

**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Goiás

**ISMAEL DANILO LIMA FREITAS
ISRAEL TOBIAS FREIRE DE SOUSA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE VIABILIDADE ECONÔMICA
ENTRE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA E ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA EM SISTEMA RESIDENCIAL**

VALPARAÍSO DE GOIÁS - GO

2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

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

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

TERMO 10/2025 - VAL-DAA/CP-VALPARA/IFG

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

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho apresentado em evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome completo do(a) autor(a): Ismael Danilo Lima Freitas

Matrícula: 20201150050275

Título do trabalho: Análise Comparativa de Viabilidade Econômica entre Aquecimento Solar de Água e Energia Solar Fotovoltaica em Sistema Residencial

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

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

☐ O documento está sujeito a registro de patente.

☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.

☐ Outra justificativa: _____.

Declaração de distribuição não-exclusiva

O(A) referido(a) autor(a) declara que:

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

Valparaíso de Goiás, 20 de fevereiro de 2025.

(assinado eletronicamente)

ISMAEL DANILO LIMA FREITAS

Autor(a) e/ou Detentor(a) dos Direitos Autorais

Documento assinado eletronicamente por:

■ Ismael Danilo Lima Freitas, 20201150050275 - Discente, em 20/02/2025 16:40:55.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 620332

Código de Autenticação: 39242c6ba3



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

BR 040, KM 6, Avenida Saia Velha, S/Nº, Área 8, None, Parque Esplanada V, VALPARAÍSO DE GOIÁS / GO, CEP 72876-601
(61) 3615-9210 (ramal: 9210)



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

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

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

TERMO 9/2025 - VAL-DAA/CP-VALPARAÍSO/IFG

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

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho apresentado em evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome completo do(a) autor(a): Israel Tobias Freire de Sousa

Matrícula: 20201150050127

Título do trabalho: Análise Comparativa de Viabilidade Econômica entre Aquecimento Solar de Água e Energia Solar Fotovoltaica em Sistema Residencial

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

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

☐ O documento está sujeito a registro de patente.

☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.

☐ Outra justificativa: _____.

Declaração de distribuição não-exclusiva

O(A) referido(a) autor(a) declara que:

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

Valparaíso de Goiás, 20 de fevereiro de 2025.

(assinado eletronicamente)

ISRAEL TOBIAS FREIRE DE SOUSA

Autor(a) e/ou Detentor(a) dos Direitos Autorais

Documento assinado eletronicamente por:

- Israel Tobias Freire de Sousa, 20201150050127 - Discente, em 20/02/2025 11:40:23.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

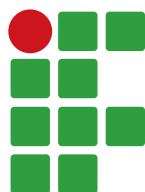
Código Verificador: 620336

Código de Autenticação: 4f7a6c4cd1



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

BR 040, KM 6, Avenida Saia Velha, S/Nº, Área 8, None, Parque Esplanada V, VALPARAÍSO DE GOIÁS / GO, CEP 72876-601
(61) 3615-9210 (ramal: 9210)



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Goiás

**ISMAEL DANILO LIMA FREITAS
ISRAEL TOBIAS FREIRE DE SOUSA**

ANÁLISE COMPARATIVA DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM SISTEMA RESIDENCIAL

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

Orientador: PROF. DR. ALISSON LIMA SILVA, IFG

VALPARAÍSO DE GOIÁS - GO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F866a Freitas, Ismael Danilo Lima

Análise comparativa de viabilidade econômica entre aquecimento solar de água e energia solar fotovoltaica em sistema residencial [recurso eletrônico] / Ismael Danilo Lima Freitas e Israel Tobias Freire de Sousa. -- 2025.

Dados eletrônicos (1 arquivo).
87 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Lima Silva.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, câmpus Valparaíso, 2025.

Modo de acesso: World Wide Web.

Arquivo de texto em formato PDF.

Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br>.

1. Eficiência energética. 2. Estudos de viabilidade. 3. Habitação - Consumo de energia. 4. Aquecimento solar. 5. Energia solar. I. Título. II. Sousa, Israel Tobias Freire de. III. Silva, Alisson Lima, orient.

CDD 621.31244



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

TERMO 8/2025 - VAL-DAA/CP-VALPARAÍSO/IFG

ISMAEL DANILO LIMA FREITAS
ISRAEL TOBIAS FREIRE DE SOUSA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA E ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA EM SISTEMA RESIDENCIAL**

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

Monografia defendida e aprovada, em 19 de fevereiro de 2025, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

(assinado eletronicamente)

Prof. Dr. ALISSON LIMA SILVA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG
Presidente da banca / Orientador(a)

(assinado eletronicamente)

Prof. Dr. PEDRO HENRIQUE FRANCO MORAES

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG
Membro da banca

(assinado eletronicamente)

Eng. EDILSON JOSÉ JACINTO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG
Membro da banca

Valparaíso de Goiás, 20 de fevereiro de 2025

Documento assinado eletronicamente por:

- Edilson Jose Jacinto, COORDENADOR(A) - FG2 - VAL-CAM, em 20/02/2025 12:24:49.
- Pedro Henrique Franco Moraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/02/2025 11:05:34.
- Alisson Lima Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/02/2025 11:02:13.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/03/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 523759
Código de Autenticação: 18d5ba4761



Agradecimentos

Primeiramente, agradecemos a Deus, fonte de inspiração e força, que nos guiou e sustentou durante toda a jornada acadêmica, proporcionando sabedoria e perseverança para enfrentar cada desafio e concluir esta importante etapa de nossas vidas.

Gostaríamos também de expressar nossa profunda gratidão às nossas famílias, que estiveram ao nosso lado desde o início, oferecendo apoio incondicional, incentivo e amor em todos os momentos. Aos nossos pais e familiares, que com paciência e compreensão compreenderam as nossas ausências e sempre acreditaram no nosso potencial, dedicamos este trabalho. Sem o suporte e a confiança de vocês, esta realização não teria sido possível.

Por fim, agradecemos aos professores e orientadores que nos acompanharam ao longo deste curso, especialmente durante a elaboração deste trabalho de conclusão de curso. Suas orientações e ensinamentos foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto, e somos gratos por cada contribuição que nos ajudou a alcançar nossos objetivos.

Este trabalho é fruto de um esforço conjunto e representa a concretização de um sonho que se tornou realidade graças à ajuda e ao apoio de todos os envolvidos.

Resumo

Diante do crescente interesse por fontes de energia renovável e motivada pela necessidade de reduzir os impactos ambientais e os custos com eletricidade, esta pesquisa busca fornecer uma visão clara sobre as vantagens e limitações de cada tecnologia no contexto residencial. Este trabalho apresenta uma análise comparativa da viabilidade econômica, ambiental e sustentável entre os sistemas de aquecimento solar de água e de energia solar fotovoltaica aplicados em residências. O estudo aborda conceitos teóricos, normativas técnicas e regulamentações vigentes, além de incluir um estudo de caso com três residências de diferentes portes para avaliar o desempenho e o retorno sobre o investimento dos sistemas. Foram aplicadas metodologias de cálculo de *payback* e projeções econômicas para verificar o tempo de retorno e os benefícios econômicos dos sistemas ao longo do tempo. Os resultados demonstram que o sistema de aquecimento solar de água, por seu menor custo de instalação, apresenta um retorno financeiro mais rápido, sendo uma opção interessante para residências com alto consumo de água quente. Por outro lado, o sistema fotovoltaico, apesar de um investimento inicial mais elevado, proporciona economia significativa ao mitigar ou eliminar o consumo de energia elétrica da rede, mostrando-se mais vantajoso em longo prazo, especialmente em regiões com alta incidência solar. Este trabalho contribui para a compreensão das melhores práticas para a implementação de sistemas solares em residências, oferecendo uma base de dados que auxilia consumidores e profissionais na tomada de decisão sobre qual tecnologia adotar para maximizar a economia.

Palavras-Chave: Análise comparativa, Aquecimento solar de água, Energia solar fotovoltaica, Viabilidade econômica.

Abstract

In light of the growing interest in renewable energy sources, driven by the need to reduce environmental impacts and electricity costs, this research aims to provide a clear understanding of the advantages and limitations of each technology within a residential context. This work presents a comparative analysis of the economic, environmental, and sustainable viability of residential solar water heating and photovoltaic energy systems. The study covers theoretical concepts, technical standards, and current regulations, and includes a case study involving three residences of varying sizes to assess system performance and return on investment. Payback calculation methodologies and economic projections were applied to evaluate the payback period and the long-term economic benefits of each system. The results show that the solar water heating system, with its lower installation cost, offers a faster financial return, making it an attractive option for households with high hot water consumption. On the other hand, the photovoltaic system, despite a higher initial investment, yields significant savings by reducing or eliminating grid electricity consumption, proving to be more advantageous in the long term, especially in regions with high solar incidence. This work contributes to the understanding of best practices for implementing solar systems in residential settings, providing a database to assist consumers and professionals in deciding which technology to adopt to maximize savings and sustainability.

Keywords: Comparative analysis, Economic viability, Photovoltaic solar energy, Solar water heating.

Lista de Figuras

2.1	Funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede	22
2.2	Componentes de um sistema de aquecimento solar	23
2.3	Esquema de um sistema fotovoltaico isolado	28
4.1	Fatura de Energia - Residência 1	57
4.2	Fatura de Água - Residência 1	58
4.3	Fatura de Energia - Residência 2	62
4.4	Fatura de Água - Residência 2	63
4.5	Fatura de Energia - Residência 3	67
4.6	Fatura de Água - Residência 3	68
4.7	Custo total em reais dos sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico para os modelos de residências de pequeno, médio e grande porte . . .	75
4.8	Economia mensal em reais dos sistemas de aquecimento solar e foto- voltaico para os modelos de residências de pequeno, médio e grande porte	76
4.9	Payback em meses dos sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico para os modelos de residências de pequeno, médio e grande porte . . .	77

Lista de Tabelas

3.1	Normas regulamentadoras	45
4.1	Custo total do sistema fotovoltaico - Residência pequeno porte	59
4.2	Custo total do sistema de aquecimento solar - Residência pequeno porte	60
4.3	Custo total do sistema fotovoltaico - Residência de médio porte	64
4.4	Custo total do sistema de aquecimento solar - Residência de médio porte	65
4.5	Custo total do sistema fotovoltaico - Residência de grande porte	69
4.6	Custo total do sistema de aquecimento solar - Residência de grande porte	69
4.7	Comparação entre os sistemas - Residência pequeno porte	71
4.8	Comparação entre os sistemas - Residência de médio porte	72
4.9	Comparação entre os sistemas - Residência de grande porte	73

Lista de Abreviaturas e Símbolos

Lista de Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DR	Dispositivo Diferencial Residual
DSSC	Dye Sensitized Solar Cells
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
NBR	Norma Brasileira
NBR 15569	Norma Brasileira 15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Requisitos de projeto e instalação
NBR 16690	Norma Brasileira 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto
NBR 5410	Norma Brasileira 5410: Instalações elétricas de baixa tensão
NR	Norma Regulamentadora
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

Lista de Símbolos

C_{AS}	Custo de instalação do sistema de aquecimento solar de água (em R\$)
C_{FV}	Custo de instalação do sistema fotovoltaico (em R\$)
CM	Consumo mensal de energia elétrica (em kWh)
E_{AS}	Economia mensal gerada pelo sistema de aquecimento solar de água (em R\$/mês)
E_{FV}	Economia mensal gerada pelo sistema fotovoltaico (em R\$/mês)
P	Potência do equipamento (em W)
T_{dia}	Quantidade de horas que o equipamento é utilizado por dia (em horas)
T_{EE}	Tarifa de energia elétrica (em R\$ /kWh)
T_{P-AS}	Tempo de <i>payback</i> do sistema de aquecimento solar de água (em meses)
T_{P-FV}	Tempo de <i>payback</i> do sistema fotovoltaico (em meses)
VT_{FE}	Valor total da fatura de energia (em R\$)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Objetivo Geral	17
1.4	Objetivos Específicos	17
1.5	Organização do Trabalho	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Contexto Histórico sobre Energia Solar e Sustentabilidade	19
2.2	Energias Renováveis	21
2.2.1	Sistemas de Aquecimento Solar	23
2.2.2	Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica	27
2.3	Tecnologias Atuais	32
2.3.1	Avanços na Tecnologia Fotovoltaica	32
2.3.2	Avanços na Tecnologia Solar Térmica	34
2.4	Tendências e Desafios na Energia Solar Fotovoltaica e Térmica	35
2.5	Análise de Viabilidade Econômica, Ambiental e Sustentável	38
2.5.1	Viabilidade Econômica	39
2.5.2	Viabilidade Ambiental	40
2.5.3	Viabilidade Sustentável	41
3	NORMAS E REGULAMENTAÇÕES VIGENTES	43
3.1	Principais Normas Técnicas para Sistemas Solares	44
3.1.1	NBR 16690: Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos — Requisitos de Projeto	46
3.1.2	NBR 15569 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Requisitos de projeto e instalação	47

3.1.3	NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão	48
3.1.4	NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade .	50
3.1.5	NBR 17003 - Sistemas Solares Térmicos e Seus Componentes - Coletores Solares - Requisitos Gerais e Métodos de Ensaio . . .	51
4	ESTUDO DE CASO	53
4.1	Cálculos para Payback	54
4.1.1	Sistema de Energia Solar Fotovoltaica	54
4.1.2	Sistema de Aquecimento Solar de Água	54
4.2	Caracterização das Residências	56
4.2.1	Residência 1 - Pequeno Porte	57
4.2.2	Residência 2 - Médio Porte	61
4.2.3	Residência 3 - Grande Porte	66
4.3	Análise Comparativa dos Resultados	71
4.3.1	Residência 1 - Pequeno Porte	71
4.3.2	Residência 2 - Médio Porte	72
4.3.3	Residência 3 - Grande Porte	73
4.4	Discussão dos Resultados	74
5	CONCLUSÕES	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

Nos últimos anos, a sustentabilidade e a eficiência energética têm se tornado tópicos centrais nas discussões sobre desenvolvimento. A busca por soluções que minimizem o impacto ambiental e maximizem a utilização de recursos renováveis está em ascensão. Isso é evidenciado em diversas áreas como automotiva, residencial, comercial e industrial. Tudo isso é impulsionado pelas preocupações crescentes com as mudanças climáticas. Nesse contexto, o uso de energia limpa, especialmente em aplicações residenciais, surge como uma alternativa viável e necessária, o que intensifica o surgimento de mais estudos e tecnologias para a captação e utilização dessa energia limpa nas residências.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) [1], a energia pode ser classificada em renovável e não renovável, de acordo com sua capacidade de reposição na natureza. As fontes renováveis, como solar, eólica, hidráulica e biomassa, são sustentáveis, pois se regeneram naturalmente e causam menor impacto ambiental. Já as fontes não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural, têm reservas limitadas e sua exploração resulta em emissões de poluentes, contribuindo para problemas ambientais como o aquecimento global. A transição para fontes renováveis é essencial para garantir a sustentabilidade energética e reduzir os impactos negativos ao meio ambiente.

