- $P_{máxima}$ é a potência máxima de cada painel solar (em kWp);
- N é o número total de painéis solares instalados.

Substituindo os valores na equação 5.7, obtém-se:

$$P_{instalada} = 0,435 \text{ kWp} \times 260 \quad (5.8)$$

$$P_{instalada} = 113,1 \text{ kWp} \quad (5.9)$$

A energia efetivamente gerada pelo sistema fotovoltaico por dia pode ser estimada utilizando a Equação 5.10:

$$E_{GP} = PVOUT \times P_{instalada} \quad (5.10)$$

Onde:

- E_{GP} é a energia efetiva gerada diariamente, considerando as perdas do sistema (kWh/dia);
- $PVOUT$ representa a produção específica do sistema fotovoltaico (kWh/kWp/dia);
- $P_{instalada}$ refere-se à potência total instalada do sistema fotovoltaico (kWp).

Substituindo os valores específicos do sistema:

$$E_{GP} = 3,837 \text{ kWp/dia} \times (113,1 \text{ kWp}) \quad (5.11)$$

$$E_{GP} \approx 433,96 \text{ kWp/dia} \quad (5.12)$$

Diferentemente de cálculos que utilizam apenas a irradiação solar, o PVOUT já considera as perdas elétricas do sistema, como a eficiência dos inversores, a temperatura dos módulos e outras variáveis que afetam a geração de energia. Dessa forma, o uso desse parâmetro permite uma estimativa mais realista do desempenho do sistema fotovoltaico, proporcionando um cálculo mais preciso da energia gerada em condições reais de operação.

Para determinar a produção anual do sistema fotovoltaico, a produção diária é multiplicada pelo número total de dias no ano, conforme estabelecido na Equação 5.13.

$$\text{Produção anual} = 433,96 \text{ kWp/dia} \times 365 \text{ dias} \quad (5.13)$$

$$\text{Produção anual} \approx 158.395,4 \text{ kWp/ano} \quad (5.14)$$

Portanto, o sistema fotovoltaico pode gerar aproximadamente 158.395,4 kWh/ano, considerando a potência total instalada e a produção específica de energia determinada pelo PVOUT.

A Tabela 72 apresenta os valores detalhados obtidos no dimensionamento realizado.

Tabela 72 – Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Parâmetro	Valor
Energia anual gerada com perdas	158.395,4 kWh/ano
Número de painéis adequado para o sistema	260 painéis
Área ocupada	507,78 m ²
Peso total	5.241,60 kg

Fonte: Autor.

5.3.1 Cálculo da Cobertura Energética do Sistema Proposto

Para determinar a cobertura da geração em relação ao consumo diário, divide-se a produção total de energia pela demanda do empreendimento. Considerando a geração diária de 433,96 kWp com 260 placas, a relação entre a energia produzida e o consumo pode ser expressa pela equação 5.15:

$$\text{Cobertura anual} = \left(\frac{\text{Produção anual}}{\text{Consumo anual}} \right) \times 100\% \quad (5.15)$$

$$\text{Cobertura anual} = \left(\frac{158.395,4 \text{ kWp/ano}}{4.561,78 \text{ kWh/dia} \times 365 \text{ dias}} \right) \times 100\% \quad (5.16)$$

$$\text{Cobertura anual} = \left(\frac{158.395,4 \text{ kWp/ano}}{1.664.046,70 \text{ kWh/ano}} \right) \times 100\% \quad (5.17)$$

$$\text{Cobertura anual} \approx 9,5\% \quad (5.18)$$

Os cálculos indicam que a instalação dos 260 módulos fotovoltaicos resulta em uma geração anual de 158.395,4 kWh/ano, o que corresponde a apenas 9,5% da demanda energética anual total de 1.664.046,70 kWh/ano. Para atingir 100% de cobertura, seria necessário um aumento expressivo no número de módulos instalados, uma vez que a geração atual não é suficiente para suprir a totalidade do consumo energético anual.

Para determinar a quantidade exata de módulos necessários, é considerado o PVOUT anual disponibilizado pelo *Global Solar Atlas* (World Bank Group, 2024), que para a região de Juiz de Fora/MG é de 1400,5 kWh/kWp por ano. Dessa forma, o dimensionamento do sistema fotovoltaico pode ser realizado conforme a equação 5.19:

$$\text{Capacidade necessária} = \frac{\text{Consumo anual (kWh/ano)}}{\text{PVOUT anual (kWh/ano)}} \quad (5.19)$$

$$\text{Capacidade necessária} = \frac{1.664.046,70 \text{ kWh/ano}}{1400,5 \text{ kWh/ano}} \approx 1.188,31 \text{ kWh/ano} \quad (5.20)$$

Sabendo que cada painel fotovoltaico possui uma potência nominal de 435W, a quantidade de painéis necessários pode ser calculada pela Equação 5.21:

$$\text{Quantidade de painéis} = \frac{\text{Capacidade necessária (kWp)}}{\text{Potência do painél (kWp)}} \quad (5.21)$$

$$\text{Quantidade de painéis} = \frac{1.188,31 \text{ kWp}}{0,435 \text{ kWp}} \approx 2.732 \text{ painéis} \quad (5.22)$$

Portanto, para cobrir integralmente o consumo energético do hotel, seriam necessários aproximadamente 2.732 painéis fotovoltaicos. Atualmente, o espaço disponível permitiu a instalação de 260 módulos, o que representa 9,5% da demanda energética anual. Caso haja interesse na ampliação futura do sistema, será necessário um espaço adicional para acomodar os módulos restantes, garantindo a cobertura total do consumo energético.

5.4 Dimensionamento do inversor híbrido

O inversor híbrido é um componente essencial do sistema fotovoltaico, responsável por converter a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos e armazenada no banco de baterias de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), a fim de alimentar as cargas do hotel. Além dessa conversão, o inversor gerencia a distribuição da energia, garantindo que a eletricidade seja fornecida a partir da fonte mais eficiente em cada momento.

Para um dimensionamento adequado do inversor, é necessário considerar a potência média demandada pelo sistema, a eficiência do inversor e um fator de segurança para suportar picos de carga. O inversor também deve ser capaz de otimizar o uso da energia solar, direcionando o excedente para carregar as baterias ou, quando permitido, injetá-lo na rede elétrica, contribuindo para a eficiência geral do sistema fotovoltaico e maximizando o aproveitamento da energia gerada.

5.4.1 Cálculo da potência do inversor

O inversor deve ser dimensionado para atender ao pico de demanda, que ocorre ao longo do dia. Considerando uma eficiência de 97%, a potência necessária do inversor pode ser calculada pela equação 5.23:

$$P_{\text{inversor}} = \frac{P_{\text{gerada pelo sistema}}}{\text{Eficiência do aparelho}} \quad (5.23)$$

$$P_{\text{inversor}} = \frac{113,1 \text{ kW}}{0.97} \quad (5.24)$$

$$P_{\text{inversor}} = 116,59 \text{ kW} \quad (5.25)$$

Dessa forma, o inversor híbrido a ser utilizado no sistema deve ter potência nominal mínima de 116,59 kW para garantir o funcionamento adequado das cargas durante o período de autonomia.

Por questões de segurança, visando a proteção contra falhas decorrentes de problemas técnicos nos equipamentos e considerando a disponibilidade de mercado, optou-se pela utilização de quatro inversores de 35 kW. Esta decisão se justifica pela necessidade de garantir a continuidade do fornecimento de energia em caso de falhas em algum dos inversores. Além disso, a utilização de múltiplos inversores proporciona maior segurança e confiabilidade no sistema, permitindo a distribuição de carga de maneira equilibrada, evitando sobrecarga de um único equipamento e aumentando a estabilidade operacional. Essa abordagem também contribui para a flexibilidade e escalabilidade do sistema, facilitando a manutenção e a substituição de componentes sem comprometer o funcionamento geral do sistema fotovoltaico.

5.4.2 Especificações Técnicas do Inversor

A Tabela 73 apresenta as especificações técnicas detalhadas do inversor híbrido selecionado para o sistema fotovoltaico do hotel, garantindo sua compatibilidade com a geração e o consumo de energia do empreendimento.

Tabela 73 – Especificações do Inversor

Característica	Especificação
Modelo	SUN-35K-SG01HP3
Tipo de Bateria	Li-Ion
Faixa Tensão Bateria	160 V-800 V

Tabela 73 – Continuação

Característica	Especificação
Corrente Máx. Carga	50 A (por canal)
Corrente Máx. Descarga	50 A (por canal)
Entradas para Bateria	2
Potência Máx. de acesso fotovoltaico (w)	70.000 W
Potência Máx. Entrada DC	56.000 W
Tensão de entrada DC nominal (V)	600 V
Corrente máxima de operação da entrada (A)	36 A
Corrente máxima de curto-circuito da entrada (A)	55 A
<i>Trackers</i> MPPT	2
<i>Strings</i> por MPPT	3
Tensão Saída AC	220/380V ou 230/400 V
Corrente Saída AC	53.1 A
Distorção harmônica (THD)	<3% da potência nominal
Eficiência Máx.	97,6%
Eficiência MPPT	>99%
Proteção contra sobretensão	Type II(DC), Type II(AC)
Temp. Operação	-40°C a 60°C
Modo Operação	On-grid e Off-grid
Comunicação com BMS	RS485/RS232/CAN
Peso	75 kg
Proteção IP	IP65
Instalação	Montagem na parede
Garantia	5 anos

Fonte: Autor.

5.4.3 Dimensionamento dos dispositivos de segurança

Os dispositivos de proteção listados na Tabela 74 foram projetados para o lado AC (corrente alternada) do sistema fotovoltaico, que conecta o inversor à rede elétrica da concessionária. A proteção no lado AC é essencial para garantir o funcionamento seguro e eficiente do sistema, interrompendo adequadamente a corrente elétrica em caso de falhas e prevenindo danos ao inversor, cabos e outros componentes. A seleção desses dispositivos foi realizada em conformidade com as normas técnicas NBR 16690:2019, NBR 60947-2, NBR 60898, NBR 5410:2004 e NBR 5419-4:2015, assegurando a segurança, proteção e confiabilidade do sistema fotovoltaico, além de garantir a conformidade com os requisitos legais e regulatórios aplicáveis.

Tabela 74 – Especificações dos dispositivos de proteção do inversor

Componente	Valor/Especificação
Corrente Nominal do Inversor	91,25 A
Disjuntor Termomagnético (DTM)	Classe C, 100 A - AC - 440 V
Disjuntor DR	Tipo B, 30 mA, 100 A - AC - 500 V
DPS	1000 V, 30 kA, Classe II - AC

Fonte: Autor.

5.5 Dimensionamento das *Strings*

O dimensionamento das *strings* no sistema fotovoltaico envolve a determinação da quantidade de módulos solares que serão conectados em série e em paralelo, de forma a garantir que o sistema opere dentro das faixas de tensão e corrente especificadas pelo inversor. Esse processo é crucial para assegurar que o inversor receba uma tensão adequada, evitando sobrecargas ou subutilização do sistema, e que a corrente gerada seja compatível com a capacidade de conversão do inversor. O dimensionamento correto das strings também contribui para otimizar a performance do sistema, maximizando a eficiência na conversão de energia solar em eletricidade utilizável.

5.5.1 Configuração das *Strings*

Os módulos fotovoltaicos precisam ser organizados em *strings* que sejam compatíveis com a faixa de operação do inversor. Esse arranjo é essencial para garantir que o sistema opere de maneira eficiente e dentro dos parâmetros elétricos definidos para o inversor.

O sistema fotovoltaico em questão é composto por quatro inversores, sendo necessário distribuir a potência total gerada de maneira equilibrada entre eles. Para determinar a potência que será alocada a cada inversor, é necessário dividir a potência total gerada pelo número de inversores, conforme a Equação 5.26.

$$P_{\text{por inversor}} = \frac{P_{\text{total}}}{N_{\text{inversores}}} \quad (5.26)$$

$$P_{\text{por inversor}} = \frac{116,59 \text{ kW}}{4} \approx 29,14 \text{ kW} \quad (5.27)$$

Assim, a potência média que cada inversor irá receber é de aproximadamente 29,14 kW.

Considerando as especificações dos inversores, a potência nominal é de 35 kW, e a potência máxima de entrada em corrente contínua permitida é de 56 kW. Como a potência média alocada a cada inversor é de aproximadamente 29,14 kW, esse valor está dentro da potência nominal e bem abaixo do limite máximo de entrada.