As fontes renováveis de energia, como a energia solar, destacam-se por sua capacidade de geração e utilização. Tendo em vista a alocação desses sistemas dentro de uma residência, o aquecedor solar de água é outro equipamento que, se bem utilizado, auxilia na redução do consumo de energias não renováveis. Junto com os sistemas fotovoltaicos para a geração de eletricidade, essas são duas das tecnologias promissoras nesse setor. Ambas têm o potencial de reduzir significativamente o consumo de energia proveniente de fontes não-renováveis e, conseqüentemente, diminuir as emissões de gases de efeito estufa.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa da viabilidade econômica de dois sistemas de energia solar aplicados em residências: o aquecimento solar de água e a energia solar fotovoltaica. Através dessa análise, pretende-se fornecer uma visão clara sobre os benefícios e desafios de cada tecnologia, auxiliando na tomada de decisão para consumidores e profissionais do setor.

1.2 Justificativa

A energia elétrica em um ambiente residencial tem diversas finalidades, sendo uma das principais o aquecimento de água. Os aquecedores de água são comuns e estão presentes em equipamentos como chuveiro elétrico e piscinas. O chuveiro, por exemplo, é um elemento essencial para o conforto diário, proporcionando água aquecida. No entanto, a grande preocupação relacionada à utilização desses tipos de equipamentos é o aumento expressivo do consumo de energia e, conseqüentemente, da conta de energia. O alto consumo desses equipamentos resistivos provoca uma alta demanda de energia elétrica na residência, levando o consumidor à busca por soluções para mitigar esses custos. Contudo, a questão não é apenas encontrar uma solução para diminuir os custos, mas sim uma solução acessível, onde o retorno sobre o investimento seja percebido o mais rápido possível.

Diante do exposto, este Trabalho de Conclusão de Curso busca analisar comparativamente a viabilidade econômica de sistemas residenciais de aquecimento solar de água e energia solar fotovoltaica. A escolha deste tema é motivada pela necessidade crescente de soluções energéticas sustentáveis e eficientes em ambientes residenciais,

tendo como critério principal o custo-benefício, que representa a relação entre o valor investido e o retorno entregue pelo sistema, ou seja, redução na fatura de energia elétrica [2].

1.3 Objetivo Geral

Realizar uma análise da viabilidade econômica da instalação de um sistema de energia solar fotovoltaica e um sistema de aquecimento solar de água em uma residência unifamiliar.

1.4 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão da literatura existente sobre sistemas residenciais de aquecimento solar de água e energia solar fotovoltaica, abordando aspectos técnicos e econômicos;
- Avaliar os custos iniciais de instalação e os custos operacionais ao longo do tempo para ambos os sistemas, considerando equipamentos, manutenção e quaisquer custos associados; e
- Proporcionar recomendações práticas baseadas nos resultados obtidos, auxiliando consumidores com orçamento limitado a escolher o melhor sistema e orientando profissionais do setor na compreensão do sistema que melhor se adequa a cada consumidor.

1.5 Organização do Trabalho

O Capítulo 1 apresenta uma visão geral sobre o assunto abordado, onde as motivações e os objetivos foram descritos.

O Capítulo 2 apresenta um histórico e projeções futuras sobre a energia solar no cenário nacional, além de descrever o princípio de funcionamento e componentes da

energia solar fotovoltaica e dos sistemas de aquecimento solar.

No Capítulo 3 são abordadas as normas e regulamentações vigentes.

No Capítulo 4 é realizado o estudo de caso com caracterizações do local de instalação, análise de faturas, dimensionamento para cada sistema e discussão dos resultados obtidos. Além disso, são demonstrados o custo de implementação, análise de *payback* e análise de viabilidade econômica, ambiental e sustentável.

No Capítulo 5 são apontadas as considerações gerais sobre a viabilidade de instalação dos sistemas a partir das análises realizadas para o estudo de caso.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Contexto Histórico sobre Energia Solar e Sustentabilidade

A preocupação com a sustentabilidade ambiental, embora já discutida em debates filosóficos e acadêmicos desde o século XIX, ganhou relevância prática e política na segunda metade do século XX. Esse despertar foi impulsionado por eventos globais que trouxeram à tona a necessidade de equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. A Conferência de Estocolmo em 1972 marcou um ponto de inflexão, destacando os impactos negativos do crescimento industrial desenfreado e alertando para a finitude dos recursos naturais disponíveis [3]. No mesmo ano, o relatório descrito por Meadows *et al.* (1972) [4], reforçou essa mensagem ao apresentar projeções preocupantes sobre o esgotamento dos recursos naturais, caso o modelo de desenvolvimento industrial não fosse revisto [4].

A década de 1990 foi marcada por um aprofundamento dessas preocupações com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como Rio-92. Esse evento consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável, definido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento como “o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades”. A partir desse ponto, o compromisso com a sustentabilidade tornou-se

uma prioridade global, e o setor energético foi identificado como um dos principais campos onde mudanças urgentes eram necessárias [5].

Historicamente, o setor energético tem sido dominado pelo uso de combustíveis fósseis, cujas emissões são as principais responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Nas últimas décadas, o esgotamento dos recursos não renováveis e a intensificação dos efeitos climáticos impulsionaram a busca por fontes de energia mais limpas e renováveis. Nesse cenário, a energia solar ganhou destaque devido à sua abundância, acessibilidade e potencial para geração distribuída. A energia solar não apenas representa uma alternativa sustentável, mas também contribui diretamente para a diversificação da matriz energética e para a redução das emissões de carbono, questões de grande relevância no contexto atual [6].

No Brasil, que possui uma vasta extensão territorial e alta incidência solar, a energia solar tem sido promovida como uma solução viável e estratégica para o futuro energético do país. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) desempenha um papel fundamental na promoção dessa alternativa, estabelecendo regulamentações e incentivos para a instalação de sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar. Essas iniciativas contribuem para a expansão do setor e para o alcance das metas de sustentabilidade e redução de emissões, alinhando o Brasil com as tendências globais de transição energética e desenvolvimento sustentável [7].

A busca por soluções sustentáveis e a transição para fontes de energia renováveis têm sido reforçadas por estudos que demonstram a viabilidade econômica e os benefícios ambientais da energia solar em edificações residenciais e comerciais. Segundo Medeiros *et al.* (2014) [8], a utilização de sistemas de aquecimento solar, especialmente em regiões de alta incidência solar como o Brasil, reduz significativamente o consumo de energia elétrica residencial, aliviando a demanda nas redes de distribuição e diminuindo o uso de fontes fósseis. A adoção de sistemas solares de aquecimento, por exemplo, tem se mostrado eficiente em atender parte da demanda energética de aquecimento de água, especialmente em edifícios multifamiliares, onde a economia de energia e os benefícios ambientais são mais pronunciados [8].

O estudo de Milano *et al.* (2023) [5] destaca que o avanço tecnológico tem contribuído para a popularização e acessibilidade dos sistemas fotovoltaicos no Brasil. Esse

crescimento é impulsionado tanto pela alta disponibilidade de radiação solar quanto pelos incentivos financeiros e linhas de crédito oferecidas por instituições bancárias, que facilitam o acesso de residências unifamiliares e setores comerciais a essa tecnologia. O estudo mostrou que a implementação de sistemas fotovoltaicos em residências resulta em uma economia substancial nas despesas com eletricidade, com um período de *payback* inferior a cinco anos, dependendo da taxa de radiação local e do consumo de energia do usuário [5].

Cominato *et al.* (2023) [9] também apontam que o uso de sistemas de aquecimento solar em habitações de interesse social promove não apenas benefícios econômicos, mas também impacta positivamente a percepção de sustentabilidade entre os usuários. Em um estudo realizado em Joinville, SC, observou-se que as preocupações dos residentes com segurança e eficiência no uso de água quente refletem uma conscientização crescente sobre o impacto ambiental de seu consumo energético. Os pesquisadores identificaram que fatores socioeconômicos influenciam a aceitação e o uso eficiente desses sistemas, sugerindo que a implementação de tecnologias sustentáveis em áreas de baixa renda requer programas de educação ambiental para maximizar o potencial de economia energética e reduzir o consumo excessivo [9].

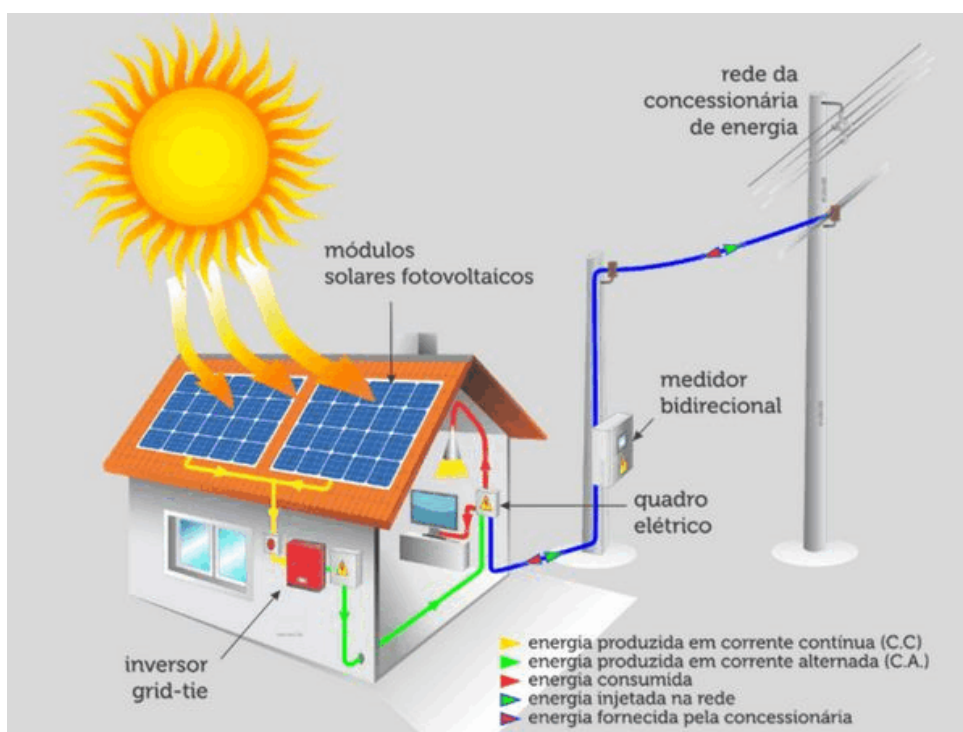
2.2 Energias Renováveis

A energia solar é derivada da radiação eletromagnética emitida pelo Sol, que ao atingir a Terra pode ser convertida em diversas formas úteis, como calor e eletricidade. Essa energia radiante, quando captada e aproveitada, torna-se uma solução sustentável e eficiente para diversos usos, sendo cada vez mais essencial diante da crescente escassez de combustíveis fósseis e da necessidade de mitigar as mudanças climáticas. A radiação solar abrange uma ampla gama de frequências, incluindo radiações ultravioleta, visível e infravermelha. A intensidade dessa radiação, porém, varia de acordo com fatores como latitude, hora do dia, estação do ano e condições atmosféricas, o que representa um desafio para a otimização dos sistemas de captação e aproveitamento da energia solar [10].

Os sistemas de energia solar podem ser divididos em duas principais tecnologias:

a fotovoltaica e a térmica. A primeira envolve a conversão direta da luz solar em eletricidade por meio das células fotovoltaicas. Essas células são dispositivos semi-condutores que, através do efeito fotovoltaico, convertem fótons em corrente elétrica. Quando a luz incide sobre uma célula fotovoltaica, ela libera elétrons, gerando uma corrente contínua (CC), que precisa ser convertida em corrente alternada (CA) para ser utilizada pela maioria dos aparelhos elétricos. Tal conversão é feita pelo inversor, componente essencial para a integração dos sistemas solares à rede elétrica [11], conforme Figura 2.1.

Figura 2.1: Funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: [12]

Já na segunda envolve os coletores solares, que são dispositivos desenvolvidos para capturar a radiação solar e transferir o calor absorvido para um fluido circulante, geralmente água, em sistemas de aquecimento solar de água. Esses coletores podem ser de diferentes tipos, como planos e tubulares a vácuo, cada um com características específicas. A água aquecida por esses coletores pode ser utilizada em diversas aplicações, incluindo aquecimento de água sanitária, piscinas e até sistemas de aquecimento de ambientes. Em muitas residências, o sistema de aquecimento solar de água proporciona uma economia significativa de energia elétrica e, consequentemente,

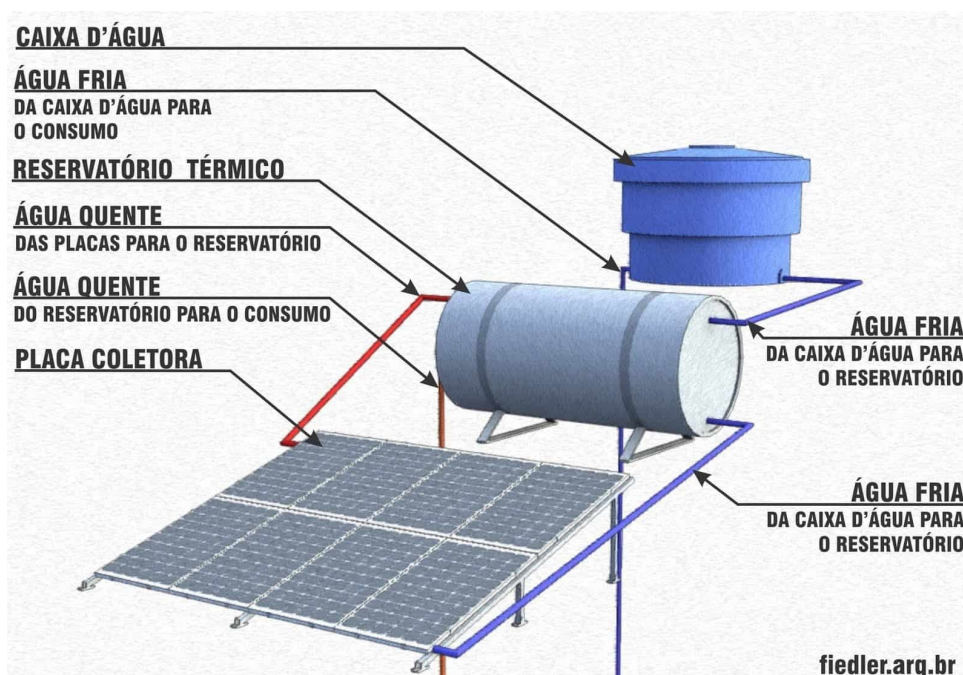
redução nas contas de energia [13].