Portanto, a distribuição de potência está segura, garantindo que nenhum inversor exceda sua potência máxima de entrada em DC. Além disso, caso ocorra algum pico de potência, o inversor possui capacidade para suportá-lo sem comprometer sua operação.

5.5.2 Número Máximo de Módulos por *String*

O número de módulos por *string* em um sistema fotovoltaico é determinado pela tensão dos módulos solares e pela faixa de tensão de entrada do inversor. Como a potência do inversor já foi previamente selecionada, é essencial garantir que a tensão máxima do inversor não seja ultrapassada em condições de temperatura mínima. Para isso, calcula-se a tensão de circuito aberto corrigida ($V_{\text{oc corrigido}}$), dada pela Equação 5.28:

$$V_{\text{oc corrigido}} = V_{\text{oc nominal}} \times (1 + \beta \times (T_{\text{mínima}} - T_{\text{nominal}})) \quad (5.28)$$

Onde:

- $V_{\text{oc nominal}}$ é a tensão de circuito aberto do módulo solar em condições padrão;
- β é o coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto ($-0,23\text{ }^{\circ}\text{C} = -0,0023\text{ }^{\circ}\text{C}$), cujo valor foi obtido a partir do *datasheet* do módulo solar;
- $T_{\text{mínima}}$ é a temperatura mínima esperada ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- T_{nominal} é a temperatura de teste padrão do módulo ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Substituindo os valores:

$$V_{oc \text{ corrigido}} = 39,33 \text{ V} \times (1 + (-0,0023) \times (0 - 25)) \quad (5.29)$$

$$V_{oc \text{ corrigido}} = 41,61 \text{ V} \quad (5.30)$$

Agora, calcula-se o número máximo de módulos em série, que é determinado pela relação entre a tensão de circuito aberto corrigida e a faixa de operação do inversor. Para garantir que a tensão máxima de entrada do inversor não seja ultrapassada, é necessário dividir a tensão máxima de entrada permitida pelo inversor pela tensão de circuito aberto corrigida de cada módulo fotovoltaico. A fórmula para calcular o número máximo de módulos em série é dada conforme a Equação 5.31:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{V_{\text{máxima entrada inversor}}}{V_{oc \text{ corrigido}}} \quad (5.31)$$

Substituindo os valores:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{850 \text{ V}}{41,61 \text{ V}} = 20,42 \quad (5.32)$$

Como o número de módulos deve ser um valor inteiro, o valor obtido é arredondado para 20 módulos por *string*, garantindo que a tensão máxima de entrada do inversor não seja ultrapassada.

Este cálculo garante que a tensão total dos módulos em série, mesmo nas condições mais extremas de temperatura, não excede o limite de tensão suportado pelo inversor, assegurando a operação segura do sistema fotovoltaico.

5.5.3 Número de *Strings*

O dimensionamento do número de strings no sistema fotovoltaico é uma etapa essencial para assegurar que a potência gerada pelos módulos solares seja distribuída adequadamente entre os inversores, evitando sobrecarga em qualquer um deles. Este processo consiste em dividir os módulos fotovoltaicos em *strings*, ou seja, em sequências de módulos conectados em série, e alocar essas *strings* para os inversores de forma equilibrada.

Para realizar esse dimensionamento, foi aplicada a seguinte fórmula, conforme a Equação 5.33:

$$N_{\text{strings}} = \frac{N_{\text{total de módulos}}}{\text{Módulos por string}} \quad (5.33)$$

Ao substituir os valores na equação 5.33, temos:

$$N_{\text{strings}} = \frac{260}{20} \quad (5.34)$$

$$N_{\text{strings}} = 13 \quad (5.35)$$

Portanto, será necessário um total de 13 *strings*.

A tensão total da *string* é obtida pela soma das tensões de circuito aberto (Voc) de cada módulo. Considerando uma configuração com 20 módulos e um Voc corrigido de 41,61 V, a tensão máxima da string será dada por:

$$20 \times 41,61 \text{ V} = 832,2 \text{ V} \quad (5.36)$$

Esse valor permanece dentro dos limites operacionais estabelecidos para o inversor.

A tensão de máxima potência (Vmp) da string, calculada com base em 20 módulos e uma Vmp de 33,04 V, conforme os dados fornecidos no datasheet do fabricante dos módulos, resulta em:

$$20 \times 33,04 \text{ V} = 660,8 \text{ V} \quad (5.37)$$

A potência total da string, calculada com base na potência nominal de cada módulo (435 Wp), será:

$$20 \times 435 \text{ Wp} = 8700 \text{ Wp} \quad (5.38)$$

Como os módulos estão conectados em série, a corrente da string será igual à corrente de um único módulo:

- Corrente de máxima potência (Imp): 13,17 A
- Corrente de curto-círcuito da string (Isc): 14,22 A

Dessa forma, a configuração proposta assegura uma distribuição eficiente de potência, mantendo os parâmetros dentro das especificações do sistema. Apresenta-se a Tabela 75 com os dados consolidados.

Tabela 75 – Especificações da String Fotovoltaica

Característica	Especificação
Tensão máxima da <i>string</i> (Voc)	832,2 V
Tensão de máxima potência (Vmp)	660,8 V
Potência máxima da <i>string</i>	8700 Wp
Corrente de máxima potência (Imp)	13,17 A
Corrente de curto-círculo da <i>string</i> (Isc)	14,22 A

Fonte: Autor.

5.6 Distribuição das Strings entre os Inversores

O sistema fotovoltaico em análise é composto por quatro inversores, sendo que cada um deles é equipado com três MPPTs, e cada MPPT pode ser conectado a até duas *strings*, totalizando uma capacidade de até seis *strings* por inversor.

Para assegurar uma distribuição equilibrada dos módulos solares, as 13 *strings* disponíveis serão distribuídas entre os quatro inversores. A quantidade de *strings* a ser alocada a cada inversor é determinada pela seguinte relação apresentada na equação 5.39:

$$N_{\text{strings por inversor}} = \frac{\text{Total de strings}}{\text{Quantidade de inversor}} \quad (5.39)$$

Aplicando os valores:

$$N_{\text{strings por inversor}} = \frac{13 \text{ strings}}{4} \quad (5.40)$$

$$N_{\text{strings por inversor}} \approx 3,25 \quad (5.41)$$

Assim, três inversores serão responsáveis por três *strings* cada, enquanto um inversor ficará encarregado de quatro *strings*. Essa distribuição assegura que a capacidade de cada inversor não seja excedida, uma vez que cada um possui a capacidade de suportar até seis *strings* no total.

5.6.1 *String Box*

Por motivos de segurança e com o intuito de promover a separação dos circuitos, facilitando a manutenção do sistema fotovoltaico, será adotada a instalação de uma *string*

box para cada inversor. Com essa configuração, caso seja necessário isolar um inversor para manutenção ou reparos, os demais inversores continuarão operando sem interrupções, garantindo o funcionamento contínuo do sistema. Esse modelo contribui para a segurança, confiabilidade e eficiência do sistema, além de simplificar os procedimentos de manutenção.

5.6.2 Dimensionamento dos dispositivos de segurança

O sistema fotovoltaico é composto por quatro inversores, sendo que cada um conta com três MPPTs, totalizando 13 *strings* distribuídas entre eles. A distribuição foi realizada de forma que um dos inversores receba quatro *strings*, enquanto os outros três inversores são responsáveis por três *strings* cada.

Os dispositivos de proteção foram selecionados de acordo com as normas vigentes, a fim de assegurar a segurança e a eficiência do sistema. Os disjuntores termomagnéticos (DTM) foram dimensionados com corrente nominal de 125% da corrente de curto-circuito da *string*, conforme as NBR 16690:2019, NBR 60947-2 e NBR 60898. Os fusíveis foram especificados com um acréscimo de 25% sobre a corrente de curto-circuito (Isc). O Disjuntor Diferencial Residual (DR) utilizado é do tipo B, com corrente residual superior a 30 mA, sendo adequado para manutenção. Para a proteção contra surtos, foi selecionado um DPS de 1000 V CC, Classe II, conforme a NBR 5419-4:2015. O sistema também conta com seccionadoras DC, em conformidade com a NBR 16690:2019, assegurando o isolamento seguro durante as atividades de manutenção.

As especificações dos dispositivos de segurança das *String Boxes* são apresentadas na Tabela 76, levando em consideração as diferenças entre o inversor que está conectado a quatro *strings* e os três inversores que operam com três *strings* cada.

Tabela 76 – Especificações dos dispositivos de proteção dos módulos fotovoltaicos

Componente	Inversor de 4 <i>strings</i>	Inversor de 3 <i>strings</i>
Fusível por <i>string</i>	40 A, 1000 V DC (1 por <i>string</i>)	40 A, 1000 V DC (1 por <i>string</i>)
Disjuntor	40 A, 1000 V DC - Curva C	40 A, 1000 V DC - Curva C
Disjuntor DR	40 A, Tipo B, 1000 V DC	40 A, Tipo B, 1000 V DC
DPS DC	1000 V DC, 30 kA - Classe II	1000 V DC, 30 kA - Classe II
Barramento CC	Sim, 1000 V DC	Sim, 1000 V DC
Seccionadora CC	1000 V DC, 40 A	1000 V DC, 40 A

Fonte: Autor.

5.7 Dimensionamento do Banco de Baterias

A seleção do banco de baterias em um sistema fotovoltaico híbrido para um hotel é crucial para garantir a autonomia energética e a continuidade do fornecimento de energia, especialmente em situações de interrupções na rede elétrica convencional. Considerando que os estabelecimentos hoteleiros operam 24 horas por dia, é fundamental assegurar um fornecimento ininterrupto de energia, principalmente durante os períodos de menor geração solar, como à noite ou em dias nublados, além de garantir o funcionamento adequado do sistema em caso de falhas na rede elétrica. O dimensionamento adequado do banco de baterias leva em conta diversos fatores, como:

- O consumo energético diário do hotel;
- O tempo de autonomia desejado, ou seja, por quantas horas ou dias o sistema deve operar sem geração solar;
- A eficiência das baterias, considerando perdas durante os processos de carga e descarga.

5.7.1 Potência Necessária por Inversor

O consumo diário de energia do hotel é de 4.561,78 kWh/dia. Para projetar um sistema que proporcione 3 horas de autonomia em caso de interrupção no fornecimento de energia pela concessionária, e considerando que o consumo é distribuído ao longo das 24 horas do dia, a energia necessária para assegurar essa autonomia pode ser calculada conforme a Equação 5.42:

$$E_{\text{necessária}} = \text{Consumo diário} \times \frac{3 \text{ h}}{24 \text{ h}} \quad (5.42)$$

$$E_{\text{necessária}} = 4.561,78 \text{ kWh/dia} \times \frac{3 \text{ h}}{24 \text{ h}} \quad (5.43)$$

$$E_{\text{necessária}} = 570,22 \text{ kWh} \quad (5.44)$$

Considerando um consumo energético diário de 570,22 kWh e a existência de quatro inversores no sistema, a potência requerida para cada inversor pode ser determinada por meio da seguinte equação:

$$P_{\text{inversor}} = \frac{570,22 \text{ kWh}}{4} = 142,55 \text{ kWh} \quad (5.45)$$

Portanto, a potência necessária por inversor é de 142,55 kWh.

Após uma análise detalhada das opções de baterias disponíveis no mercado, foi selecionada uma bateria com uma tensão nominal de 48 V. As especificações completas dessa bateria estão descritas na Tabela 77.

Tabela 77 – Especificações da Bateria

Especificação	Valor
Modelo	LiFePO4 LF105
Capacidade Nominal	105 Ah
Voltagem Nominal	48 V
Peso	1980±60 g
Impedância	≤ 0.32 mΩ
Tensão de Corte de Carga	3.65 V
Tensão de Corte de Descarga	2.5 V
<i>Standard Charging Current</i>	0.5C
<i>Standard Discharging Current</i>	0.5C
Temperatura de Carga	0°C a 60°C
Temperatura de Descarga	-35°C a 60°C
Altura	200.50±0.50 mm
Largura	130.30±0.50 mm
Espessura	36.35±0.50 mm
Ciclos de Vida	4000 Ciclos

Fonte: Autor.