Portanto, os sistemas de energia solar, tanto os fotovoltaicos quanto os de aquecimento solar, representam avanços importantes no uso de fontes renováveis, atendendo à crescente demanda por soluções sustentáveis e economicamente viáveis. A eficiência desses sistemas, no entanto, depende da correta instalação, manutenção e escolha dos componentes, sempre seguindo as normas e diretrizes técnicas vigentes, como as estabelecidas pela ANEEL e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2.2.1 Sistemas de Aquecimento Solar

O sistema de aquecimento solar de água é uma alternativa sustentável e eficiente para aquecer a água utilizada em residências e estabelecimentos comerciais, reduzindo o consumo de eletricidade proveniente de fontes convencionais. A operação do sistema depende da absorção da radiação solar pelos coletores, que aquecem o fluido térmico responsável pela transferência de calor para a água. Este sistema é composto principalmente por coletores solares, um reservatório térmico (ou boiler) e um circuito hidráulico que conecta esses componentes, conforme a Figura 2.2.

Figura 2.2: Componentes de um sistema de aquecimento solar



- **Coletores Solares:** Os coletores solares são dispositivos projetados para captar a radiação solar e convertê-la em calor. No Brasil, os coletores mais comuns são os coletores planos e os coletores tubulares a vácuo. Os coletores planos possuem uma placa absorvedora que aquece quando exposta ao sol, transferindo calor para a água que circula em tubulações conectadas a essa placa. Já os coletores tubulares a vácuo são mais eficientes em condições de baixa radiação solar, como em dias nublados ou durante o inverno, devido à sua estrutura que reduz a perda de calor. Essa eficiência se deve ao isolamento proporcionado pelo vácuo entre o tubo interno, onde circula o fluido, e o tubo externo, o que minimiza a dispersão térmica para o ambiente [9].
- **Reservatório Térmico (Boiler):** O reservatório térmico, ou boiler, é o componente responsável por armazenar a água aquecida pelos coletores solares, garantindo que o calor seja mantido por longos períodos. Este reservatório é geralmente isolado termicamente para reduzir as perdas de calor e, assim, conservar a temperatura da água por mais tempo. Internamente, ele possui camadas de materiais isolantes, como espuma de poliuretano, que minimizam a troca de calor com o ambiente externo. Em sistemas maiores ou em regiões onde a radiação solar pode não ser constante, é comum que o boiler conte com um sistema de aquecimento auxiliar, geralmente elétrico ou a gás, que entra em funcionamento quando a temperatura da água cai abaixo de um nível pré-determinado [8].
- **Circuito Hidráulico:** O sistema de aquecimento solar de água utiliza um circuito hidráulico que permite a circulação da água entre os coletores e o reservatório. Existem duas configurações principais para essa circulação: o sistema de termossifão e o sistema de circulação forçada. No sistema de termossifão, a água circula naturalmente devido à diferença de densidade entre a água quente e a água fria, sem a necessidade de uma bomba. Esse tipo de sistema é comum em residências de pequeno e médio porte e é mais econômico, mas depende de uma instalação adequada para funcionar corretamente, pois requer que o reservatório esteja localizado acima dos coletores. Já o sistema de circulação forçada utiliza uma bomba para mover o fluido térmico, permitindo maior flexibilidade na instalação e sendo ideal para sistemas de grande porte [13].

O princípio básico do sistema de aquecimento solar é a troca de calor entre o fluido aquecido nos coletores e a água fria do reservatório. Nos sistemas de circuito direto, a própria água que será utilizada é aquecida nos coletores. Já nos sistemas de circuito indireto, o fluido térmico, que circula no interior dos coletores, não entra em contato direto com a água consumida; em vez disso, transfere o calor para a água através de um trocador de calor no interior do boiler. Esse sistema é especialmente útil em regiões onde há risco de congelamento, pois o fluido térmico pode ser tratado para resistir a baixas temperaturas, garantindo a eficiência e a durabilidade do sistema [10].

A utilização de um sistema de aquecimento solar de água proporciona uma economia considerável de energia elétrica, especialmente em residências com alto consumo de água quente. Ao substituir o uso de chuveiros elétricos e aquecedores convencionais, o sistema solar não apenas reduz os custos na conta de energia, mas também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Essa tecnologia, ao depender de uma fonte de energia limpa e renovável, se alinha com as metas globais de sustentabilidade e é incentivada por programas governamentais que visam a transição para uma matriz energética mais verde [15].

O sistema de aquecimento solar de água, portanto, é uma solução eficaz para o uso residencial e comercial, aproveitando uma fonte de energia abundante e acessível no Brasil. Com a combinação de componentes como coletores solares, reservatório térmico e um circuito de circulação, essa tecnologia oferece uma alternativa sustentável que promove a economia de recursos naturais e a redução de custos energéticos. A implementação desse sistema, além de proporcionar benefícios econômicos diretos, aumenta a autonomia energética dos usuários e contribui para um futuro mais sustentável [16].

2.2.1.1 Vantagens e Desafios

Uma das principais vantagens dos sistemas de aquecimento solar de água é a economia de energia elétrica. A utilização da radiação solar como fonte de energia térmica para aquecimento de água reduz significativamente o consumo de eletricidade, especialmente em residências que dependem intensamente de chuveiros elétricos e aquecedores convencionais. Essa redução no consumo resulta em economia na conta

de energia e, em médio a longo prazo, o sistema de aquecimento solar tende a se pagar sozinho, tornando-se uma opção economicamente vantajosa. Estudos apontam que o *payback* de sistemas de aquecimento solar de água pode ser alcançado em poucos anos, dependendo da demanda de água quente e das condições climáticas locais [15].

Outro benefício relevante é a contribuição para a sustentabilidade e a preservação ambiental. Ao reduzir o uso de eletricidade, que muitas vezes é gerada a partir de combustíveis fósseis, os sistemas de aquecimento solar ajudam a diminuir as emissões de gases de efeito estufa e a pressão sobre a rede elétrica. Esse aspecto é especialmente importante no contexto atual, onde há uma demanda crescente por fontes de energia limpa e um compromisso global com a mitigação das mudanças climáticas. Em adição, a energia solar é renovável e inesgotável, tornando o aquecimento solar uma solução de longo prazo que não depende de recursos finitos, como petróleo e gás natural [10].

Os sistemas de aquecimento solar de água também proporcionam um aumento na autonomia energética dos usuários. Durante períodos de alta demanda ou falhas na rede elétrica, a presença de um sistema solar pode garantir o fornecimento de água quente sem interrupções. Esse benefício é especialmente útil em regiões onde o fornecimento de energia é instável ou onde o custo da eletricidade é elevado. Além disso, a instalação de um sistema de aquecimento solar valoriza o imóvel, tornando-o mais atrativo no mercado imobiliário, uma vez que as preocupações com a eficiência energética e sustentabilidade têm aumentado entre os consumidores [9].

No entanto, o sistema de aquecimento solar de água também apresenta alguns desafios que devem ser considerados antes de sua implementação. Uma das principais limitações é a dependência das condições climáticas. Em dias nublados e durante o inverno, quando a incidência solar é menor, a eficiência do sistema pode ser reduzida. Para mitigar esse problema, muitos sistemas solares são equipados com um sistema de aquecimento auxiliar, geralmente elétrico ou a gás, o que garante o fornecimento de água quente mesmo em dias com pouca insolação, mas aumenta o custo operacional e o consumo de energia [8].

Outro desafio é o custo inicial elevado de instalação, que inclui o preço dos coletores solares, do reservatório térmico e da mão de obra especializada. Embora o sistema

possa se pagar ao longo do tempo, o investimento inicial pode ser uma barreira para muitos consumidores. Em comparação com aquecedores convencionais, que são mais acessíveis em termos de custo inicial, o sistema solar requer um planejamento financeiro para sua implementação. No entanto, em muitos casos, há incentivos governamentais e linhas de financiamento específicas que podem ajudar a reduzir esses custos iniciais [15].

Além disso, a necessidade de manutenção regular é outro ponto que deve ser considerado. Apesar de os sistemas de aquecimento solar serem projetados para ter uma longa vida útil, a manutenção periódica é fundamental para garantir seu desempenho. Isso inclui a limpeza dos coletores solares para remover poeira e detritos que possam bloquear a radiação solar, além da verificação das conexões hidráulicas e do reservatório térmico. A falta de manutenção pode reduzir a eficiência do sistema e diminuir a economia de energia, o que compromete o retorno sobre o investimento ao longo do tempo [17].

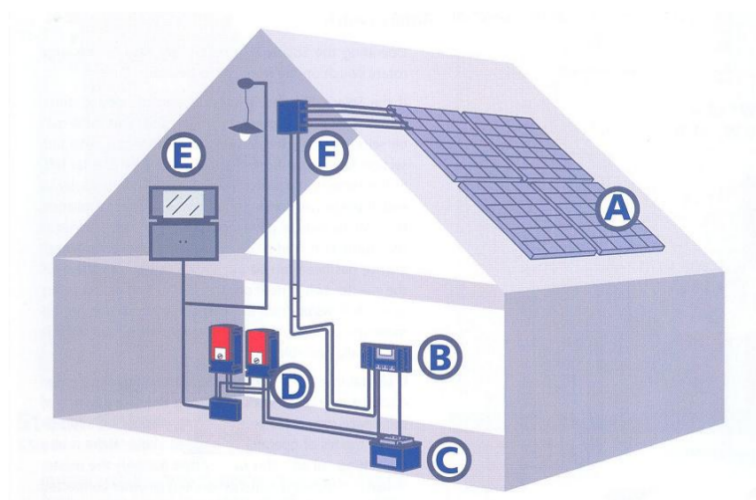
Em resumo, os sistemas de aquecimento solar de água oferecem uma solução eficaz e sustentável para a geração de água quente, com benefícios claros em termos de economia de energia e redução do impacto ambiental. No entanto, as desvantagens, como o custo inicial elevado e a dependência do clima, devem ser avaliadas cuidadosamente pelos consumidores. Com um planejamento adequado e a consideração desses fatores, o sistema de aquecimento solar pode ser uma excelente alternativa para residências e estabelecimentos comerciais que buscam um futuro mais sustentável.

2.2.2 Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar funciona a partir da conversão da radiação emitida pelo Sol em eletricidade ou calor, dependendo da tecnologia utilizada. Os dois principais tipos de sistemas de energia solar são os sistemas fotovoltaicos, que convertem a luz solar em eletricidade, e os sistemas térmicos, que utilizam o calor do Sol para aquecer a água. Ambos os sistemas utilizam componentes específicos para captar e converter a radiação solar em energia utilizável, proporcionando uma alternativa sustentável e eficiente para o consumo energético em residências, comércios e indústrias. Na Figura 2.3, serão listados os principais componentes dos sistemas de energia solar

fotovoltaica.

Figura 2.3: Esquema de um sistema fotovoltaico isolado



Fonte: [18]

A) Células Fotovoltaicas e Módulos Fotovoltaicos: Nos sistemas fotovoltaicos, o componente essencial é a célula fotovoltaica, que é um dispositivo semicondutor capaz de converter diretamente a luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Quando a radiação solar incide sobre a célula, os fótons (partículas de luz) são absorvidos, liberando elétrons e gerando CC. Essas células são agrupadas em módulos fotovoltaicos, também conhecidos como painéis solares, que amplificam a quantidade de eletricidade gerada ao conectar várias células em série e paralelo. Cada módulo fotovoltaico é encapsulado em uma estrutura de vidro temperado, o que oferece proteção contra as intempéries e prolonga sua vida útil, tornando-o adequado para instalação em ambientes externos [16]. A instalação dos módulos fotovoltaicos requer uma estrutura de montagem robusta que suporte os painéis e os posicione em um ângulo e direção ótimos para maximizar a captação da radiação solar. No Hemisfério Sul, por exemplo, os módulos são geralmente orientados para o norte, com uma inclinação que depende da latitude do local de instalação. Essa orientação permite que o sistema receba a máxima quantidade de radiação solar ao longo do dia, aumentando a eficiência e a produção de eletricidade. A estrutura de montagem é projetada para resistir às condições climáticas, como vento forte e chuva, garantindo a segurança e a durabilidade do sistema [8].

- B) Controladores de Carga:** Em sistemas de energia solar que operam de forma independente da rede elétrica, conhecidos como sistemas *off-grid*, é comum o uso de controladores de carga e baterias. O controlador de carga é um dispositivo que regula a entrada e saída de energia, protegendo o sistema contra sobrecargas e evitando que as baterias descarreguem completamente [5].
- C) Baterias:** As baterias armazenam a eletricidade gerada durante o dia para que possa ser utilizada à noite ou em dias nublados. Essa configuração é particularmente útil em regiões isoladas, onde o acesso à rede elétrica é limitado ou inexistente, garantindo um fornecimento contínuo de energia [5].
- D) Inversores:** A corrente gerada pelos módulos fotovoltaicos é em CC, que não é compatível com a maioria dos aparelhos elétricos e sistemas de distribuição de energia, que utilizam CA. Para converter essa corrente, o sistema utiliza um inversor, que é um dispositivo eletrônico responsável por transformar a corrente contínua em corrente alternada. Existem diferentes tipos de inversores, como os *on-grid*, que operam conectados à rede elétrica, permitindo que o excedente de energia gerada seja injetado na rede; os *off-grid*, que funcionam em locais sem acesso à rede elétrica; e os inversores híbridos, que combinam as funcionalidades de ambos e permitem a utilização de baterias para armazenamento de energia [17].
- E) Cargas em CA:** As cargas em CA utilizadas em âmbito residencial são dispositivos que operam com a variação cíclica da corrente elétrica, característica dos sistemas elétricos domésticos. Elas podem ser classificadas em resistivas, como chuveiros elétricos e lâmpadas incandescentes, que convertem energia elétrica em calor; indutivas, como geladeiras, ventiladores e máquinas de lavar, que utilizam motores elétricos; e capacitivas, presentes em alguns equipamentos eletrônicos e sistemas de iluminação com correção de fator de potência. O uso eficiente dessas cargas é fundamental para a redução do consumo de energia e para a sustentabilidade no setor residencial. [18]
- F) Medidor Bidirecional e Integração com a Rede Elétrica:** Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*on-grid*), é necessário um medidor bidirecional, que é um dispositivo capaz de medir tanto a energia consumida da rede

quanto a energia excedente injetada na rede pelo sistema fotovoltaico. Esse medidor é essencial para o sistema de compensação de créditos de energia, permitindo que os consumidores “acumulem” créditos de energia quando o sistema gera mais eletricidade do que é consumido. Esses créditos podem ser utilizados posteriormente, como em períodos noturnos ou dias com baixa incidência solar, contribuindo para a economia na conta de luz e incentivando a utilização de fontes de energia renováveis [6].