5.7.2 Organização das Baterias em Série e Paralelo

Para que o sistema de baterias atenda à tensão do inversor, que é de 800 V, é necessário calcular quantas baterias devem ser conectadas em série. O cálculo é realizado pela razão entre a tensão do inversor e a tensão de cada bateria, conforme mostrado na equação 5.46:

$$N_{\text{baterias em série}} = \frac{\text{Tensão do inversor}}{\text{Tensão da bateria}} \quad (5.46)$$

$$N_{\text{baterias em série}} = \frac{800 \text{ V}}{48 \text{ V}} = 16,67 \quad (5.47)$$

Para atingir a tensão necessária, é preciso conectar 16 baterias em série, ajustando o número para o inteiro mais próximo sem exceder o limite de tensão permitido.

A tensão total de um conjunto de 16 baterias conectadas em série é determinada pela multiplicação da tensão nominal de cada bateria pelo número total de baterias, conforme a equação 5.48:

$$T_{\text{total}} = \text{Quantidade de baterias em série} \times \text{Tensão da bateria} \quad (5.48)$$

$$T_{\text{total}} = 16 \times 48 \text{ V} = 768 \text{ V} \quad (5.49)$$

O valor de 768 V está suficientemente próximo da tensão do inversor, podendo ser considerado adequado para garantir o funcionamento adequado do sistema.

Cada unidade de bateria possui uma capacidade energética, que pode ser determinada pela multiplicação de sua tensão (em volts) pela corrente (em ampère-hora). Dessa forma, a energia armazenada por cada bateria é expressa pela equação 5.50:

$$\text{Energia por bateria} = \text{Tensão por bateria} \times \text{Capacidade por bateria} \quad (5.50)$$

$$\text{Energia por bateria} = 48 \text{ V} \times 105 \text{ Ah} = 5,04 \text{ kWh} \quad (5.51)$$

A corrente na string de baterias permanece a mesma, de modo que o aumento da tensão impacta diretamente a potência total e, consequentemente, a capacidade de armazenamento da string.

Dessa forma, a capacidade total ajustada da string de 16 baterias em série é dada por:

$$E_{\text{string}} = \frac{V_{\text{string}} \times I_{\text{bateria}}}{1000} \quad (5.52)$$

$$E_{\text{string}} = \frac{768 \text{ V} \times 105 \text{ Ah}}{1000} = 80,64 \text{ kWh} \quad (5.53)$$

Ou seja, a string de 16 baterias em série terá uma capacidade total ajustada de 80,64 kWh, resultado do aumento da tensão para 768 V.

Cada conjunto de 16 baterias em série fornece 80,64 kWh. Para suprir a demanda total de 142,55 kWh, é necessário determinar a quantidade de conjuntos em paralelo. Esse valor é obtido dividindo a capacidade total requerida pela energia fornecida por cada conjunto de baterias, conforme a equação 5.54:

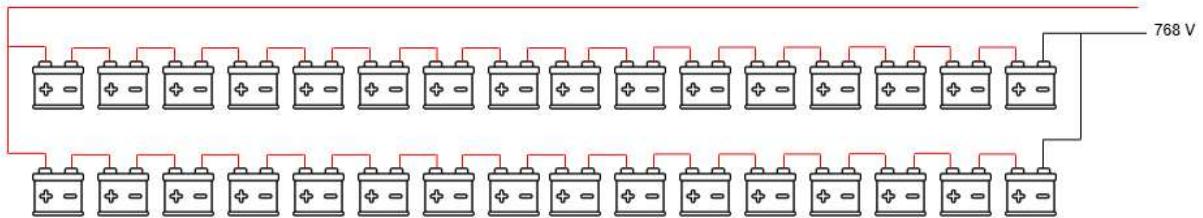
$$N_{\text{baterias em paralelo}} = \frac{\text{Demanda Total de Energia}}{\text{Energia por Conjunto de Baterias}} \quad (5.54)$$

$$N_{\text{baterias em paralelo}} = \frac{142,55 \text{ kWh}}{80,64 \text{ kWh}} = 1,76 \text{ baterias} \quad (5.55)$$

Considerando que o número de baterias deve ser um valor inteiro, conclui-se que o número mínimo de baterias necessárias para suprir a demanda de consumo diário é de 2 baterias em paralelo.

Na Figura 9, pode-se observar o esquema de ligação do banco de baterias para um único inversor. O arranjo final do sistema é composto por 16 baterias em série e 2 strings em paralelo, totalizando 32 baterias. Essa configuração garante a compatibilidade com a tensão do inversor e uma capacidade energética superior à demanda projetada, oferecendo uma margem de segurança para operação contínua.

Figura 9 – Ligação de baterias série-paralelo



Fonte: Autor.

5.7.3 Número Total de Baterias para o sistema

O número total de baterias necessárias por inversor foi calculado em 32 unidades.

Como o sistema é composto por 4 inversores, a quantidade total de baterias necessárias para o funcionamento do sistema é determinada pela seguinte relação:

$$N_{\text{baterias total}} = \text{Número de baterias necessárias por sistema} \times \text{quantidade de inversor} \quad (5.56)$$

$$N_{\text{baterias total}} = 32 \times 4 \quad (5.57)$$

$$N_{\text{baterias total}} = 128 \text{ baterias} \quad (5.58)$$

Para garantir a autonomia necessária, o sistema precisará de um total de 128 baterias, distribuídas entre os 4 inversores.

5.7.4 Autonomia do Banco de Baterias

O dimensionamento inicial do banco de baterias foi realizado para suprir uma autonomia de 3 horas em caso de falha no fornecimento de energia pela concessionária. No entanto, devido ao arredondamento do número de strings em paralelo para um valor inteiro superior, a capacidade total de armazenamento do sistema tornou-se maior que a estimativa inicial. A seguir, apresenta-se uma análise da autonomia real do banco de baterias considerando a capacidade instalada.

Cada string de 16 baterias em série possui uma capacidade total de 80,64 kWh. Como o dimensionamento final do sistema resultou em 2 strings em paralelo, a capacidade total do banco de baterias pode ser calculada como:

$$E_{\text{total}} = N_{\text{strings}} \times E_{\text{string}} \quad (5.59)$$

$$E_{\text{total}} = 2 \times 80,64 \text{ kWh} = 161,28 \text{ kWh} \quad (5.60)$$

Como temos um total de 4 bancos de baterias, temos a seguinte energia:

$$E_{\text{total do sistema}} = E_{\text{total}} \times \text{Número de inversor} \quad (5.61)$$

$$E_{\text{total do sistema}} = 161,28 \text{ kWh} \times 4 = 645,12 \text{ kWh} \quad (5.62)$$

A autonomia real do banco de baterias pode ser calculada pela relação entre a capacidade total instalada e a potência média de consumo:

$$T_{\text{autonomia}} = \frac{E_{\text{total do sistema}}}{E_{\text{necessária}}} \quad (5.63)$$

Onde a energia necessária para 3 horas é de 570,22 kWh conforme a Equação 5.44. Para determinar o total por hora utilizaremos a equação 5.64

$$P_{\text{médio}} = \frac{E_{\text{necessária}}}{3 \text{ h}} = \frac{570,22 \text{ kWh}}{3 \text{ h}} = 190,07 \text{ kW} \quad (5.64)$$

Agora, substituindo na Equação 5.63:

$$T_{\text{autonomia}} = \frac{645,12 \text{ kWh}}{190,07 \text{ kW}} \approx 3,4 \text{ horas} \quad (5.65)$$

Dessa forma, verifica-se que o banco de baterias consegue fornecer energia por aproximadamente 3,4 horas (ou 3 horas e 24 minutos), garantindo que a necessidade de 3 horas seja atendida com uma margem de segurança.

5.7.5 Dimensionamento dos dispositivos de segurança

Os dispositivos de proteção foram dimensionados de acordo com as normas vigentes, visando assegurar tanto a segurança quanto a eficiência do sistema. O Disjuntor Termomagnético (DTM) foi especificado com corrente de 375 A e tensão de 800 V DC, em conformidade com a NBR 16690:2019, para proteção contra sobrecorrentes. O Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) escolhido tem capacidade para 1000 V CC, Classe II, com corrente de descarga superior a 30 kA, conforme a NBR 5419-4:2015, oferecendo proteção contra surtos elétricos. O Disjuntor Diferencial Residual (DR) utilizado é do tipo B, com corrente residual superior a 30mA, assegurando proteção contra falhas de isolamento.

A Tabela 78 apresenta um resumo das especificações dos dispositivos de segurança utilizados no banco de baterias do sistema fotovoltaico.

Tabela 78 – Especificações dos dispositivos de proteção do banco de baterias

Componente	Valor/Especificação
Disjuntor Termomagnético (DTM)	Curva C, 180 A - CC - 1000 V
Disjuntor DR	Tipo B, 30 mA, 180 A - CC - 1000 V
DPS	1000 V, 30 kA, Classe II - CC

Fonte: Autor.

5.8 Lista de materiais

A lista de materiais das *strings* fotovoltaicas descreve os componentes necessários para a implementação segura e eficiente do sistema fotovoltaico. Essa lista inclui itens como cabos, disjuntores, *string boxes*, conectores MC4 e eletrodutos, que são fundamentais para garantir a conexão adequada e a proteção dos módulos solares. Cada componente é especificado com a quantidade necessária e a conformidade com as normas técnicas vigentes, assegurando que o sistema atenda aos requisitos de desempenho, segurança e durabilidade ao longo de sua operação.

Tabela 79 – Lista de Materiais do Sistema Fotovoltaico

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Acessórios p/ eletrodutos			
Caixa PVC	200x200 mm	4	m
Cabos CA			
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	6 mm ² Verde-Amarelo	25	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	25 mm ² Preto	12	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	25 mm ² Branco	12	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	25 mm ² Vermelho	12	m
Isol.PVC (Pirastic Ecoplus)	25 mm ² Preto	60	m
Cabos CC			
Cabo solar XLPE	4 mm ² Preto	73,45	m
Cabo solar XLPE	4 mm ² Vermelho	73,45	m
Cabo solar XLPE	6 mm ² Vermelho	1889,00	m
Cabo solar XLPE	6 mm ² Preto	1889,00	m
Cabo solar XLPE	6 mm ² Verde-Amarelo	800,00	m
Dispositivos de Proteção - CA			
Disjuntor Tripolar	100 A - 440 V - Curva C	4	pç
Disjuntor DR Tripolar	100 A - 500 V - Tipo B	4	pç
DPS Tripolar	220 V - Classe II - 30 kA	4	pç
Disjuntor de caixa moldada	300 A - Trifásico - Curva C	3	pç
Caixa <i>String Box</i>	10 polos	4	pç
Dispositivos de Proteção - CC			
Disjuntor Unipolar	32 A - 1000 V - Curva C	2	pç
Disjuntor Unipolar	40 A - 1000 V - Curva C	8	pç
Disjuntor Unipolar	180 A - 1000 V - Curva C	8	pç

Tabela 79 – Continuação

Descrição	Item	Qtde.	Unidade
Disjuntor DR	32 A - 1000 V - Tipo B	1	pç
Disjuntor DR	40 A - 1000 V - Tipo B	4	pç
Disjuntor DR	180 A - 1000 V - Tipo B	4	pç
DPS	1000 V - Classe II - 30 kA	18	pç
Chave seccionadora	4 polos - 1000 V - 32 A	1	pç
Chave seccionadora	4 polos - 1000 V - 40 A	4	pç
Caixa <i>String Box</i>	10 polos	9	pç
Conector MC4			
Par de conectores solar	Conector MC4	48	pç
Estruturas de fixação			
Kit fixação laje	4 módulos	65	pç
Triângulo L	-	20	pç
Perfil suporte	Ângulo <i>Standart</i> 2,40 m	140	pç
Quadro distrib. sobrepor			
QDC c/ derivação	Caixa moldada 12 conexões 300 A	1	pç
Equipamentos			
Módulo fotovoltaico	LR5-54HTH-435M	260	pç
Inversor trifásico híbrido	SUN-35K-SG01HP3-EU -BM3M	4	pç
Bateria de Lítio	LiFePO4 EVE 48 V 105 Ah	128	pç

Fonte: Autor.