Em resumo, os sistemas de energia solar, tanto fotovoltaicos quanto térmicos, funcionam através da conversão da radiação solar em formas de energia utilizáveis, com componentes como módulos fotovoltaicos, inversores e coletores solares desempenhando papéis fundamentais. Com um entendimento claro do funcionamento e dos componentes desses sistemas, é possível aproveitar ao máximo os benefícios da energia solar, contribuindo para um futuro mais sustentável e econômico.

2.2.2.1 Vantagens e Desafios

Uma das principais vantagens dos sistemas de energia solar é a sustentabilidade ambiental. A energia solar é uma fonte de energia renovável e limpa, que não emite gases de efeito estufa durante seu processo de geração. Diferentemente das fontes fósseis, como petróleo e carvão, a energia solar contribui para a redução do impacto ambiental, ajudando a mitigar as mudanças climáticas e promovendo uma transição para uma matriz energética mais sustentável. No Brasil, onde a incidência solar é alta durante a maior parte do ano, a utilização de energia solar fotovoltaica e térmica se torna uma escolha estratégica para reduzir as emissões de carbono e diminuir a dependência de fontes de energia não-renováveis [5].

Outro benefício significativo é a economia financeira a longo prazo. Embora o custo inicial de instalação de sistemas solares possa ser elevado, o sistema pode se pagar ao longo do tempo por meio da economia nas contas de energia. Em residências e comércios, a energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos permite reduzir ou até eliminar a necessidade de energia da rede elétrica, especialmente em locais com tarifas energéticas altas. Com a compensação de energia, disponível em sistemas conectados à rede (*on-grid*), o excedente de eletricidade gerado pode ser “devolvido” à

rede, gerando créditos que podem ser utilizados para reduzir o custo da eletricidade em períodos de baixa geração solar, como à noite ou em dias nublados [10].

Além disso, os sistemas de energia solar contribuem para a independência energética. Em regiões remotas ou com acesso limitado à rede elétrica, os sistemas solares *off-grid* permitem que usuários gerem sua própria eletricidade de forma autônoma, sem depender de fontes externas. Essa independência é especialmente vantajosa para locais onde o custo de expansão da rede elétrica seria proibitivo ou inviável. Em caso de quedas ou interrupções de energia, um sistema solar bem dimensionado e com baterias de armazenamento pode garantir a continuidade do fornecimento de eletricidade, aumentando a resiliência energética [8].

Apesar de suas vantagens, os sistemas de energia solar apresentam algumas limitações que devem ser levadas em consideração. Um dos principais desafios é a dependência das condições climáticas e a variabilidade da geração de energia solar. A geração de eletricidade por sistemas fotovoltaicos e o aquecimento de água em sistemas solares térmicos são diretamente influenciados pela incidência solar. Em dias nublados ou chuvosos, a eficiência dos sistemas pode ser reduzida, o que exige a presença de sistemas auxiliares, como geradores ou fontes de energia convencionais, para garantir o fornecimento constante de energia [16].

O custo inicial de instalação é outro aspecto que pode ser considerado um desafio, especialmente para consumidores de baixa renda. Embora os sistemas solares possam resultar em economia financeira ao longo do tempo, o investimento inicial em módulos fotovoltaicos, coletores solares, inversores e estrutura de montagem pode ser alto. Além disso, a instalação de um sistema fotovoltaico exige mão de obra especializada, o que eleva o custo de implementação. Mesmo com incentivos e financiamentos, o custo inicial ainda é um fator que dificulta a adoção massiva da energia solar, embora esse cenário tenha melhorado nos últimos anos com a queda dos preços dos módulos e o aumento das opções de financiamento [15].

Além disso, a necessidade de manutenção regular é outro desafio que deve ser considerado. Os módulos fotovoltaicos, assim como os coletores solares precisam ser limpos regularmente para garantir a máxima eficiência na captação da radiação solar. Em locais com alto acúmulo de poeira, poluição ou sujeira, a manutenção

deve ser realizada com maior frequência, o que pode gerar custos adicionais. A manutenção também inclui a verificação dos componentes elétricos e hidráulicos do sistema, especialmente em sistemas *off-grid* que utilizam baterias de armazenamento, que requerem atenção e cuidados adicionais para prolongar sua vida útil [17].

Os sistemas de energia solar apresentam muitas vantagens, como a redução do consumo de eletricidade da rede, diminuição das emissões de carbono e independência energética em locais remotos. No entanto, também existem desafios, como a variabilidade da radiação solar devido às condições climáticas e o custo inicial de instalação. A eficiência dos sistemas solares depende de uma instalação adequada e de uma manutenção regular para garantir que os módulos estejam limpos e livres de obstruções, maximizando sua captação de energia ao longo do tempo [10].

Em suma, os sistemas de energia solar fotovoltaica apresentam uma série de vantagens, como a sustentabilidade ambiental, economia financeira, redução do consumo de eletricidade da rede, diminuição das emissões de carbono e independência energética, que os tornam uma alternativa atraente e viável para residências, comércios e indústrias [10]. No entanto existem desafios, como o alto custo inicial, a variabilidade da radiação solar devido às condições climáticas, o custo inicial da instalação e a necessidade de manutenção regular, que são fatores que devem ser considerados no processo de decisão. Com o avanço das tecnologias e a implementação de políticas de incentivo, espera-se que os sistemas de energia solar se tornem cada vez mais acessíveis e amplamente adotados, contribuindo para um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente.

2.3 Tecnologias Atuais

2.3.1 Avanços na Tecnologia Fotovoltaica

Os avanços na tecnologia fotovoltaica têm sido notáveis ao longo dos anos, refletindo um progresso significativo em termos de eficiência, durabilidade e custo-benefício. Esses avanços foram impulsionados principalmente pela necessidade crescente de fontes de energia limpa e renovável, uma vez que a demanda energética mundial

continua a aumentar e a busca por alternativas sustentáveis se torna mais urgente [9]. Dentre as inovações mais destacadas, a introdução de novos materiais e tecnologias têm ganhado relevância e reconhecimento na comunidade científica e no setor industrial, como as células solares de perovskita, as células orgânicas e as células solares sensibilizadas por corante (Dye Sensitized Solar Cells - DSSC) [11].

As células solares de perovskita, por exemplo, surgiram como uma das maiores promessas no campo da energia fotovoltaica devido à sua alta eficiência e ao potencial para redução de custos. A perovskita é um material de estrutura cristalina que permite a criação de células solares com uma eficiência de conversão de energia comparável às células de silício tradicionais, mas com um processo de fabricação mais simples e econômico. Estudos mostram que, nos últimos anos, a produção científica sobre células de perovskita aumentou significativamente, refletindo o crescente interesse por essa tecnologia devido ao seu potencial para transformar o mercado fotovoltaico [11].

Outro avanço significativo é a tecnologia de células solares orgânicas, que utiliza materiais orgânicos para capturar a energia solar e convertê-la em eletricidade. Essas células oferecem vantagens como leveza, flexibilidade e baixo custo, tornando-as ideais para aplicações em superfícies não convencionais, como janelas e fachadas de edifícios. Contudo, a eficiência das células solares orgânicas ainda é inferior à das células de silício e de perovskita, o que representa um desafio contínuo para a pesquisa nessa área. A simplicidade do processo de fabricação e o potencial para produção em larga escala tornam essas células promissoras para o futuro do setor [11].

As DSSC representam outro campo de inovação, embora tenham enfrentado desafios em termos de estabilidade e eficiência a longo prazo. Essa tecnologia utiliza um corante para absorver a luz solar e gerar elétrons e é conhecida por sua capacidade de funcionar bem em condições de baixa luminosidade, como em dias nublados. No entanto, o declínio no interesse científico por essa tecnologia nos últimos anos se deve, em parte, às dificuldades de superar as limitações atuais, como a baixa eficiência e o alto custo de alguns materiais utilizados. Apesar disso, pesquisas continuam em busca de materiais alternativos que possam melhorar o desempenho das DSSC [11].

Além desses desenvolvimentos em materiais, a tecnologia de dupla face e os módulos bifaciais são avanços recentes que têm atraído atenção no mercado de energia

solar. Esses módulos são capazes de captar luz em ambas as faces, aumentando a eficiência total do sistema. Eles são especialmente úteis em áreas com alta refletividade do solo, onde a luz solar refletida pode ser aproveitada pela face traseira do módulo, resultando em um aumento de até 30% na geração de energia [9].

Esses avanços nas tecnologias fotovoltaicas representam um passo importante para a popularização da energia solar em todo o mundo, ao oferecer alternativas mais acessíveis e eficientes. A continuidade da pesquisa e desenvolvimento dessas tecnologias é essencial para aumentar a competitividade da energia solar e garantir que ela se torne uma fonte de energia viável e predominante, atendendo à crescente demanda energética de forma sustentável.

2.3.2 Avanços na Tecnologia Solar Térmica

A tecnologia solar térmica tem evoluído significativamente ao longo dos anos, especialmente no contexto da busca por fontes de energia renováveis e sustentáveis. No Brasil, devido à alta incidência solar, os sistemas de aquecimento solar de água, como coletores solares, têm ganhado espaço, tanto em residências quanto em aplicações comerciais e industriais. Estes sistemas têm se beneficiado de políticas de incentivo e da constante inovação tecnológica, visando aumentar sua eficiência térmica e competitividade em comparação com fontes convencionais de energia [19].

Um dos principais avanços na tecnologia solar térmica envolve o aprimoramento dos coletores solares, que são responsáveis por absorver e transferir o calor da radiação solar para um fluido, geralmente água. Estudos mostram que aspectos como a espessura da placa absorvedora e a quantidade de tubos têm impacto direto na eficiência térmica dos coletores. A espessura da placa influencia a condução de calor para a tubulação, enquanto um maior número de tubos permite uma melhor transferência de calor, aumentando a eficiência do sistema [20]. Esses parâmetros, quando adequadamente configurados, potencializam a capacidade dos coletores em capturar e utilizar a energia solar, tornando-os mais eficientes e atrativos economicamente.

Além disso, os avanços em materiais e métodos de construção dos coletores têm reduzido as perdas térmicas, um dos grandes desafios dessa tecnologia. A

incorporação de isolantes térmicos de alta performance e a utilização de materiais com maior condutividade para os tubos e placas absorvedoras aumentam o aproveitamento da energia solar capturada e minimizam a perda de calor para o ambiente. Estes avanços são essenciais para que a tecnologia solar térmica seja uma alternativa viável e sustentável, especialmente em regiões de alta demanda energética [20].

Outro aspecto que impulsionou a evolução dos sistemas solares térmicos é a introdução de programas de certificação e etiquetagem, que promovem a padronização e qualidade dos equipamentos. Esse movimento garante que os produtos no mercado atendam a critérios rigorosos de desempenho e segurança, tornando-se mais confiáveis para os consumidores e para o setor energético como um todo. Em países como a Alemanha, que lidera o uso de aquecedores solares na Europa, políticas de subsídio têm incentivado o uso de sistemas solares térmicos, evidenciando o papel da regulação na popularização e evolução dessa tecnologia [19].

Em resumo, os avanços na tecnologia solar térmica no Brasil e no mundo refletem o esforço conjunto de inovação técnica e políticas públicas que incentivam o uso de energias renováveis. Com esses avanços, a tecnologia solar térmica tem se tornado uma alternativa mais eficiente e economicamente viável, contribuindo significativamente para a redução do consumo de combustíveis fósseis e para o desenvolvimento de uma matriz energética mais limpa e sustentável.

2.4 Tendências e Desafios na Energia Solar Fotovoltaica e Térmica

As tecnologias de energia solar, tanto fotovoltaica quanto térmica, têm passado por um processo contínuo de inovação, com tendências que indicam um futuro promissor, mas também enfrentam desafios que precisam ser superados para que a adoção dessas fontes renováveis se torne ainda mais ampla e eficaz. Essas tendências e desafios não só refletem o avanço tecnológico, mas também respondem a uma crescente demanda por soluções sustentáveis em um cenário de transição energética global.

Uma das principais tendências no setor de energia solar fotovoltaica é o desenvolvimento de novos materiais que aumentem a eficiência e reduzam os custos de produção. Um exemplo disso são as células solares de perovskita, que têm mostrado grande potencial para substituir ou complementar as tradicionais células de silício. Esse material permite alcançar uma maior eficiência de conversão de energia e pode ser produzido a um custo menor. A combinação de células de perovskita com células de silício em uma configuração de célula tandem promete elevar ainda mais a eficiência dos painéis solares, aproximando a tecnologia fotovoltaica de uma viabilidade econômica que competirá diretamente com as fontes de energia convencionais [11].

No campo da energia solar térmica, uma tendência relevante é o aprimoramento dos coletores solares. O uso de materiais mais eficientes, como revestimentos seletivos para aumentar a absorção de calor e minimizar as perdas térmicas, é uma área de grande interesse. Além disso, coletores solares tubulares a vácuo têm ganhado destaque devido à sua alta eficiência, mesmo em condições de baixa radiação solar, o que os torna mais versáteis em diferentes condições climáticas [20]. Esses avanços em tecnologia solar térmica têm o potencial de expandir o uso de sistemas de aquecimento solar de água em regiões de climas variados, promovendo a utilização da energia solar como uma fonte viável e confiável de calor [19].

Outra tendência significativa é a integração de sistemas híbridos, que combinam tecnologias fotovoltaicas e térmicas para otimizar o uso da radiação solar. Esses sistemas híbridos são capazes de gerar eletricidade e calor simultaneamente, aproveitando melhor a energia solar disponível e reduzindo a necessidade de múltiplas instalações. Essa abordagem integrada é especialmente promissora para edifícios comerciais e industriais, onde há uma demanda simultânea por eletricidade e aquecimento [19].