6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise de viabilidade econômica é uma etapa fundamental na avaliação de qualquer projeto, pois permite determinar se o investimento inicial, somado aos custos operacionais e manutenção, pode gerar retornos suficientes para justificar o investimento ao longo do tempo. No caso de sistemas fotovoltaicos, como os utilizados para armazenamento e geração de energia, essa análise se torna ainda mais crucial, dada a significativa quantidade de recursos necessários para a implantação e manutenção do sistema ao longo dos anos.

Para a elaboração do cálculo de viabilidade econômica, foram considerados os seguintes parâmetros para os custos:

Tabela 80 – Custos CAPEX e OPEX da instalação

Tipo de Custo	Equipamento/Serviço	Preço Unitário	Quantidade	Total
CAPEX	Placa	R\$ 494,00	260	R\$ 128.440,00
	Bateria	R\$ 8.000,00	8	R\$ 64.000,00
	Inversor	R\$ 32.100,00	4	R\$ 128.400,00
	Componentes elétricos e de proteção	R\$ 200.000,00	—	R\$ 200.000,00
	Instalação	R\$ 55.000,00	—	R\$ 55.000,00
OPEX	Manutenção	R\$ 1.500,00	Anual	R\$ 1.500,00

Fonte: Autor.

Para o sistema, foram levadas em consideração a produção anual, a degradação de potência anual de 1,5% no primeiro ano e 0,40% nos anos subsequentes conforme os valores extraídos do *datasheet* do painel solar, além de uma vida útil de 25 anos. Além disso, foi realizada uma redução na produção anual de 10 dias, levando em conta que ao longo do ano o sistema poderá ficar sem o fornecimento da concessionária por um total de 5 dias (interruptos). Esta referência foi obtida a partir de dados do relatório de indicadores de continuidade coletivos da ANEEL, entre os anos de 2020 a 2025, para a região de Juiz de Fora/MG, onde foi registrado um total de horas sem energia equivalente a 4 dias (ANEEL, 2025).

O banco de baterias possui uma capacidade de 520,22 kWh, e a produção diária dos painéis é de 433,96 kWp. Com isso, seriam necessários 1 dia e 7 horas para carregar completamente as baterias. Considerando um cenário conservador, foi estipulado o tempo de 2 dias para o carregamento, o que resultou na dedução de 10 dias da produção anual que será injetada na rede, em caso de uma queda no fornecimento de energia que, ao longo do ano, totalize 120 horas, equivalente a 5 dias.

As informações podem ser observadas na Tabela 81.

Tabela 81 – Parâmetros considerados para o cálculo de viabilidade econômica

Parâmetro	Valor
Produção anual (kWh)	158.395,4
Queda de rendimento anual	0,40%
Vida útil (anos)	25
Dias sem energia no ano	5
Produção anual (kWh) abatidos os dias para carregar as baterias	154.055,8

Fonte: *Datasheet* do painel solar LR5-54HTH-435M

Para a tarifa de energia, foi considerada a concessionária CEMIG, responsável pelo fornecimento de energia na região de Juiz de Fora/MG. O cálculo da tarifa foi realizado com base nos valores praticados por essa concessionária. Considerando a natureza do empreendimento, que ainda não está instalado e, portanto, não possui um histórico de consumo, foi adotada a bandeira verde. Dessa forma, não há dados suficientes para avaliar o consumo em horário de ponta e fora de ponta, o que impossibilita a mensuração precisa da demanda de ponta e o cálculo do valor específico para a demanda contratada.

Para determinar a tarifa média, foi aplicado o método de média ponderada, levando em consideração os valores de consumo nos períodos de ponta (das 17h às 20h) e fora de ponta (das 20h às 17h). Os valores das tarifas foram obtidos no site da CEMIG, considerando a bandeira tarifária verde. O cálculo iniciou com a identificação dos períodos tarifários, sendo 3 horas diárias no período de ponta e 21 horas no período fora de ponta. As tarifas correspondentes foram R\$ 2,1947 kWh para o período de ponta e R\$ 0,4206 kWh para o período fora de ponta.

Em seguida, determinou-se o peso de cada período em relação às 24 horas do dia, resultando em 0,1250 para a tarifa de ponta e 0,8750 para a tarifa fora de ponta. Cada tarifa foi multiplicada pelo respectivo peso, conforme a Equação 6.1.

$$T_m = (T_p \times P_p) + (T_f \times P_f) \quad (6.1)$$

Onde:

- T_m é a tarifa média ponderada;
- T_p e T_f são as tarifas dos períodos de ponta e fora de ponta, respectivamente;
- P_p e P_f são os pesos correspondentes a cada período.

$$T_m = (2.1947 \times 0.1250) + (0.4206 \times 0.8750) \quad (6.2)$$

$$T_m = 0.2743 + 0.3681 = 0.6424 \quad (6.3)$$

Assim, a tarifa média ponderada resultante é de R\$ 0,6424/kWh, refletindo o impacto real dos custos de energia ao longo do dia, considerando o tempo de operação em cada faixa horária.

O reajuste da tarifa da CEMIG foi calculado com base na média dos ajustes anuais dos últimos 5 anos, conforme estabelecido pela ANEEL e os índices de reajuste definidos pela concessionária.

A Tabela 85 apresenta os dados utilizados.

Tabela 82 – Tarifa de energia

Concessionária	CEMIG
Valor da tarifa (R\$/kWh)	0,64
Reajuste anual (%)	7

Fonte: Autor

A manutenção é um aspecto crucial, englobando a operação contínua, inspeções periódicas e medidas preventivas e corretivas. Esses custos devem ser analisados ao longo de toda a vida útil do projeto, impactando diretamente sua rentabilidade. Para os cálculos, foi adotada uma média de preços com base no mercado nacional.

Por fim, para levar em conta o impacto da inflação nos serviços anuais, está sendo adotado um índice de 5% ao ano, com base no comportamento do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), de forma conservadora.

Os indicadores essenciais para o cálculo da viabilidade econômica estão apresentados na Tabela 83.

Tabela 83 – Parâmetros financeiros e operacionais do sistema fotovoltaico

Parâmetro	Valor
Custo Total Inicial - CAPEX	R\$ 575.840,00
Custo Anual de Operação - OPEX	R\$ 1.500,00
Produção Média Anual (kWh)	154.055,80
Porcentagem Injetada na Rede (%)	100%
Queda de Rendimento Anual de produção (%)	0,40%
Reajuste anual conforme IPCA	5,00%
Valor da Tarifa sem Impostos (R\$/kWh)	R\$ 0,64
Valorização Anual da Tarifa (%)	7,00%

Fonte: Autor

O valor do inversor foi obtido por meio do site (J Solar World, 2025) , os painéis solares foram cotados através do site (Neosolar, 2025), as baterias foram cotadas no site (Buyers Energy, 2025). Os demais dispositivos de proteção foram obtidos por meio da média dos valores de mercado.

Conforme já calculado, o sistema fotovoltaico proposto cobrirá apenas 9,5% do consumo energético anual. No entanto, é importante analisar se, apesar de cobrir esse percentual, haverá retorno financeiro com a instalação. A partir dos dados financeiros coletados, levando em conta todos os reajustes nas tarifas e a redução da geração de energia dos painéis, foi elaborado o seguinte fluxo de caixa:

Tabela 84 – Fluxo de caixa do investimento

Ano	Saída [R\$]	Energ. Injet. [kWh]	Valor Energia [R\$]	Economia Anual [R\$]	Fluxo Cx. [R\$]	Fluxo de Cx. Desc. [R\$]
0	-575.840,00	-	-	-	-575.840,00	-575.840,00
1	-1.575,00	154,056	0,64000	98.595,71	97.020,71	86.625,64
2	-1.653,75	153,440	0,68480	105.075,42	103.421,67	82.447,12
3	-1.736,44	152,826	0,73274	111.980,98	110.244,54	78.469,89
4	-1.823,26	152,215	0,78403	119.340,37	117.517,11	74.684,25
5	-1.914,42	151,605	0,83891	127.183,42	125.269,00	71.080,99
6	-2.010,14	150,999	0,89763	135.541,91	133.531,77	67.651,35

Tabela 84 – Continuação

Ano	Saída [R\$]	Energ. Injet. [kWh]	Valor Energia [R\$]	Economia Anual [R\$]	Fluxo Cx. [R\$]	Fluxo de Cx. Desc. [R\$]
7	-2,110.65	150.395	0.96047	144.449,73	142.339,08	64.386,97
8	-2,216.18	149,794	1.02770	153.942,86	151.726,78	61.279,90
9	-2,326.99	149,194	1.09964	164.060,09	161.733,10	58.322,58
10	-2.443,34	148.598	1.17661	174.842,12	172.398,78	55.507,79
11	-2.565,51	148.003	1.25898	186.332,75	183.767,24	52.828,69
12	-146.096,78	147.411	1.34711	198.578,54	52.484,75	13.471,53
13	-153.398,47	146.822	1.44140	211.629,12	58.230,64	13.344,96
14	-161.068,39	146.234	1.54230	225.537,38	64.468,99	13.191,63
15	-169.121,81	1145.649	1.65026	240.359,70	71.237,88	13.014,89
16	-177.577,90	145.067	1.76578	256.156,14	78.578,23	12.817,81
17	-186.456,80	144.487	1.88938	272.990,72	86.533,92	12.603,18
18	-195.779,64	143.909	2.02164	290.931,67	95.152,03	12.373,53
19	-205.568,62	143.333	2.16316	310.051,70	104.483,07	12.131,19
20	-299.847,06	142.760	2.31458	330.428,30	30.581,24	3.170,26
21	-314.839,41	142.189	37.304,64	352.144,05	10.004,64	3.452,90
22	-330.581,38	141.620	2.64996	375.286,95	44.705,57	3.694,58
23	-347.110,44	141.053	2.83546	399.950,81	52.840,36	3.898,98
24	-522.865,97	140.489	3.03394	426.235,58	-96.630,39	-6.366,21
25	-549.009,27	139.927	3.24631	454.247,78	-94.761,49	-5.574,18

Fonte: Autor.

Para o fluxo de caixa, foi considerada uma TMA de 12%, o que possibilitou a obtenção dos seguintes resultados:

Tabela 85 – Indicadores obtidos

TMA	12%
VPL	R\$ 282.670,22
TIR	19,56 %
<i>Payback</i> Simples	6 anos 9 meses e 12 dias
<i>Payback</i> Descontado	7 anos 9 meses e 27 dias

Fonte: Autor

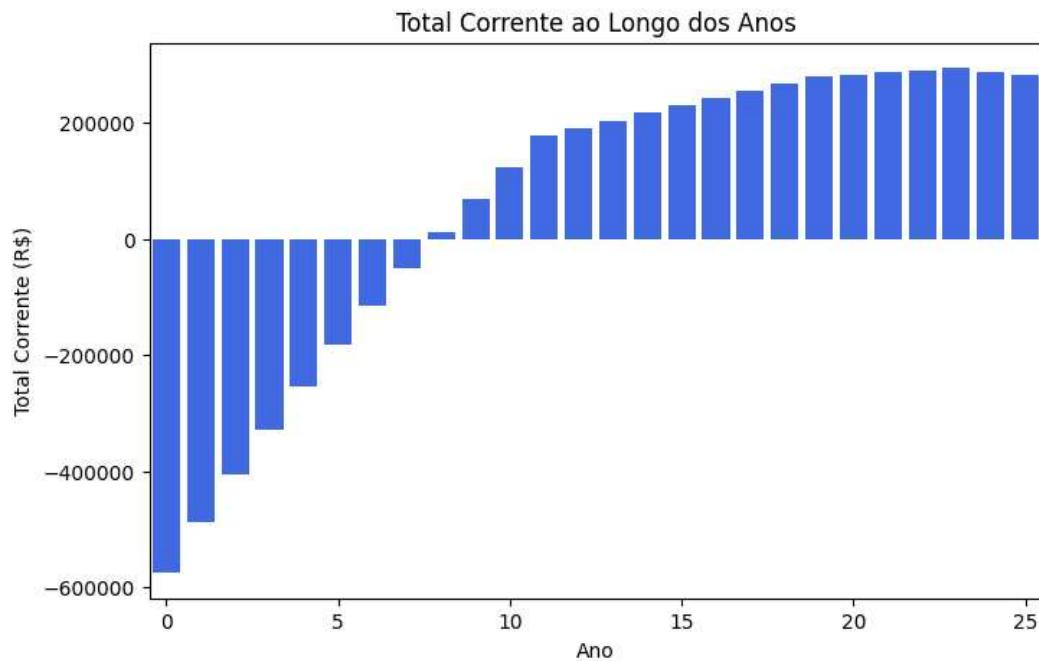
O cálculo do *payback* é uma métrica essencial para entender o tempo necessário para que o investimento se torne rentável, ou seja, o período necessário para que o fluxo de caixa acumulado cubra o valor investido inicialmente.

No cálculo do *payback*, foram considerados diversos fatores que impactam a rentabilidade do sistema fotovoltaico ao longo do tempo. Inicialmente, destaca-se que a substituição das baterias foi considerada no cálculo para o ano 20, uma vez que elas são utilizadas apenas em situações de falha no fornecimento de energia pela concessionária, o que resulta em um período limitado de uso. Assim, as baterias têm sua vida útil prolongada, o que contribui para a redução da necessidade de substituições frequentes e os custos associados.

Adicionalmente, o inversor, com uma vida útil estimada em 12 anos, foi substituído nos anos 12 e 24, conforme a necessidade de reposição ao fim de cada ciclo de vida útil. Os custos de substituição do inversor foram incorporados ao cálculo do *payback* nos respectivos anos.

Apesar dos custos adicionais ao longo da vida útil do sistema fotovoltaico, como a substituição das baterias e do inversor, o VPL permanece positivo. Isso indica que, mesmo com os custos de reposição, o investimento em energia fotovoltaica continua sendo rentável, proporcionando retorno financeiro ao longo do tempo.

A Figura 10 ilustra o *payback* descontado do investimento realizado em um sistema de energia fotovoltaica. As análises evidenciam a robustez do projeto fotovoltaico, demonstrando que, apesar da necessidade de substituição de componentes importantes ao longo do tempo, como baterias e inversores, o sistema se mantém vantajoso economicamente.

Figura 10 – Gráfico do *Payback* descontado

Fonte: Autor.

Após a análise do gráfico, observa-se que, mesmo com a substituição do inversor no Ano 12, o total corrente manteve-se crescente e positivo, evidenciando a continuidade do fluxo de caixa acumulado. O mesmo comportamento foi verificado no Ano 20, com a substituição das baterias, onde os valores continuaram em trajetória ascendente. Contudo, no Ano 24, com a segunda substituição do inversor, o gráfico apresentou uma leve queda, embora o total corrente permanecesse positivo. Essa dinâmica indica a resiliência do investimento e a capacidade do sistema de manter resultados positivos ao longo do tempo, mesmo após intervenções programadas.

7 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste trabalho, foi realizado o dimensionamento de uma instalação elétrica de baixa tensão, com o objetivo de garantir que todos os dispositivos estivessem em conformidade com as normas técnicas e operassem de maneira segura. Um dos principais aspectos para garantir a segurança e a eficiência de uma instalação elétrica é a escolha e o dimensionamento adequado dos materiais. Isso assegura que o sistema funcione de forma estável, evitando desperdícios de energia e prevenindo falhas e riscos, como sobrecargas, curtos-circuitos e incêndios. O dimensionamento correto dos cabos, disjuntores, fusíveis e outros componentes não só oferece segurança, mas também melhora a eficiência energética, minimizando perdas e garantindo um desempenho otimizado.

Para o projeto fotovoltaico, foram feitos cálculos detalhados da geração de energia, levando em consideração a eficiência dos painéis solares e os impactos de fatores como a degradação anual da potência. O dimensionamento do sistema fotovoltaico também deve ser feito de forma a maximizar sua eficiência, garantindo que a energia gerada seja utilizada de forma eficaz, reduzindo ao mínimo as perdas e aproveitando ao máximo os recursos disponíveis.

Ao avaliar a viabilidade do sistema fotovoltaico, constata-se que, embora a produção de energia seja impactada pela degradação anual dos painéis solares, a economia gerada pelo sistema tende a aumentar ao longo dos anos. Esse crescimento na economia de energia ocorre principalmente devido ao reajuste anual das tarifas de energia elétrica, que geralmente eleva o custo da energia consumida da rede. Assim, mesmo com a perda gradual de potência dos painéis solares, a valorização das tarifas de energia contribui significativamente para a recuperação do investimento inicial e para a melhoria na rentabilidade do sistema.

Ao considerar a substituição das baterias no ano 20, assim como a substituição do inversor nos anos 12 e 24, verifica-se que o sistema demonstra viabilidade econômica, apresentando um retorno positivo sobre o investimento, um VPL de R\$ 282.670,22 e um payback no ano 7, em 9 meses e 27 dias, destacando o curto período necessário para recuperar o investimento inicial.

No entanto, caso a substituição do inversor no ano 24 fosse descartada, mas mantendo a substituição do inversor no ano 12 e das baterias no ano 20, e sem substituir as placas solares após 25 anos, o VPL seria de R\$ 302.889,44. A diferença entre esses dois cenários é de R\$ 20.219,22.

Embora essa diferença no VPL de R\$ 20.219,22 seja significativa, vale destacar que o custo do inversor no ano 24 ultrapassa os R\$ 128.000, considerando o reajuste do valor ao longo dos anos. Isso representa um impacto financeiro considerável. Portanto, não substituir o inversor no ano 24 pode ser viável, desde que as placas solares também não

sejam trocadas após 25 anos, já que isso evitaria custos adicionais com a renovação dos componentes. No entanto, a substituição do inversor no ano 24 garantiria maior eficiência e continuidade da geração de energia, otimizando a operação do sistema e prolongando sua vida útil de maneira mais eficaz.

Vale ressaltar que, mesmo considerando a degradação da potência dos painéis solares e as substituições de componentes como baterias e inversores, o sistema continua a ser uma opção vantajosa a longo prazo. O impacto das tarifas de energia, que aumentam anualmente, é um fator crucial para garantir a economia de energia, permitindo que o sistema fotovoltaico se mantenha competitivo em relação à compra de energia da rede elétrica.

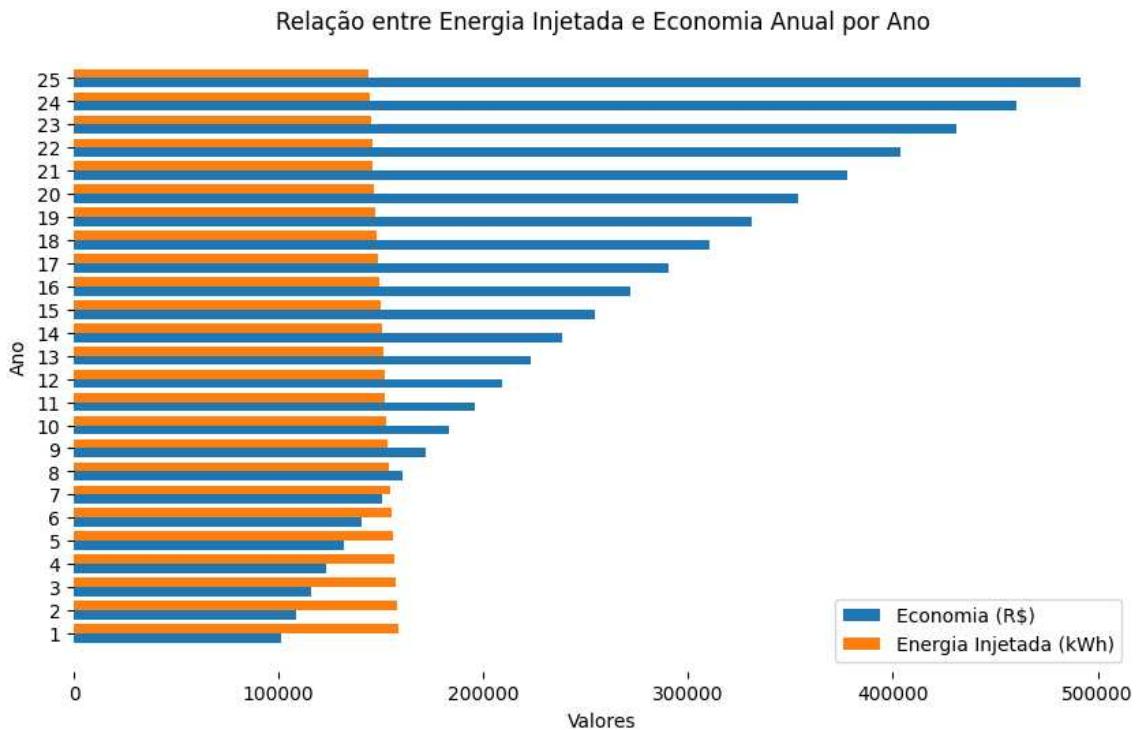
Além das vantagens econômicas, o sistema fotovoltaico desempenha um papel fundamental na redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais associados à geração de energia a partir de fontes fósseis. Ao longo de 25 anos de operação, a estimativa de redução de CO₂ é significativa, reforçando a relevância da energia solar como uma alternativa sustentável e alinhada aos objetivos ambientais.

O projeto fotovoltaico foi dimensionado para cobrir 9,5% do consumo energético total do hotel. No entanto, caso o hotel deseje cobrir 100% do consumo, seria necessário expandir a instalação fotovoltaica para outro local. Isso ocorre porque, para alcançar essa cobertura total, seriam necessários 2.732 painéis solares, mas no terraço do hotel, foi possível instalar apenas 260 painéis. Mesmo assim, o projeto demonstrou viabilidade econômica, com um bom retorno financeiro, dado o investimento em energia solar.

Quando comparado com as fontes de energia convencionais, como a energia elétrica da rede pública, o sistema fotovoltaico apresenta-se como uma alternativa mais econômica no longo prazo, especialmente considerando os reajustes anuais nas tarifas de energia. Mesmo com o investimento inicial necessário, o sistema oferece uma redução substancial nos custos de energia ao longo de sua vida útil, fazendo com que o retorno sobre o investimento seja altamente atrativo.

No gráfico 11, é possível visualizar a evolução da economia ao longo do tempo, levando em conta a degradação da potência dos painéis, o aumento das tarifas de energia e as substituições dos componentes do sistema. A tendência mostra que, apesar da redução na geração de potência dos painéis solares, o sistema continua gerando economia, proporcionando um desempenho financeiro sólido ao longo de toda a vida útil do projeto.

Figura 11 – Relação entre Energia Produzida e Economia Anual na Conta de Energia



Fonte: Autor.

Uma outra forma de analisar a viabilidade do sistema é calculando a LCOE, que é dada pela seguinte fórmula:

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=0}^T (C_t + O_t)}{\sum_{t=0}^T E_t} \quad (7.1)$$

Onde:

- C_t é o custo de investimento (CAPEX) no ano t ;
- O_t são os custos operacionais anuais (OPEX) no ano t ;
- E_t é a energia gerada no ano t ;
- T é o número total de anos de operação do sistema.

Para o sistema proposto, o LCOE calculado foi de R\$ 0,1568 por kWh, representando o custo médio de geração de energia através do sistema fotovoltaico, considerando todos os custos envolvidos durante a vida útil do sistema. A tarifa média adotada pela concessionária é de R\$ 0,64 por kWh. Considerando a economia de R\$ 0,4832 por kWh gerada pelo uso da energia fotovoltaica, verifica-se que o sistema fotovoltaico é financeiramente mais vantajoso do que a compra de energia da concessionária. O investimento em energia solar não só reduz os custos operacionais com energia, como também se torna uma estratégia

sólida a longo prazo, especialmente diante do aumento contínuo das tarifas de energia elétrica. Dessa forma, o projeto fotovoltaico apresenta benefícios financeiros significativos, reforçando sua viabilidade econômica.

Em resumo, a análise de viabilidade do projeto fotovoltaico demonstra que, mesmo com a perda gradual de eficiência dos painéis solares e a necessidade de substituições periódicas de componentes como as baterias e inversores, o sistema continua a ser uma solução economicamente vantajosa. Através do monitoramento constante e das adequadas manutenções, o projeto fotovoltaico se consolida como uma solução inteligente tanto para a redução de custos quanto para o avanço em práticas sustentáveis.

8 CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou que a instalação elétrica de baixa tensão foi projetada em conformidade com as normas técnicas vigentes, visando garantir segurança, eficiência e confiabilidade. O dimensionamento cuidadoso dos dispositivos elétricos assegura o funcionamento adequado dos equipamentos e mitiga riscos, criando um ambiente seguro para os usuários do hotel, caso o projeto seja implementado.