Apesar das promissoras tendências, os sistemas de energia solar enfrentam diversos desafios. Um dos principais entraves é a variabilidade da energia solar devido a fatores climáticos. A eficiência de ambos os sistemas fotovoltaicos e térmicos pode ser drasticamente reduzida em dias nublados ou em períodos de menor incidência solar, como no inverno [19]. Essa variabilidade cria a necessidade de sistemas de armazenamento de energia, como baterias em sistemas fotovoltaicos, para garantir o fornecimento de energia contínua. No entanto, o custo elevado das tecnologias de

armazenamento ainda representa um obstáculo para a adoção em larga escala de sistemas solares independentes da rede elétrica [11].

Outro desafio importante é o custo inicial de instalação dos sistemas solares, que, embora venha diminuindo ao longo dos anos, ainda é considerado elevado para muitos consumidores residenciais e pequenos negócios. A instalação de um sistema fotovoltaico ou de aquecimento solar de água exige um investimento significativo, especialmente quando se considera a necessidade de componentes como inversores, coletores e estrutura de montagem, além da mão de obra especializada para a instalação [20]. Sem incentivos governamentais, subsídios ou linhas de crédito acessíveis, a expansão desses sistemas pode ser limitada a segmentos de maior poder aquisitivo [19].

A durabilidade e a manutenção dos sistemas solares também representam desafios. Ambos os sistemas fotovoltaicos e térmicos precisam de manutenção regular para garantir que os coletores e os módulos estejam limpos e livres de obstruções, maximizando a captação de energia solar [19]. Além disso, a degradação dos materiais ao longo do tempo, especialmente em condições climáticas adversas, pode reduzir a eficiência dos sistemas, exigindo reparos ou substituição de componentes. Esse aspecto impacta diretamente o retorno sobre o investimento e pode desincentivar potenciais usuários [11].

Por fim, o desenvolvimento de políticas públicas consistentes e o alinhamento regulatório são desafios que afetam o setor de energia solar. A falta de políticas de incentivo contínuas e a ausência de um marco regulatório que ofereça segurança para investimentos de longo prazo podem limitar o crescimento do setor [19]. A adoção de padrões técnicos e de certificação, que assegurem a qualidade e a segurança dos equipamentos solares, é essencial para a consolidação da energia solar no Brasil e para que os consumidores tenham confiança na adoção dessas tecnologias [20].

As tendências e os desafios no campo da energia solar fotovoltaica e térmica refletem o avanço e a complexidade do setor em um cenário de crescente demanda por sustentabilidade e independência energética. A inovação tecnológica, como as células de perovskita, sistemas híbridos e coletores de alta eficiência, demonstra que a energia solar continua a evoluir e se tornar mais acessível e eficiente. Contudo, os desafios de custo, variabilidade climática e políticas públicas ainda precisam ser superados para

que a energia solar possa realizar todo o seu potencial no Brasil e no mundo.

2.5 Análise de Viabilidade Econômica, Ambiental e Sustentável

A análise de viabilidade econômica, ambiental e sustentável de sistemas de energia solar é fundamental para promover uma transição energética consciente e eficiente. A energia solar, nas modalidades de aquecimento solar de água e geração fotovoltaica, representa uma alternativa cada vez mais viável às fontes convencionais de energia, especialmente em um cenário global onde a sustentabilidade é uma prioridade. Esse capítulo visa explorar cada um desses aspectos em profundidade, oferecendo uma compreensão mais detalhada dos benefícios e desafios associados a esses sistemas. O crescimento da tecnologia solar é impulsionado não só pela economia gerada, mas também pela necessidade de reduzir as emissões de carbono e preservar o meio ambiente [11].

Ao longo das últimas décadas, a viabilidade econômica da energia solar tem se consolidado, em parte devido aos avanços tecnológicos que reduziram os custos de produção e instalação dos sistemas. O uso de novos materiais e métodos de fabricação tem permitido que tanto os sistemas fotovoltaicos quanto os de aquecimento solar se tornem cada vez mais acessíveis. Estudos, como o de Maidana (2017) [10], demonstram que o sistema de aquecimento solar de água proporciona uma economia significativa para os consumidores, ao reduzir o consumo de energia elétrica para aquecimento, geralmente uma das principais despesas energéticas em residências [10].

Além da economia direta, a análise de viabilidade ambiental desses sistemas reforça sua importância para um desenvolvimento sustentável. A energia solar não emite gases poluentes durante sua operação, o que é um grande avanço comparado aos combustíveis fósseis [10]. Com o incentivo de políticas públicas e regulamentações, como destacado em diversos estudos, a adoção de tecnologias solares contribui para uma matriz energética mais limpa e reduz a dependência de recursos finitos, como o carvão e o petróleo [11].

Por fim, o aspecto sustentável desses sistemas vai além da redução de emissões; trata-se de uma mudança no modelo de consumo energético. A utilização da energia solar promove uma conscientização ambiental e demonstra um compromisso com as futuras gerações. Ao longo deste capítulo, cada um desses aspectos será explorado, considerando não apenas o retorno econômico, mas também os impactos ambientais e o papel dos sistemas solares na promoção de uma sociedade mais sustentável e responsável.

2.5.1 Viabilidade Econômica

A análise econômica de sistemas de energia solar envolve uma avaliação dos custos iniciais, das economias geradas ao longo do tempo e do retorno sobre o investimento. O custo inicial dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar de água pode representar um obstáculo para muitos consumidores. No entanto, os avanços tecnológicos e a disponibilidade de incentivos fiscais têm ajudado a reduzir esses custos. O custo de instalação tem se tornado cada vez mais competitivo, especialmente quando se considera a economia gerada nas contas de energia ao longo da vida útil do sistema [10].

Além do custo inicial, a economia mensal gerada pelos sistemas solares é um dos principais atrativos econômicos. O sistema de aquecimento solar de água, por exemplo, reduz significativamente o consumo de eletricidade destinada ao aquecimento, o que é uma das principais despesas em residências. Já os sistemas fotovoltaicos permitem que a energia solar seja convertida em eletricidade para uso doméstico, reduzindo ou até eliminando a dependência da rede elétrica. Estudos indicam que a economia anual pode ser significativa, tornando esses sistemas financeiramente viáveis para residências e pequenas empresas [11].

Outro fator importante na análise de viabilidade econômica é o tempo de retorno sobre o investimento, ou *payback*. O *payback* desses sistemas varia dependendo do tamanho da instalação, da eficiência do sistema e da quantidade de radiação solar disponível na região. O *payback* dos sistemas fotovoltaicos tem diminuído com o tempo, principalmente em regiões de alta incidência solar. Em média, o retorno pode ser alcançado entre 5 e 8 anos, o que representa uma vantagem significativa frente ao

aumento das tarifas de eletricidade [11].

Por fim, a viabilidade econômica deve ser comparada entre os sistemas fotovoltaico e de aquecimento solar para identificar qual solução oferece maior retorno em cada situação. Enquanto o sistema fotovoltaico apresenta um potencial de economia direta na conta de luz, o sistema de aquecimento solar é mais acessível e proporciona uma economia significativa no aquecimento de água. Essa comparação é essencial para que os consumidores façam escolhas informadas e maximizem o retorno sobre seu investimento, considerando as características de cada sistema e as necessidades específicas de consumo.

2.5.2 Viabilidade Ambiental

A viabilidade ambiental dos sistemas solares é um dos principais motivos para a crescente adoção dessas tecnologias. A energia solar, tanto fotovoltaica quanto térmica, gera energia sem emitir gases de efeito estufa, contribuindo diretamente para a mitigação das mudanças climáticas. Conforme apontado em estudos de Maidana (2017) [10] e Braga et al. (2024) [11], a substituição de fontes de energia convencionais por sistemas solares reduz significativamente as emissões de CO_2 [11], beneficiando não apenas o meio ambiente local, mas também o global [10].

Além da redução de emissões, a energia solar minimiza o impacto ambiental ao reduzir a extração e o consumo de recursos naturais não renováveis, como carvão e petróleo. Os sistemas de aquecimento solar de água, por exemplo, oferecem uma alternativa sustentável ao aquecimento elétrico, que muitas vezes utiliza fontes fósseis. Dessa forma, os sistemas solares ajudam a preservar os recursos naturais e promovem um uso mais consciente da energia, alinhado com os objetivos globais de sustentabilidade [10].

Outro aspecto relevante na análise ambiental é o impacto do ciclo de vida dos equipamentos, desde a fabricação até o descarte. Embora a produção de painéis solares e coletores envolva o consumo de energia e a emissão de poluentes, essa desvantagem inicial é amplamente compensada pela ausência de emissões durante a operação do sistema. Além disso, avanços na reciclagem e na reutilização de

componentes estão sendo desenvolvidos para minimizar os impactos do descarte, especialmente em países que possuem políticas voltadas para a economia circular [11].

Por fim, a análise ambiental deve incluir o potencial dos sistemas solares para reduzir a demanda de energia da rede elétrica, especialmente em horários de pico. Isso alivia a pressão sobre as usinas de geração de energia convencionais e contribui para a estabilidade da rede elétrica, evitando apagões e reduzindo a necessidade de novas construções de infraestrutura energética. Portanto, os sistemas solares não apenas beneficiam o meio ambiente diretamente, mas também melhoram a eficiência energética geral.

2.5.3 Viabilidade Sustentável

A sustentabilidade dos sistemas de energia solar se reflete em seu alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente o ODS 7, que visa garantir o acesso a energia limpa e acessível para todos. A energia solar oferece uma solução viável para atender a essa meta, especialmente em regiões de alta radiação solar, como o Brasil [10]. Ao reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis, esses sistemas contribuem para um modelo de desenvolvimento mais sustentável e justo [11].

Além de beneficiar o ambiente, a energia solar promove a conscientização ambiental e o engajamento da sociedade em práticas sustentáveis. A instalação de sistemas solares, tanto fotovoltaicos quanto de aquecimento de água, demonstra um compromisso com a sustentabilidade e incentiva outros a adotar práticas semelhantes. A utilização de energia solar em residências e empresas atua como um modelo de responsabilidade ambiental para a comunidade, gerando um impacto positivo na sociedade como um todo [11].

As políticas públicas e incentivos são essenciais para tornar esses sistemas mais acessíveis e promover sua adoção em larga escala. Programas de incentivo, como subsídios e créditos de energia, ajudam a reduzir o custo inicial de instalação e tornam os sistemas solares economicamente viáveis para uma faixa maior da população. O papel do governo é crucial para fomentar a transição para uma matriz energética mais

sustentável e assegurar que a energia solar se torne uma alternativa competitiva e acessível [10].

Por último, a sustentabilidade dos sistemas solares também está ligada à sua durabilidade e baixa necessidade de manutenção. Esses sistemas têm uma vida útil longa e exigem pouca manutenção, o que reduz o impacto ambiental ao longo do tempo e garante uma fonte de energia contínua e confiável. Essa durabilidade faz da energia solar uma escolha sustentável para o futuro, alinhada com os princípios de economia circular e redução de desperdícios.

Capítulo 3

Normas e Regulamentações vigentes

A energia solar, em suas diferentes formas de aplicação, vem se consolidando como uma das principais alternativas sustentáveis para o setor energético global. De acordo com estudos, a energia solar oferece uma fonte limpa e renovável, com crescente adesão no Brasil e no mundo [21]. Contudo, para que essa tecnologia continue a se expandir de maneira segura e eficiente, torna-se indispensável a adoção de um arcabouço normativo robusto. As normas técnicas desempenham um papel essencial ao estabelecer diretrizes que visam à segurança, à qualidade e à durabilidade dos sistemas solares, tanto fotovoltaicos quanto de aquecimento solar de água.

As normas regulamentadoras estabelecem orientações claras para o planejamento, a instalação e a manutenção dos sistemas solares, assegurando que procedimentos sejam realizados dentro dos mais altos padrões de qualidade. O cumprimento dessas normas previne acidentes, aumenta a vida útil dos equipamentos e garante o funcionamento adequado dos sistemas [22]. Entre as principais ameaças associadas a instalações irregulares estão sobrecargas, curtos-circuitos, vazamentos e incêndios, riscos que podem comprometer a segurança dos usuários e dos profissionais envolvidos na operação e manutenção dos sistemas.

A correta aplicação das normas também é fundamental para a padronização dos sistemas solares e para a segurança tanto dos consumidores quanto dos profissionais do setor. Para sistemas fotovoltaicos, por exemplo, a observância de normas como a NBR 16690, que rege os sistemas de energia fotovoltaica, é vital para garantir que o sistema opere dentro das especificações elétricas e mecânicas adequadas, evitando

problemas como sobrecarga nos cabos e falhas de integração à rede elétrica [23]. Adicionalmente, a NBR 15569 [24], voltada para sistemas de aquecimento solar de água, e a NBR 5410 [25], que regulamenta instalações elétricas de baixa tensão, asseguram a conformidade técnica dos componentes e proteções dos sistemas, promovendo a segurança em todas as etapas do processo, desde o planejamento até a operação.

Por outro lado, o descumprimento das normas pode acarretar falhas graves no desempenho dos sistemas. Erros como o mau dimensionamento de cabos, proteção insuficiente contra surtos e descargas atmosféricas, ou até mesmo a instalação incorreta das estruturas de suporte, podem comprometer a segurança e reduzir drasticamente a eficiência dos sistemas solares. Sistemas fora de conformidade não apenas apresentam maior risco de falhas operacionais e danos materiais, mas também tendem a apresentar baixo rendimento, afetando diretamente o retorno sobre o investimento do consumidor. Portanto, adotar rigorosamente normas como a NBR 16690, NBR 15569 e NBR 5410 é imprescindível para garantir a máxima eficiência energética, aumentar a longevidade dos equipamentos e assegurar a segurança de todos os envolvidos [18].

3.1 Principais Normas Técnicas para Sistemas Solares

A instalação e implementação de sistemas solares no Brasil seguem rigorosamente um conjunto de normas técnicas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que desempenha um papel crucial na padronização, segurança e eficiência dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar de água. Essas normas garantem que o sistema funcione de maneira adequada, protegendo a integridade dos equipamentos, assegurando a durabilidade das instalações e promovendo a segurança de todos os envolvidos, tanto profissionais da instalação quanto consumidores finais. O cumprimento dessas normas é vital para que os sistemas solares sejam eficientes e seguros, além de se integrarem corretamente às redes de distribuição de energia elétrica [2].