A análise do sistema fotovoltaico revelou que, apesar da degradação anual dos painéis solares, a economia gerada tende a crescer ao longo dos anos devido aos reajustes tarifários da energia elétrica. Mesmo considerando a necessidade de substituição periódica de componentes, como inversores e baterias, o projeto apresenta um retorno positivo sobre o investimento, destacando sua viabilidade econômica a longo prazo.

Além dos benefícios financeiros, o sistema fotovoltaico se configura como uma solução sustentável, com o potencial de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os impactos negativos da geração de energia proveniente de fontes fósseis. A adoção de fontes renováveis reforça a necessidade de alinhar o projeto às diretrizes de eficiência energética e sustentabilidade, apesar de a redução exata de CO₂ ao longo da vida útil do sistema ainda necessitar de cálculos precisos.

A eficiência energética foi um aspecto chave do projeto, alcançada por meio da otimização do consumo, uso de dispositivos de alto desempenho e geração distribuída de energia. Esta abordagem não só minimiza o desperdício, como maximiza o aproveitamento da energia gerada e consumida no hotel.

A implementação do sistema fotovoltaico híbrido com armazenamento em baterias oferece ainda mais benefícios, como a garantia de 3 horas de autonomia em caso de falhas no fornecimento de energia, assegurando a continuidade das operações do hotel. Além de reduzir custos operacionais, o sistema contribui para a sustentabilidade ao diminuir a dependência de fontes fósseis. A confiabilidade e resiliência operacional, associadas ao diferencial competitivo de adotar tecnologias sustentáveis, reforçam a imagem institucional do hotel. Por fim, a independência energética e o controle sobre os custos tornam o projeto uma solução estratégica e eficiente para o setor. Em resumo, a integração entre o sistema fotovoltaico e a instalação elétrica de baixa tensão bem planejada é uma estratégia eficaz para otimizar o consumo de energia, reduzir custos operacionais e reforçar o compromisso com a sustentabilidade. A adoção de monitoramento contínuo e manutenção preventiva garantirá a longevidade e o desempenho ideal do sistema, consolidando sua viabilidade para o setor hoteleiro.

9 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro, além da reavaliação do modelo tarifário adotado, destaca-se a necessidade de uma análise mais aprofundada sobre a escolha do regime de tarifação. O modelo tarifário em bandeira verde foi inicialmente considerado devido ao fato de o empreendimento ser novo e não possuir um histórico de consumo. No entanto, caso seja implementado, será essencial avaliar se o enquadramento na modalidade verde continua sendo a opção mais vantajosa ou se a migração para o modelo azul traria benefícios financeiros, considerando os perfis de consumo e demandas contratadas.

Além disso, deve-se analisar a possibilidade de utilizar o banco de baterias já instalado para otimizar os custos durante o horário de ponta. Com capacidade para suprir até três horas de consumo, o banco de baterias pode ser empregado estrategicamente para reduzir a dependência da rede elétrica nos períodos de maior tarifa, contribuindo para a redução dos custos operacionais e aumentando a eficiência do sistema energético. A decisão sobre sua utilização nesse contexto dependerá da escolha do modelo tarifário e da definição das demandas contratadas.

Outro aspecto relevante para estudos futuros é a contabilização da depreciação dos equipamentos do CAPEX como forma de obter benefícios fiscais. A depreciação dos ativos pode resultar em uma redução da base de cálculo dos impostos, gerando economia tributária e melhorando a viabilidade financeira do projeto. Dessa forma, a consideração desses fatores contribuirá para um planejamento mais preciso e eficiente da implementação do sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. de N. T. *NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004:2008.
- ABNT, A. B. de N. T. *NBR 16149:2013. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica – Requisitos de Projeto*. [S.l.], 2013.
- ABNT, A. B. de N. T. *NBR 16150: Sistema fotovoltaico - Requisitos para o projeto, instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica*. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT, A. B. de N. T. *ABNT NBR 10898: Iluminação de Emergência*. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT, A. B. de N. T. *NBR IEC 60898: Disjuntores para Proteção contra Sobrecorrente em Instalações Elétricas Domésticas e Similares*. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ABNT, A. B. de N. T. *NBR IEC 60947-2: Disjuntores para Baixa Tensão Utilizados por Profissionais Qualificados*. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ANEEL, A. N. de E. E. *Resolução Normativa Nº 482/2012*. [S.l.], 2012. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: Janeiro de 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. *Resolução Normativa nº 687/2015*. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/legislacao/ren-687-2015>>. Acesso em: Janeiro de 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. *Resolução Normativa nº 814/2017*. 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/legislacao/ren-814-2017>>. Acesso em: Janeiro de 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. *Resolução Normativa nº 1059/2021*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/legislacao/ren-1059-2021>>. Acesso em: Janeiro de 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. *Matriz elétrica teve aumento de 10,9 GW em 2024, maior expansão da série histórica*. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2025/matrix-eletrica-teve-aumento-de-10-9-gw-em-2024-maior-expansao-da-serie-historica>>. Acesso em: Janeiro de 2025.
- ANEEL, A. N. de E. E. *Indicadores Coletivos de Continuidade - DEC e FEC*. 2025. Acesso em: Fevereiro de 2025. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/indicadores-coletivos-de-continuidade-dec-e-fec/resource/4493985c-baea-429c-9df5-3030422c71d7>>.
- Buyers Energy. *Bateria de Lítio LiFePO4 EVE 48V 105Ah*. 2025. Acesso em: Fevereiro de 2025. Disponível em: <<https://www.buyersenergy.com.br/produtos/bateria-de-litio-lifepo4-eve-48v-105ah>>.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. *Norma Técnica ND5.1 – Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária Rede de Distribuição Aérea – Edificações Individuais*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/normas-tecnicas-conexao>>>. Acesso em: Fevereiro de 2025.

CONTINENTAL, W. *Calculadora de BTUs*. 2025. Acesso em: Fevereiro de 2025. Disponível em: <https://www.webcontinental.com.br/calculadora-de-btus?utm_source=google&utm_medium=cpc&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAvP-6BhDyARIsAJ3uv7ZXPfefa7KQaSfVl0UflL-oeiKkFIFazPEkVtjSqbjTfzVFTNvF14aATEALw_wcB>>.

COTRIM, A. A. M. B. *Instalações Elétricas*. 5^a. ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2008.

CRESESB. *Dados de Irradiação Solar*. 2025. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: Fevereiro de 2025.

ENERGIA, B. M. de Minas e. *Selo Procel*. 2019. Acesso em: Janeiro de 2025. Disponível em: <<https://www.procelinfo.gov.br>>.

EPE, E. de P. E. *Atlas da Eficiência Energética – Brasil 2024: Relatório de Indicadores*. 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-857/Atlas%20da%20Efici%C3%A3ncia%20Energ%C3%A9tica%20Brasil%202024.pdf>> . Acesso em: Janeiro de 2025.

Fórum de Operadores Hoteleiros do Brasil. *InFOHB 209 – Relatório de Desempenho da Hotelaria*. [S.l.], 2024. Acesso em: Fevereiro de 2025. Disponível em: <https://fohb.com.br/estudos_e_pesquisas/>.

GREEN, M. *Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications*. [S.l.]: University of New South Wales, 2020.

IEA, I. E. A. *Solar PV: Tracking Clean Energy Progress*. 2024. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/solar-pv>>. Acesso em: Janeiro de 2025.

IEEE 1547. *Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*. New York, USA: IEEE Standards Association, 2018.

ISLAM, M. R.; XU, W.; RAHMAN, F. *Advances in Solar Photovoltaic Power Plants*. Berlin: Springer, 2016.

J Solar World. *Deye Híbrido Sun 35K SGO1HP3 EU BM3*. 2025. Acesso em: Fevereiro de 2025. Disponível em: <https://jsolarworld.com.br/products/deye-hibrido-sun-35k-sgo1hp3-eu-bm3?_pos=1&_sid=9c4048d91&_ss=r>.

MURILLO-YARCE, D. A review of control techniques in photovoltaic systems. *Sustainability (Switzerland)*, MDPI, v. 12, n. 24, p. 1–22, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su122410598>>.

Neosolar. *Painel Solar Fotovoltaico 435W Longi LR5-54HTH-435M*. 2025. Acesso em: Fevereiro de 2025. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-435w-longi-lr5-54hth-435m.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAzvC9BhADEiwAEhtlNwiA3vTul_GQiHZSQRDfR4G1Bbaz1EjgJ5KiahPdAfpN0SU6IyI7RoCr1wQAvD_BwE>.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro-RJ: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – Cresesb, 2014. 529 p.

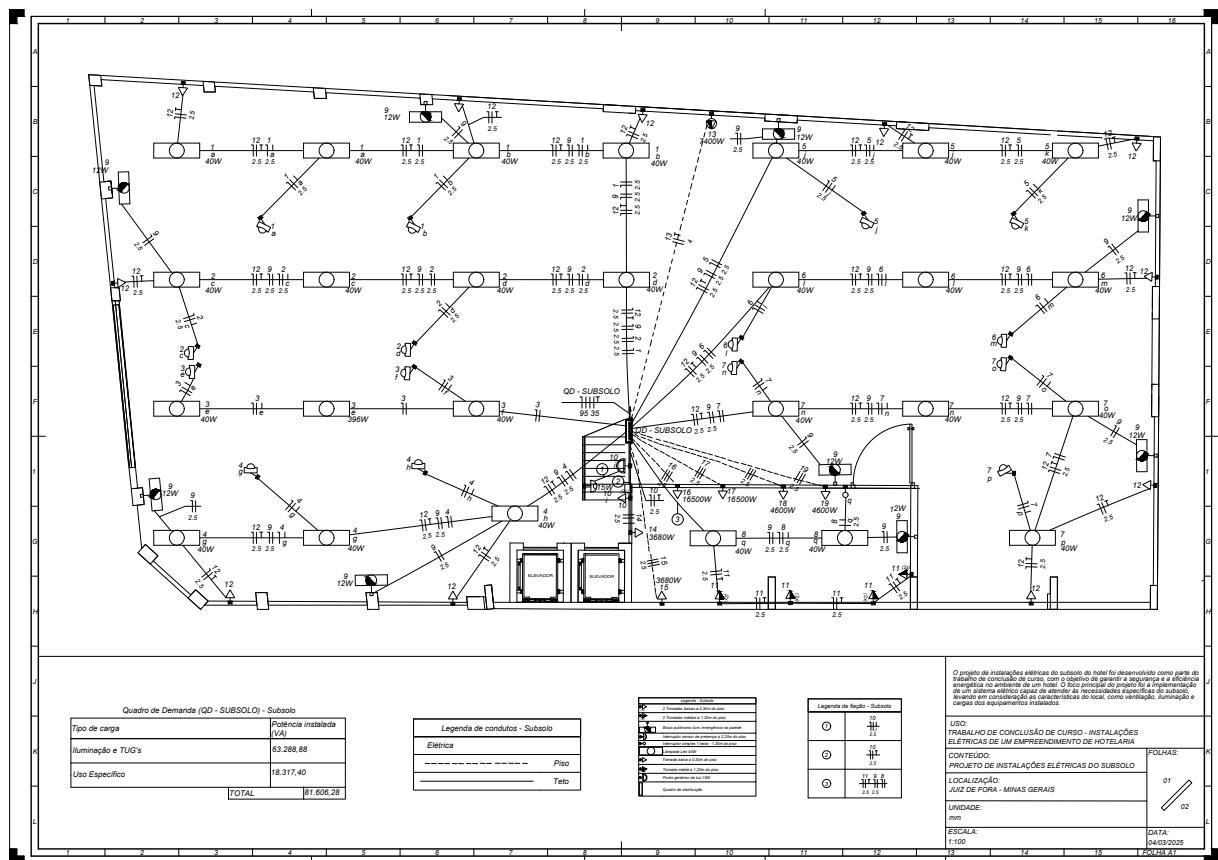
SIEMENS. *Catálogo de Dispositivos de Proteção*. [S.l.], 2025. Disponível em: <<https://www.siemens.com/br/pt/produtos/catalogos.html>>.

SILVA, H. T. D. *Estudos sobre a interação dos métodos anti ilhamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de baixa tensão com múltiplos inversores*. 150 p. Dissertação de Mestrado — Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 2016.

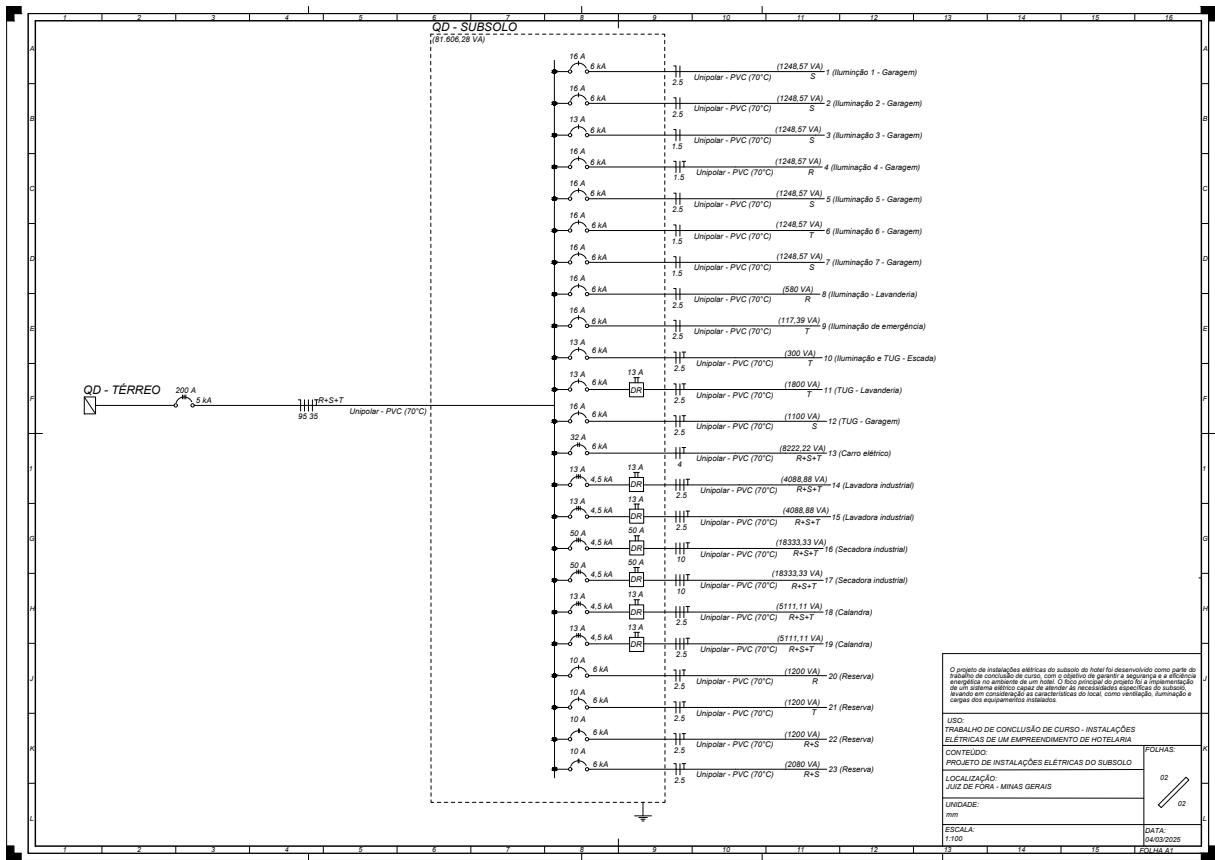
VILLALVA, M. G. *Tecnologia de Sistemas Fotovoltaicos*. 2^a edição. ed. [S.l.]: Editora Érica, 2012.

World Bank Group. *Global Solar Atlas*. 2024. Acesso em: Fevereiro de 2025. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/map>>.

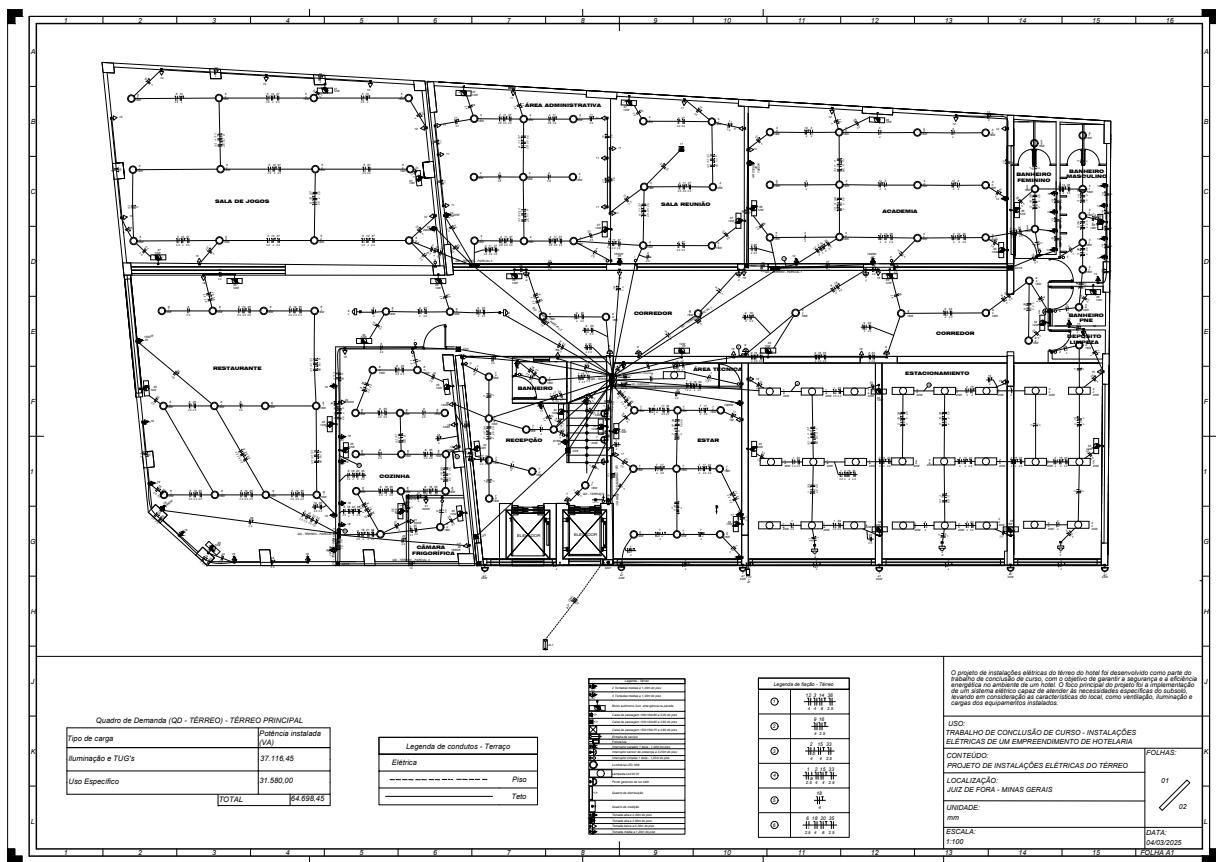
ANEXO A - PLANTA BAIXA ELÉTRICA DO SUBSOLO



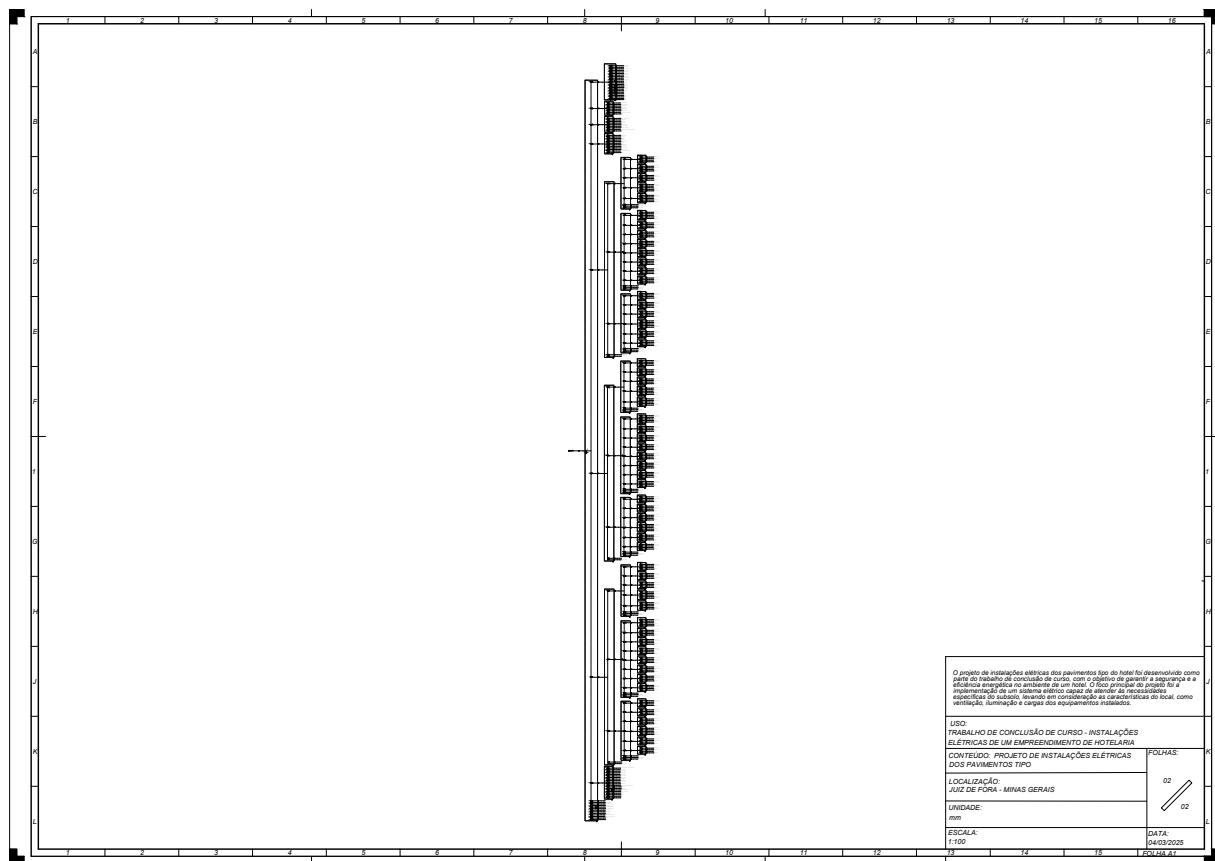
ANEXO B - PLANTA DE QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DO SUBSOLO



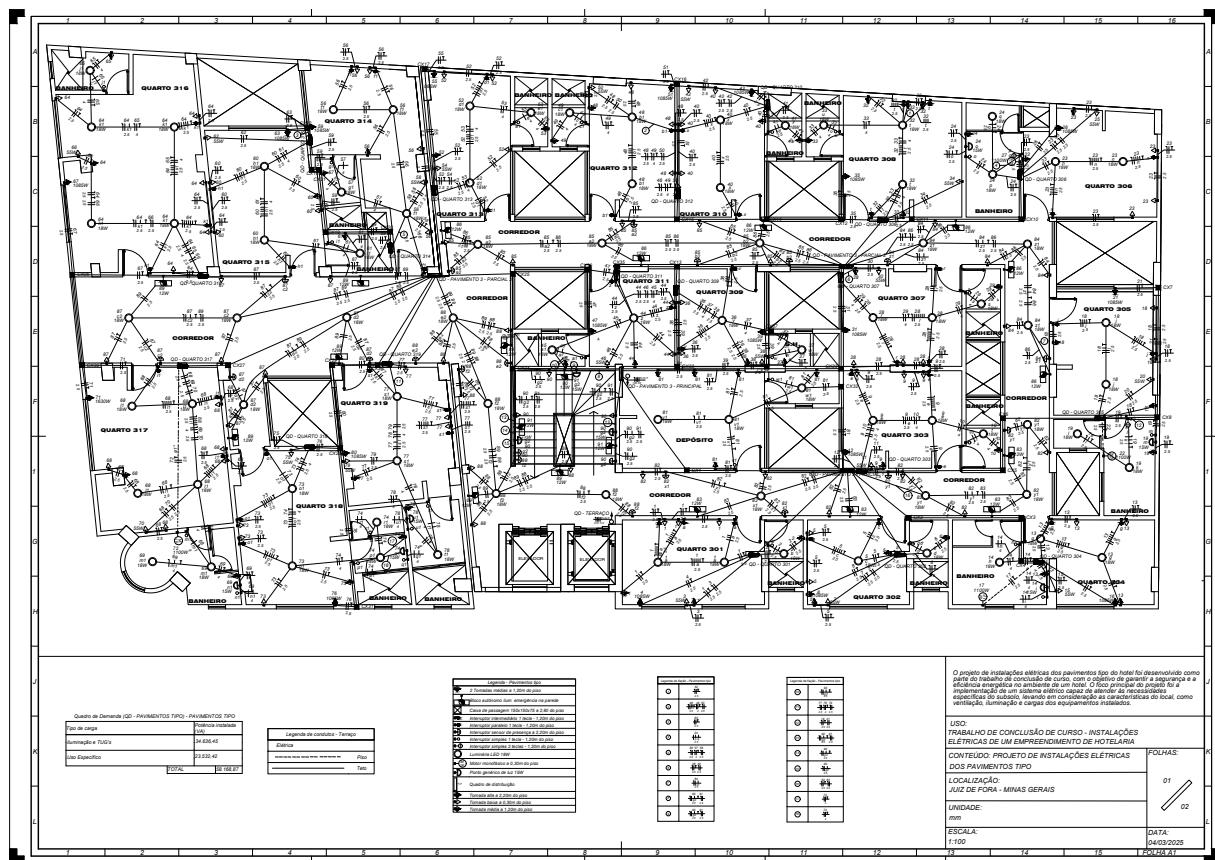
ANEXO C - PLANTA BAIXA ELÉTRICA DO TÉRREO