Além da segurança, as normas técnicas estabelecem procedimentos que garantem a otimização da eficiência energética dos sistemas solares, resultando em maior retorno sobre o investimento. A correta observância das normas de instalação elétrica e de

segurança previne falhas precoces e acidentes, contribuindo para a longevidade e o desempenho ideal dos sistemas. Dessa forma, o cumprimento das normas técnicas não só protege o investimento inicial, mas também assegura que os sistemas solares sigam padrões internacionais de qualidade e segurança, facilitando a integração do Brasil no mercado global de energias renováveis. A aplicação das normas da ABNT, como a NBR 16690 para instalações fotovoltaicas, e a NBR 15569 para sistemas de aquecimento solar, são fundamentais para a conformidade regulatória e o sucesso das instalações [10].

Portanto, ao seguir as diretrizes das normas, os projetos de sistemas solares não só garantem a eficiência energética e a segurança, como também se tornam mais viáveis economicamente no longo prazo. Normas como a NBR 5410, que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão, também têm impacto direto na qualidade e no funcionamento seguro dos sistemas solares, tanto em ambientes residenciais quanto industriais. Ao seguir essas normas, o Brasil pode se destacar ainda mais no setor de energia renovável, com sistemas que atendem aos mais altos padrões de qualidade e sustentabilidade.

A seguir serão detalhados os principais pontos das normas regulamentadoras enumeradas na Tabela 3.1.

Norma	Descrição
NBR 16690	Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos — Requisitos de Projeto
NBR 15569	Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Requisitos de projeto e instalação
NBR 5410	Instalações Elétricas de Baixa Tensão
NR 10	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
NBR 17003	Sistemas Solares Térmicos e Seus Componentes - Coletores Solares - Requisitos Gerais e Métodos de Ensaio

Tabela 3.1: Normas regulamentadoras

3.1.1 NBR 16690: Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos — Requisitos de Projeto

A NBR 16690 é a norma brasileira que estabelece os requisitos técnicos para o projeto, instalação, operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*grid-tie*) e de sistemas isolados (*off-grid*). Publicada pela ABNT, esta norma é essencial para garantir que os sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil sigam padrões rigorosos de qualidade, eficiência e segurança. Aplicável tanto a pequenas instalações residenciais quanto a grandes empreendimentos industriais e comerciais, a NBR 16690 define critérios fundamentais para assegurar a correta implementação e operação dos sistemas solares fotovoltaicos [17].

A norma abrange todo o ciclo de vida de um sistema fotovoltaico, desde o dimensionamento dos módulos e inversores, passando pela instalação, até a fase de operação e manutenção. Esses procedimentos visam garantir a eficiência energética, a segurança e a durabilidade do sistema. Para tanto, a NBR 16690 define critérios para a integração do sistema fotovoltaico com a rede elétrica, de modo a evitar qualquer impacto negativo na qualidade da energia distribuída e a proteger os trabalhadores envolvidos no processo de instalação e manutenção [16].

Entre os principais aspectos dessa norma, destaca-se o dimensionamento de módulos fotovoltaicos e inversores. A norma estabelece critérios rígidos para o correto dimensionamento desses componentes, de modo a otimizar a eficiência energética e evitar problemas como sobrecargas e falhas no sistema. Dimensionar adequadamente esses elementos é crucial para maximizar a produção de energia e prolongar a vida útil do sistema. Inversores, responsáveis por converter a CC gerada pelos módulos fotovoltaicos em CA, também devem ser escolhidos de acordo com a potência gerada pelos módulos e precisam conter sistemas de proteção contra surtos, sobrecargas e falhas, assegurando a segurança e estabilidade do sistema [13].

O cumprimento da NBR 16690 é vital para garantir que os sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil sejam seguros, eficientes e confiáveis. Seguir as diretrizes estabelecidas pela norma não só maximiza o aproveitamento da energia solar gerada, mas também previne riscos de falhas críticas, como incêndios, curtos-circuitos e sobrecar-

gas elétricas. Além disso, a conformidade com essa norma é imprescindível para que os sistemas possam se integrar com sucesso às redes de distribuição, de acordo com os requisitos das concessionárias de energia elétrica [15].

Por fim, o cumprimento da NBR 16690 também possibilita que os proprietários de sistemas fotovoltaicos participem de programas de compensação de energia, como o sistema de créditos energéticos regulamentado pela ANEEL. Profissionais de engenharia, instaladores e proprietários de sistemas fotovoltaicos devem seguir as diretrizes dessa norma para garantir a segurança, eficiência e rentabilidade de seus projetos solares.

3.1.2 NBR 15569 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Requisitos de projeto e instalação

A NBR 15569 estabelece os critérios e requisitos técnicos para o projeto, instalação, operação e manutenção de sistemas de aquecimento solar de água. Publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), essa norma é essencial para assegurar a qualidade, segurança e eficiência dos sistemas solares térmicos instalados no Brasil, que têm como objetivo principal o aquecimento de água por meio da captação da energia solar. A NBR 15569 é aplicada a uma ampla gama de instalações, desde residências até edifícios comerciais e industriais que utilizam sistemas solares para reduzir o consumo de energia elétrica destinada ao aquecimento de água [26].

A norma define diretrizes claras para o dimensionamento de coletores solares, reservatórios térmicos e tubulações, de modo a garantir que os sistemas de aquecimento solar sejam dimensionados corretamente para atender à demanda de água quente de forma eficiente. Esses critérios incluem considerações sobre a capacidade dos reservatórios, o tipo e o posicionamento dos coletores solares, e o cálculo do fluxo de água necessário para otimizar o rendimento do sistema. A correta aplicação dessas diretrizes assegura que o sistema funcione de maneira eficiente, oferecendo uma economia significativa de energia elétrica ou gás, que seriam utilizados em sistemas de aquecimento convencionais [13].

Além do dimensionamento, a NBR 15569 também especifica os requisitos para a

instalação de sistemas de aquecimento solar de água, abordando tópicos como materiais utilizados, conexões, isolamento térmico e fixação das estruturas. A instalação adequada é fundamental para garantir a durabilidade dos sistemas e a segurança dos usuários, já que falhas de instalação podem resultar em vazamentos, mau funcionamento do sistema, ou até mesmo acidentes. A norma também inclui requisitos sobre a manutenção preventiva dos sistemas, que visa garantir que os sistemas continuem operando de maneira eficiente e segura ao longo de sua vida útil [17].

Outro aspecto importante da NBR 15569 é a garantia de que os sistemas de aquecimento solar estejam devidamente integrados às instalações hidráulicas existentes, considerando fatores como a pressão da água, as características dos materiais e os métodos de conexão entre as diferentes partes do sistema. Isso garante que o sistema funcione de maneira segura e eficiente, mesmo quando integrado a sistemas de aquecimento convencionais. Além disso, o cumprimento das diretrizes da norma promove a sustentabilidade ao reduzir o consumo de recursos energéticos, como eletricidade e gás natural, alinhando-se às políticas de uso de energias renováveis [16].

Em resumo, a NBR 15569 desempenha um papel crucial na padronização, segurança e eficiência dos sistemas de aquecimento solar de água no Brasil. O cumprimento rigoroso dessa norma não só garante o bom funcionamento e a segurança dos sistemas instalados, como também proporciona uma redução significativa no consumo de energia, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência energética das edificações. Portanto, seguir as diretrizes da NBR 15569 é essencial para que os sistemas de aquecimento solar de água possam atingir seu potencial máximo de eficiência e durabilidade [24].

3.1.3 NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão

A NBR 5410 é a norma técnica brasileira que estabelece os requisitos e critérios de segurança para instalações elétricas de baixa tensão. Publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), essa norma é aplicável a instalações elétricas de tensão nominal até 1000 V em corrente alternada e 1500 V em corrente contínua, sendo amplamente utilizada em instalações residenciais, comerciais e industriais de pequena e média escala. A NBR 5410 é essencial para garantir que todas as etapas

de uma instalação elétrica, desde o projeto até a execução, operação e manutenção, sejam realizadas de forma segura e eficiente [10].

A norma aborda diversos aspectos técnicos, como o dimensionamento adequado de condutores, a proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos, a proteção contra choques elétricos, e os critérios para a instalação de dispositivos de proteção, como fusíveis e disjuntores. Além disso, ela especifica os requisitos para a proteção contra surtos elétricos, como os causados por descargas atmosféricas, que são especialmente relevantes para sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar, devido à sua exposição direta ao ambiente externo [16].

Uma das principais contribuições da NBR 5410 é garantir a segurança elétrica tanto para os usuários finais quanto para os profissionais que executam as instalações. A norma impõe critérios rigorosos para o uso de materiais adequados e procedimentos seguros, com o objetivo de minimizar o risco de choques elétricos, incêndios e falhas operacionais. O uso do Dispositivo Diferencial Residual (DR), por exemplo, é uma exigência para aumentar a segurança contra choques elétricos, uma vez que esses dispositivos interrompem a corrente elétrica em caso de fuga de corrente para a terra. Esses dispositivos são obrigatórios em diversas partes da instalação, como em áreas úmidas (banheiros e cozinhas) e circuitos externos [25].

No contexto de sistemas solares, a NBR 5410 também desempenha um papel crucial ao garantir que a integração dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar às instalações elétricas da edificação seja feita de maneira segura e eficiente. A instalação de sistemas fotovoltaicos, por exemplo, requer que os cabos, disjuntores e demais componentes elétricos sejam dimensionados corretamente para suportar a corrente gerada pelos módulos solares e integrá-la de forma segura à rede elétrica interna da edificação [15].

Outro aspecto importante abordado pela NBR 5410 é o dimensionamento adequado dos condutores elétricos, que devem ser projetados para suportar a corrente elétrica dos circuitos sem sobreaquecimento ou quedas excessivas de tensão. O uso de condutores mal dimensionados pode resultar em perda de energia, sobrecarga do sistema, e, em casos extremos, risco de incêndios. A norma também aborda o uso adequado de isolamentos e a instalação de dispositivos de proteção para evitar falhas

elétricas que possam comprometer a segurança das pessoas e das instalações [17].

Em suma, a NBR 5410 é uma norma técnica indispensável para a segurança, confiabilidade e eficiência das instalações elétricas de baixa tensão no Brasil. Sua aplicação rigorosa garante que os sistemas elétricos, incluindo os de geração de energia renovável como os fotovoltaicos, sejam seguros para os usuários e adequados às normas vigentes. A conformidade com a NBR 5410 é fundamental para assegurar que os sistemas elétricos operem com segurança, minimizando o risco de acidentes e otimizando o desempenho energético da edificação como um todo.

3.1.4 NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade

A Norma Regulamentadora (NR) 10 é essencial para o setor elétrico, com o objetivo de proteger a saúde e segurança dos trabalhadores que lidam com eletricidade, seja direta ou indiretamente. Estabelecida originalmente pela Portaria n.º 3.214, em 1978, a norma passou por atualizações significativas ao longo dos anos, incluindo alterações pela Portaria n.º 598 de 2004, para se adaptar às demandas e avanços tecnológicos do setor [27].

A NR 10 aplica-se a todas as etapas do ciclo de vida das instalações elétricas, abrangendo desde a geração até o consumo de energia elétrica. Ela exige que sejam implementadas medidas de controle rigorosas em instalações elétricas, através de técnicas de análise de risco, esquemas unifilares atualizados e prontuários de instalações elétricas para locais com carga instalada superior a 75 kW. Esses prontuários devem conter instruções de segurança, documentação de inspeções, especificações de equipamentos de proteção coletiva e individual, além da comprovação de qualificação dos trabalhadores [27].

A norma também especifica que os projetos de instalações elétricas devem incluir dispositivos de seccionamento e impedimento de reenergização, garantindo a segurança em atividades de construção, montagem, operação e manutenção. Além disso, é obrigatório o uso de proteção coletiva e individual em atividades próximas ou diretamente relacionadas com circuitos elétricos, especialmente em instalações de alta tensão. A norma prevê que as atividades em zonas de risco e controladas,

próximas a partes energizadas, sejam realizadas apenas por profissionais capacitados e devidamente autorizados [27].

Outro aspecto essencial da NR 10 é o treinamento e capacitação dos trabalhadores, com uma carga horária mínima de 40 horas para o curso básico de segurança em instalações elétricas, e requisitos adicionais para aqueles que trabalham em sistemas de alta tensão. O treinamento inclui tópicos como medidas de controle de risco elétrico, utilização de equipamentos de proteção, técnicas de primeiros socorros e combate a incêndios. A norma também exige reciclagem periódica e treinamentos específicos em caso de mudanças de função, retorno após afastamento, ou modificações significativas nas instalações [27].

A conformidade com a NR 10 é fundamental para garantir que as instalações elétricas sejam operadas de forma segura, prevenindo acidentes graves, como choques elétricos, queimaduras e explosões. Além disso, a norma estabelece uma base sólida para a adoção de uma cultura de segurança entre os trabalhadores do setor elétrico, promovendo não apenas a proteção dos profissionais, mas também a segurança das instalações e do ambiente de trabalho como um todo.

3.1.5 NBR 17003 - Sistemas Solares Térmicos e Seus Componentes - Coletores Solares - Requisitos Gerais e Métodos de Ensaio

A NBR 17003, intitulada “Sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares - Requisitos gerais e métodos de ensaio”, é uma norma técnica brasileira estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que define os procedimentos e critérios para avaliação de desempenho de coletores solares. Essa norma é fundamental para assegurar que os coletores solares, utilizados em sistemas de aquecimento de água, operem com eficiência e segurança [28].

Os principais aspectos abordados pela NBR 17003 incluem a metodologia de ensaio para medir a eficiência térmica dos coletores solares, garantindo que eles possam fornecer o máximo de aproveitamento da energia solar disponível. Além disso, a norma especifica critérios para a resistência mecânica e durabilidade dos coletores, visando

assegurar que esses dispositivos suportem as condições ambientais típicas do local de instalação, como exposição contínua à radiação solar, variações de temperatura e intempéries. A conformidade com essa norma é essencial para promover a confiança dos consumidores e a qualidade dos sistemas solares, assegurando um desempenho adequado e prolongando a vida útil dos equipamentos [28].

Capítulo 4

Estudo de Caso

A crescente busca por soluções energéticas sustentáveis e eficientes tem impulsionado a adoção de tecnologias como a energia solar fotovoltaica e sistemas de aquecimento solar de água em residências. Este estudo tem como objetivo analisar e comparar a viabilidade econômica dessas tecnologias em três tipos de residências — pequeno, médio e grande porte. A intenção é identificar em quais cenários o sistema fotovoltaico ou o aquecedor solar apresentam melhor retorno sobre o investimento, ou se uma combinação de ambos seria mais eficiente. Tal análise busca oferecer aos consumidores uma ferramenta prática para a tomada de decisão, baseada em dados reais e cálculos robustos.

Para assegurar a precisão da análise, foram utilizadas fórmulas específicas para calcular o tempo de retorno do investimento (*payback*), considerando variáveis como consumo de energia elétrica, demanda diária de água quente, custos de instalação e economia gerada. Conforme destacado por Maidana (2017) [10], a aplicação de métodos de análise econômica, como o *payback* e a taxa interna de retorno, é essencial para determinar a viabilidade financeira desses sistemas [10]. Este estudo segue abordagem similar, estimando o período necessário para que o investimento inicial seja recuperado através da redução nos custos de energia.

4.1 Cálculos para Payback

O *payback* é um dos métodos mais utilizados para determinar a viabilidade econômica de um investimento, especialmente quando se trata de sistemas de energia solar, tanto fotovoltaicos quanto de aquecimento solar de água. O tempo de *payback* indica quantos meses ou anos serão necessários para que o valor investido no sistema seja recuperado por meio da economia gerada. A seguir, detalharemos as equações utilizadas para calcular o *payback* de cada sistema, explicando seus componentes e variáveis.

4.1.1 Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

A equação utilizada para calcular o tempo de retorno do investimento no sistema de energia solar fotovoltaica é dada pela Equação (4.1).

$$T_{P-FV} = \frac{C_{FV}}{E_{FV}} \quad (4.1)$$

Onde:

- T_{P-FV} = Tempo de *payback* do sistema fotovoltaico (em meses);
- C_{FV} = Custo de instalação do sistema fotovoltaico (em R\$);
- E_{FV} = Economia mensal gerada pelo sistema fotovoltaico (em R\$/mês).

4.1.2 Sistema de Aquecimento Solar de Água

O consumo mensal de energia elétrica (CM), Equação (4.2), é calculado com base na potência dos equipamentos (P), com a quantidade de horas que são utilizados por dia (T_{dia}) e na quantidade de dias no mês (definida como 30):

$$CM = \frac{P}{1000} \times T_{dia} \times 30 \quad (4.2)$$

Onde:

- CM = Consumo mensal de energia elétrica (em kWh);
- P = Potência do equipamento (em W);
- 1000 = Conversão da unidade W para kW;
- T_{dia} = Quantidade de horas que o equipamento é utilizado por dia (em horas); e
- 30 = Quantidade de dias no mês.

A Tarifa de energia elétrica (T_{EE}), Equação (4.3), é caracterizada como o Valor total da fatura de energia (VT_{FE}) dividido pelo Consumo mensal de energia elétrica (CM).

$$T_{EE} = \frac{VT_{FE}}{CM} \quad (4.3)$$

Onde:

- T_{EE} = Tarifa de energia elétrica (em R\$ /kWh);
- VT_{FE} = Valor total da fatura de energia (em R\$); e
- CM = Consumo mensal de energia elétrica (em kWh).

A Economia mensal gerada pelo sistema de aquecimento solar de água (E_{AS}), Equação (4.4), é o produto do Consumo mensal de energia elétrica de um equipamento (CM) pela Tarifa de Energia Elétrica (T_{EE}). A Equação (4.4) é útil para determinar a economia obtida ao substituir o aquecimento elétrico por aquecimento solar de água. Como o custo de aquecer água eletricamente é elevado em muitas residências, o sistema de aquecimento solar pode proporcionar uma economia substancial, reduzindo significativamente o tempo de *payback*.

$$E_{AS} = CM \times T_{EE} \quad (4.4)$$

Onde:

- E_{AS} = Economia mensal gerada pelo sistema de aquecimento solar de água (em R\$/mês).

O sistema de aquecimento solar de água também pode ser avaliado por meio da equação de *payback*, que leva em consideração o custo de instalação do sistema de aquecimento solar de água (C_{AS}) e a economia mensal gerada pelo sistema de aquecimento solar de água (E_{AS}) com a substituição de chuveiros ou aquecedores elétricos, conforme Equação (4.5).

$$T_{P-AS} = \frac{C_{AS}}{E_{AS}} \quad (4.5)$$

Onde:

- T_{P-AS} = Tempo de *payback* do sistema de aquecimento solar de água (em meses);
- C_{AS} = Custo de instalação do sistema de aquecimento solar de água (em R\$).

4.2 Caracterização das Residências

Para esta análise, três residências de diferentes portes serão analisadas. Cada residência possui o tipo de fornecimento monofásico e terá suas características descritas de forma detalhada, como a localização, número de habitantes, consumo mensal de energia elétrica (em kWh) e o consumo mensal de água (em m³).

As informações de cada residência irão determinar a viabilidade econômica e a eficiência energética dos sistemas solares, uma vez que o perfil de consumo energético e o custo inicial de instalação influenciam diretamente o tempo de *payback*.

Além disso, foram utilizados os dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) [29] para obter os códigos dos itens e serviços necessários para realizar a instalação. A seguir, é apresentada uma descrição detalhada de cada sistema e seus respectivos custos.

4.2.1 Residência 1 - Pequeno Porte

A primeira residência analisada é um apartamento de pequeno porte localizado em Cidade Ocidental, Goiás. O imóvel possui dois quartos, um banheiro e é habitado por dois moradores.



DANFE - DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA

Equatorial Goiás Distribuidora de Energia S.A.
CNPJ: 01.543.032/0001-04 • IE: 100.549.420
Rua 2, Qd. A-37, Nº 505 - Jardim Goiás - Goiânia-GO - CEP: 74.805-180

Segunda via

Classificação: B B1 RESIDENCIAL - RESIDENCIAL NORMAL CONVENCIONAL Tipo de fornecimento: MONOFÁSICO

Tensão Nominal Disp: 220 V Lim Min: 200,2 V Lim Max: 231,0 V

CEP: 72880000 CIDADE OCIDENTAL GO BRASIL
PERDAS DE TRANSFORMAÇÃO / RAMAL: 0%

Parceiro de Negócio

Unidade Consumidora

Conta mês: OUT/2024 Vencimento: 06/11/2024 Total a pagar: R\$*****169,64

NOTA FISCAL Nº 121305565 - SÉRIE 0 / DATA DE EMISSÃO: 28/10/2024 12:00:54

Consulte pela Chave de Acesso em:
<https://dfe-portal.svcs.rs.gov.br/NF3e/consulta>
chave de acesso:
52241001543032000104660001213055651089796304
Protocolo de autorização: 352240003007559 - 28/10/2024 às 12:10:28
CFOP 5258: Venda de energia elétrica para não contribuinte

INFORMAÇÕES PARA O CLIENTE

REVISÃO TARIFÁRIA PERIÓDICA COM EFEITO MÉDIO DE 4,33% RESOLUÇÃO HOMOLOGATORIA ANEEL N. 3.407/2024, COM INÍCIO VIGÊNCIA EM 22/10/2024.

Itens de fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)	PIS/COFINS	Base Calc. ICMS (R\$)	Alíquota. ICMS (R\$)	ICMS	Tarifa unit. (R\$)
FORNECIMENTO									
ADC BANDEIRA VERMELHA	kWh	137,00	0,087767	12,02	0,66	12,02	19%	2,28	0,066252
CONSUMO	kWh	137,00	0,941409	128,97	7,11	128,97	19%	24,5	0,710630
ITENS FINANCEIROS									
CONTRIB. ILUM. PÚBLICA - MUNICIPAL				26,24					
JUROS MORATÓRIA				0,04					
MULTA - 09/2024.				2,37					
TOTAL				169,64	7,78	140,99		26,79	

Tributo	Base (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
PIS/PASEP	114,21	1,2136%	1,39
ICMS	140,99	19%	26,79
COFINS	114,21	5,5941%	6,39

CONSUMO

MÉDIA: 129,15

OUT/24: 137,00 30 LIDA

SET/24: 125,00 29 LIDA

AGO/24: 106,00 30 LIDA

JUL/24: 122,00 32 LIDA

JUN/24: 117,00 31 LIDA

MAI/24: 124,00 31 LIDA

ABR/24: 110,00 29 LIDA

MAR/24: 124,00 29 LIDA

FEV/24: 117,00 30 LIDA

JAN/24: 134,00 32 LIDA

DEZ/23: 137,00 31 LIDA

NOV/23: 113,00 32 LIDA

OUT/23: 113,00 30 LIDA

☐ Ativo

Medidor	Grandezas	Postos horários	Leitura Anterior	Leitura Atual	Const Medidor	Consumo kWh
12253559-6	ENERGIA ATIVA - KWH	ÚNICO	06495	06632	1,000000	137

Reservado ao Fisco

Resolução ANEEL: 29/10/2024

Nº do Programa Social

REAVISO DE VENCIMENTO

LIGUE GRÁTIS 0800 062 0196
ATENDIMENTO GRATUITO 24H
Acesso ao nosso site: equatorialenergia.com.br
Fale com a Clara pelo WhatsApp: (62) 3243-2020

DIREITOS
É direito do consumidor ou da central geradora de solicitar à distribuidora o detalhamento da apuração dos indicadores DIC, FIC, DMIC e DICRI a qualquer tempo.
É direito do consumidor ou da central geradora de receber uma compensação, caso sejam violados os limites de contribuição individuais relativos à unidade consumidora ou central geradora.

Figura 4.1: Fatura de Energia - Residência 1

Com base nas faturas fornecidas, foram obtidos os seguintes dados: Consumo mensal de energia elétrica de 137 kWh, custo mensal de energia elétrica de R\$ 169,64, conforme a Figura 4.1, enquanto o consumo mensal de água é de 6 m³ faturados, com um consumo estimado de 9 m³ e custo mensal da conta de água de R\$ 49,02,



Saneamento de Goiás S.A.
CNPJ:01.616.929/0001-02 - INSC. EST. 10.013.359-6



CIDADE OCIDENTAL CEP : 72887270

Fatura de água, esgoto e serviços

Número da conta:

Número da fatura:

Data de emissão:

04/11/2024

Mês de referência:

NOV/2024

Vencimento:

18/11/2024

Valor (R\$):

49,02

Tributação aproximada (R\$):

4,41

Quantidade de unidades atendidas

Serviço	Social	Residencial	Comercial	Comercial 2	Industrial	Público
Água		001				
Esgoto						

Descrição dos serviços

Valor (R\$)

CUSTO MINIMO FIXO	15,98
ATUALIZACAO MONETARIA	0,38
TARIFA AGUA - RESIDENCIAL	31,68
MULTA ATRASO PAGAMENTO	0,98

O tipo de consumo faturado foi:

Medido - Volume de água registrado no hidrômetro.

Hidrômetro(s)		Leitura(s)			Consumo(s)		
Tipo	Número	Atual	Anterior	Próxima	Faturado m³	Médio m³	Estimado m³
Água Fria	A17G061118	04/11/2024 231	03/10/2024 225	03/12/2024	6	6	9

Histórico de consumo :

Tipo/Mês:	MAI/2024	JUN/2024	JUL/2024	AGO/2024	SET/2024	OUT/2024
Água Fria	5	6	5	6	6	6

Aviso

AGRADECEMOS PELA PONTUALIDADE NO PAGAMENTO DE SUA FATURA. DESSA FORMA VOCE CONTRIBUI PARA UM SANEAMENTO BASICO CADA VEZ MELHOR E ACESSIVEL A TODOS.

Mensagem

Sistema de Abastecimento de Água: CIDADE OCIDENTAL

Parâmetros	Cloro residual livre	Fluoreto	Turbidez	Cor aparente	pH	Coliformes totais	Escherichia coli
Nº Mínimo de análises exigidas¹	47	8	47	47	8	47	47
Nº de Análises realizadas²	77	7	77	77	8	77	77
Nº de Análises que atenderam à legislação³	77	5	76	77	6	77	77

Conclusão: A água fornecida é própria para o consumo. Eventuais resultados fora do padrão foram encaminhados para ações corretivas.

Informações mensais ao consumidor em atendimento ao Decreto Federal nº 5.440/2005

¹ Número mínimo de Análises Mensais Exigidas pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017 do Min. da Saúde - Anexo XX e XXI.

² Número de Análises Mensais Realizadas pela Saneago. / ³ Número de Análises Mensais que Atendem à Portaria de Potabilidade Vigente.

Figura 4.2: Fatura de Água - Residência 1

conforme a Figura 4.2.

Sistema Fotovoltaico: Dimensionado para atender ao consumo mensal de 137 kWh, garantindo uma autonomia energética que reduza a dependência da rede elétrica. Foram utilizados três módulos fotovoltaicos de 450 W cada, totalizando uma capacidade instalada de 1,35 kW, suficiente para suprir a demanda da residência. Além disso, um inversor solar de 1,5 kW foi selecionado para converter a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada. Outros componentes, como cabos, conectores e sistemas de proteção, também foram especificados, seguindo as diretrizes das normas NBR 16690 [23] e NBR 5410 [25].

O custo total do sistema fotovoltaico foi estimado em R\$ 8.158,17, incluindo materiais e mão de obra especializada para a instalação, conforme mostra a Tabela 4.1. Esse valor contempla todos os componentes necessários para garantir o correto funcionamento do sistema e sua integração à rede elétrica, conforme exigido pelas regulamentações da ANEEL. Na Tabela 4.1 consta o detalhamento de todos os itens, descrição, base de dados, quantidade, preço unitário e custo total.

Tabela 4.1: Custo total do sistema fotovoltaico - Residência pequeno porte

Item	Descrição	Código	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Módulos Fotovoltaicos	Módulo fotovoltaico (450 W, tensão máx. 1000 VCC, eficiência mínima 20%)	00034472	3 unidades	897,37	2.692,11
Inversor Solar	Growatt MIC1500TL-X 1.5KW monofásico, 220V, 1 MPPT	-	1 unidade	2.722,87	2.722,87
Estruturas de Fixação	Suporte para 3 módulos	-	3 unidades	200,00	600,00
Cabos Elétricos (CC)	Cabo PVC	00036246	20 metros	3,77	75,40
Cabos Elétricos (CA)	Cabo PVC	00036246	15 metros	3,77	56,55
Conectores MC4	Conector padrão para sistemas fotovoltaicos	-	6 unidades	12,00	72,00
String Box (Disjuntores CC)	Disjuntor CC (10A)	00021114	1 unidade	35,31	35,31
DPS CC	Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS), Classe II, tecnologia MOV, para sistemas fotovoltaicos	00039475	1 unidade	149,35	149,35
Quadro de Proteção CA	Disjuntor CA (16A)	00021114	1 unidade	35,31	35,31
Quadro de Proteção CA	DPS CA - Dispositivo DPS Classe II, 1 polo, tensão máx. 385 V, corrente máx. 45 kA	00039475	1 unidade	205,15	205,15
Sistema de Aterramento	Haste de aterramento	-	1 unidade	80,00	80,00
Sistema de Aterramento	Cabos de proteção (PVC)	00036246	10 metros	3,77	37,70
Mão de Obra Especializada	Técnico instalador de sistemas fotovoltaicos (16h x 2 profissionais - R\$ 13,11/h)	00000247	32 horas	13,11	419,52
Mão de Obra Especializada	Eletricista especializado (16h - R\$ 26,64/h)	00000253	16 horas	26,64	426,24
Mão de Obra Especializada	Montadores para estruturas (12h x 2 profissionais - R\$ 15,25/h)	00000248	24 horas	15,25	366,00
Total	-	-	-	-	8.158,17

Sistema de Aquecimento Solar: Para o aquecimento de água, foi especificado um sistema integrado com um reservatório de 200 litros e uma placa coletora de 2 m³. O sistema é suficiente para atender às necessidades hídricas de dois moradores, considerando seu consumo diário de água quente. Adicionalmente, foram incluídos tubulações, isolamentos térmicos e válvulas de segurança para garantir a eficiência e a segurança do sistema.