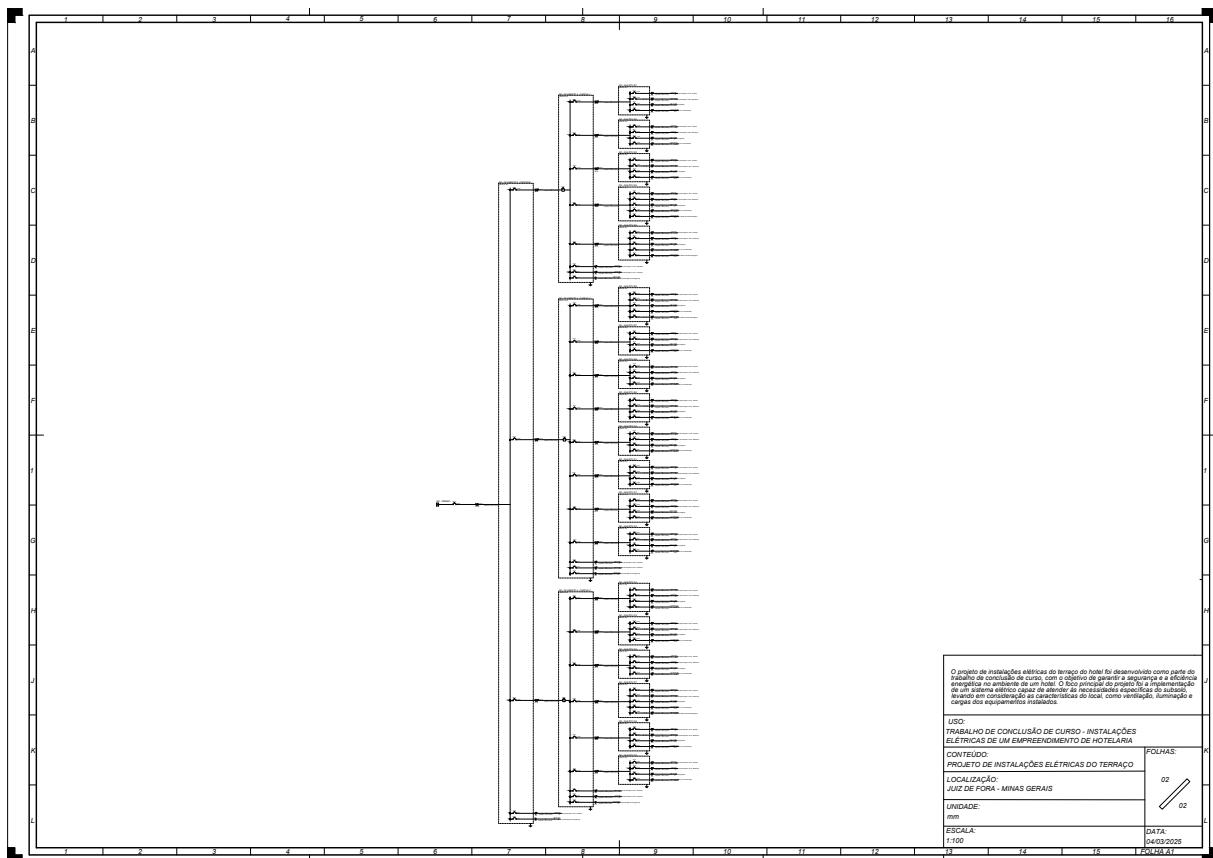
ANEXO D - PLANTA DE QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DO TÉRREO



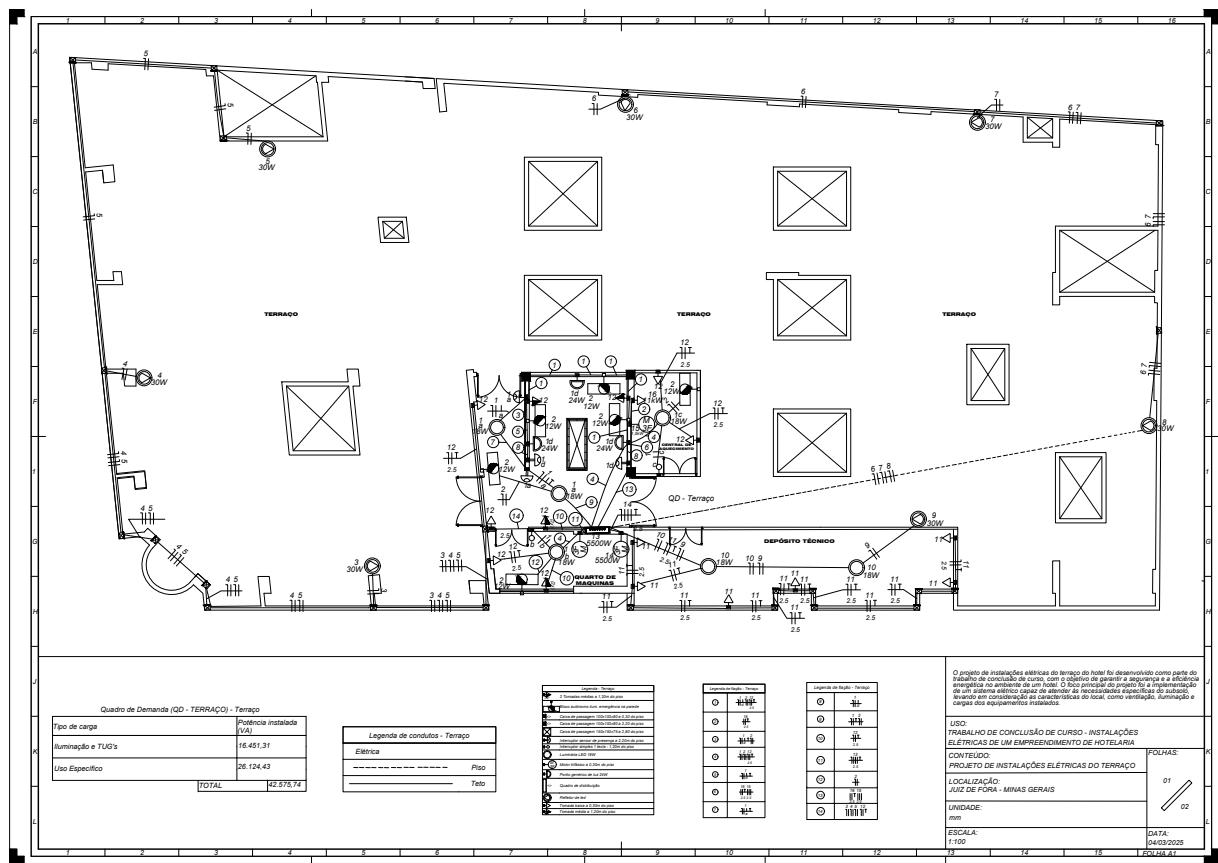
ANEXO E - PLANTA BAIXA ELÉTRICA DOS PAVIMENTOS TIPO



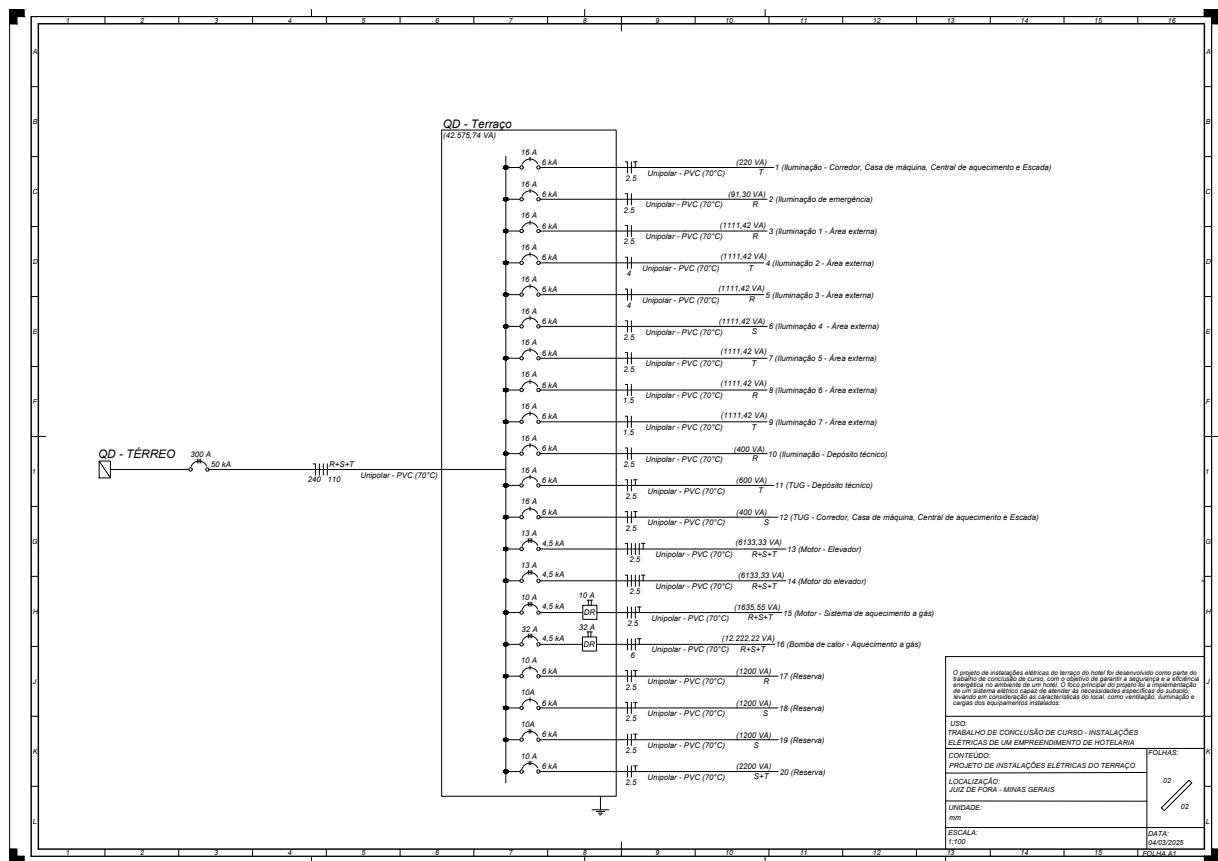
**ANEXO F - PLANTA DE QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DOS
PAVIMENTOS TIPO**



ANEXO G - PLANTA BAIXA ELÉTRICA DO TERRAÇO



ANEXO H - PLANTA DE QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DO TERRAÇO



ANEXO I - DIAGRAMA UNIFILAR - SISTEMA FOTOVOLTAICO