O custo total do sistema de aquecimento solar foi estimado em R\$ 5.064,52, incluindo todos os materiais necessários e a mão de obra especializada para instalação, conforme mostra a Tabela (4.2).

Tabela 4.2: Custo total do sistema de aquecimento solar - Residência pequeno porte

Item	Descrição	Código	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Sistema Integrado (Coletores + Reservatório)	Aquecedor solar de instalação externa, kit compacto, conjunto com reservatório térmico de 200L, placa coletora de 2 m ² e acessórios	00034472	1 conjunto	3.365,00	3.365,00
Estruturas de Suporte	Incluídas no kit para o coletor	-	-	0,00	0,00
Tubulações	Tubulação CPVC	00037997	20 metros	5,85	117,00
Isolamento Térmico para Tubos	Isolamento térmico para 20 metros de tubo	-	20 metros	10,00	200,00
Válvulas	Válvula de retenção, válvula de alívio de pressão e válvula misturadora	-	3 unidades	-	480,00
Conexões e Acessórios Hidráulicos	Luvax, joelhos, registros e conexões	-	-	-	300,00
Mão de Obra Especializada	Instalador com experiência em sistemas solares (16h x 2 profissionais - R\$ 13,11/h)	00000247	32 horas	13,11	419,52
Mão de Obra Especializada	Encanador especializado (12h - R\$ 15,25/h)	00000248	12 horas	15,25	183,00
Total	-	-	-	-	5.064,52

Para avaliar o retorno financeiro de cada sistema, foram calculados os tempos de *payback* com base nos custos iniciais e na economia mensal estimada.

Sistema Fotovoltaico: A economia mensal gerada pelo sistema fotovoltaico foi calculada com base no consumo de 137 kWh, Figura 4.1, é de R\$ 169,64. O custo de instalação do sistema fotovoltaico, considerando os orçamentos detalhados, é de R\$ 8.158,17. Conforme a Equação (4.1), o tempo de *payback* do modelo apresentado é calculado na Equação (4.6).

$$T_{P-FV} = \frac{R\$ 8158,17}{R\$ 169,64/mês} \approx 48 \text{ meses} \quad (4.6)$$

Após esse período, toda a energia gerada pelo sistema será praticamente gratuita, o que proporciona uma economia significativa ao longo da vida útil do sistema, estimada em mais de 25 anos. Além disso, os benefícios incluem a valorização do imóvel, independência parcial da rede elétrica e contribuição para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Sistema de Aquecimento Solar: Para o sistema de aquecimento solar, o consumo médio de água é de 6 m³/mês (estimativa de consumo: 9 m³), Conta mensal de água: R\$ 49,02, conforme Figura 4.2. O consumo médio de energia elétrica para aquecimento de água por chuveiro elétrico foi estipulado considerando 2 habitantes com 2 banhos diários de 8 minutos por pessoa. O custo total do sistema, com base nos materiais e mão de obra, é de R\$ 5.064,52, conforme mostra a Tabela (4.2).

Considerando um chuveiro de 5500 W utilizado por 32 minutos/dia (0,53 h), o

consumo mensal de energia elétrica para aquecimento de água por chuveiro elétrico foi estipulado utilizando a Equação (4.2) e é calculado na Equação (4.7).

$$CM = \frac{5500}{1000} \times 0,53 \times 30 = 87,45 \text{ kWh/mês} \quad (4.7)$$

De acordo com a Equação (4.4), a economia mensal gerada pelo sistema de aquecimento solar de água é calculada na Equação (4.8).

$$E_{AS} = 87,45 \text{ kWh/mês} \times R\$ 1,24/\text{kWh} \approx R\$ 108,44/\text{mês} \quad (4.8)$$

Conforme a Equação (4.5), o tempo de *payback* é calculado na Equação (4.9).

$$T_{P-AS} = \frac{R\$ 5064,52}{R\$ 108,44/\text{mês}} = 46,70 \text{ meses} \approx 47 \text{ meses} \quad (4.9)$$

Após o período de 47 meses, o sistema passa a gerar água aquecida sem custos adicionais significativos. Os principais benefícios incluem redução da demanda elétrica durante horários de pico, conservação de recursos naturais e redução de emissões de carbono e redução do consumo mensal de energia elétrica, permitindo maior eficiência no uso geral.

4.2.2 Residência 2 - Médio Porte

A residência analisada está localizada em Luziânia, Goiás, uma região com alta incidência solar durante a maior parte do ano, o que favorece a utilização de tecnologias solares. O imóvel possui dois quartos, dois banheiros sociais, uma suíte (quarto integrado com um banheiro exclusivo) e quatro moradores. Conta ainda com dois aparelhos de ar-condicionado, elevando o consumo energético.

Com base nas faturas fornecidas, foram obtidos os seguintes dados: Consumo mensal de energia elétrica de 339 kWh, custo mensal de energia elétrica de R\$ 368,34, Figura 4.3, consumo mensal de água de 12 m³ (com um faturamento estimado em 18 m³) e custo mensal da conta de água de R\$ 74,74, Figura 4.4.

Sistema Fotovoltaico: Dimensionado com base no consumo médio mensal de

DANF3E - DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA

Equatorial Goiás Distribuidora de Energia S.A.
 CNPJ: 01.543.032/0001-04 • IE: 100.549.420
 Rua 2, Qd. A-37, Nº 505 - Jardim Goiás - Goiânia-GO • CEP: 74.805-180

Classificação: B B1 RESIDENCIAL - RESIDENCIAL NORMAL CONVENCIONAL Tipo de fornecimento: MONOFÁSICO

Tensão Nominal Disp: 220 V Lim Min: 200,2 V Lim Max: 231,0 V

Parceiro de Negócio

Unidade Consumidora

CEP: 72853110 JARDIM DO INGA, LUZIANIA GO BRASIL
 PERDAS DE TRANSFORMAÇÃO / RAMAL: 0%

Conta mês
DEZ/2024

Vencimento
12/01/2025

Total a pagar
R\$***368,34**

NOTA FISCAL Nº 127670840 - SÉRIE 0 / DATA DE EMISSÃO: 23/12/2024 09:17:53
 EMITIDO EM CONTINGÊNCIA - Pendente de Autorização
 Consulte pela Chave de Acesso em:
<https://dle-portal.svrs.rs.gov.br/NF3e/consulta>
 chave de acesso:
 52241201543032000104660001276708402055176936
 Protocolo de autorização: 3522400036433619 - 23/12/2024 às 13:00:51
 CFOP 5258: Venda de energia elétrica para não contribuinte

INFORMAÇÕES PARA O CLIENTE

A EQUATORIAL ENERGIA AGRADECE PELA PONTUALIDADE NO PAGAMENTO DE SUA FATURA
 3407/24

Itens de fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)	PIS/COFINS	Base Calc. ICMS (R\$)	Alíquota. ICMS (R\$)	ICMS	Tarifa unit. (R\$)
FORNECIMENTO									
ADC BANDEIRA AMARELA	kWh	339,00	0,006342	2,15	0,1	2,15	19%	0,41	0,004864
CONSUMO kWh	kWh	339,00	0,972678	329,74	14,21	329,74	19%	62,65	0,745930
ITENS FINANCEIROS									
CONTRIB. ILUM. PÚBLICA - MUNICIPAL				36,45					

Tributo	Base (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	331,89	19%	63,06
PIS/PASEP	268,83	0,949%	2,55
COFINS	268,83	4,3742%	11,76

CONSUMO

MÊS/ANO	CONSUMO (KWH)	DIAS	TÍPO DE FATORAMENTO
MÉDIA	290,00		
DEZ/24	339,00	31	LIDA
NOV/24	295,00	32	LIDA
OUT/24	385,00	31	LIDA
SET/24	258,00	29	LIDA
AGO/24	257,00	30	LIDA
JUL/24	260,00	32	LIDA
JUN/24	216,00	30	LIDA
MAI/24	248,00	30	LIDA
ABR/24	266,00	31	LIDA
MAR/24	290,00	29	LIDA
FEV/24	254,00	30	LIDA
JAN/24	253,00	31	LIDA
DEZ/23	449,00	32	LIDA

☐ Alterar

Medidor	Grandezas	Postos horários	Leitura Anterior	Leitura Atual	Const. Medidor	Consumo kWh
1906069-6	ENERGIA ATIVA - KWH	UNICO	52361	52700	1,000000	339

Reservado ao Fisco

Resolução ANEEL	Apresentação	Nº do Programa Social
3407/24	23/12/2024	

REAVISO DE VENCIMENTO

A EQUATORIAL ENERGIA AGRADECE PELA PONTUALIDADE NO PAGAMENTO DE SUA FATURA

LIGUE GRÁTIS 0800 062 0196
 ATENDIMENTO GRATUITO 24H
 Acesse o nosso site: equatorialenergia.com.br
 Fale com a Clara pelo WhatsApp: (62) 3242-2020
 @equatorialenergia @equatorialenergia @equatorialenergia

Ondulante Equatorial Goiás: 0800 062 0196
 Ligue grátis de telefones fixos e móveis de qualquer rede, sem custo de ligação.
 Agência Gestora de Regulação - AGR 0800 727 0167
 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 167
 Ligue grátis de telefones fixos e móveis.

DIREITOS
 É direito do consumidor ou da central geradora de solicitar à distribuidora o detalhamento da apuração dos indicadores DIC, FIC, DMIC e DICRI a qualquer tempo.
 É direito do consumidor ou da central geradora de receber uma compensação, caso sejam violados os limites de contribuição individuais relativos à unidade consumidora ou central geradora.

Figura 4.3: Fatura de Energia - Residência 2

energia elétrica, que é de 339 kWh, conforme informações da fatura de energia na Figura 4.3. O objetivo é atender integralmente a essa demanda, proporcionando independência parcial ou total da rede elétrica convencional, além de uma significativa economia financeira ao longo do tempo. Para atender a essa necessidade, foram especificados os componentes fundamentais do sistema, como módulos fotovoltaicos, inversores, cabos elétricos, estruturas de fixação, dispositivos de proteção e sistemas de aterramento, conforme normas técnicas vigentes, incluindo a NBR 16690 e a NBR 5410.



Saneamento de Goiás S.A.

CNPJ:01.616.929/0001-02 - INSC. EST. 10.013.359-6

LUZIANIA

Fatura de água, esgoto e serviços

Número da conta:

Número da fatura:

Data de emissão:

10/12/2024

Mês de referência:

DEZ/2024

Vencimento:

10/01/2025

Valor (R\$):

74,74

Tributação aproximada (R\$):

6,91

Quantidade de unidades atendidas

Serviço	Social	Residencial	Comercial	Comercial 2	Industrial	Público
Água		001				
Esgoto						

Descrição dos serviços

Valor (R\$)

CUSTO MINIMO FIXO

15,98

TARIFA AGUA - RESIDENCIAL

58,76

O tipo de consumo faturado foi:
Medido - Volume de água registrado no hidrômetro.

Hidrômetro(s)		Leitura(s)			Consumo(s)		
Tipo	Número	Atual	Anterior	Próxima	Faturado m³	Médio m³	Estimado m³
Água Fria	A13N039009	10/12/2024 1.943	09/11/2024 1.932	08/01/2025	11	12	18

Histórico de consumo :

Tipo/Mês:	JUN/2024	JUL/2024	AGO/2024	SET/2024	OUT/2024	NOV/2024
Água Fria	13	11	9	12	11	12

Aviso

AGRADECEMOS PELA PONTUALIDADE NO PAGAMENTO DE SUA FATURA. DESSA FORMA VOCE CONTRIBUI PARA UM SANEAMENTO BASICO CADA VEZ MELHOR E ACESSIVEL A TODOS.

Mensagem

Sistema de Abastecimento de Água: CENTRO DO JARDIM INGA

Parâmetros	Cloro residual livre	Fluoreto	Turbidez	Cor aparente	pH	Coliformes totais	Escherichia coli
Nº Mínimo de análises exigidas¹	54	0	54	54	4	54	54
Nº de Análises realizadas²	35	1	35	35	5	35	35
Nº de Análises que atenderam à legislação³	35	0	35	35	5	35	35

Conclusão:

A água fornecida é própria para o consumo. Eventuais resultados fora do padrão foram encaminhados para ações corretivas.

Informações mensais ao consumidor em atendimento ao Decreto Federal nº 5.440/2005

¹ Número mínimo de Análises Mensais Exigidas pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017 do Min. da Saúde - Anexo XX e XXI.

² Número de Análises Mensais Realizadas pela Saneago. / ³ Número de Análises Mensais que Atendem à Portaria de Potabilidade Vigente.

Figura 4.4: Fatura de Água - Residência 2

Foram dimensionados 7 módulos fotovoltaicos de 450 W cada, 1 inversor monofásico de 4 kW, que inclui proteções contra surtos e sobrecargas, disjuntores, DPS e cabos elétricos dimensionados de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 5410 [25]. A instalação contempla ainda estruturas de fixação robustas, adaptadas ao telhado da residência, e um sistema de aterramento eficaz para proteger contra descargas atmosféricas. O custo estimado para a instalação completa, considerando materiais, mão de obra especializada e todos os acessórios necessários, é de aproximadamente R\$ 13.210,03, conforme descrito na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Custo total do sistema fotovoltaico - Residência de médio porte

Item	Descrição	Código	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Módulos Fotovoltaicos	Módulo fotovoltaico (450 W, tensão máx. 1000 VCC, eficiência mínima 20%)	00034472	7 unidades	897,37	6.281,59
Inversor Solar	Inversor Solar Monofásico 4kW 220V Sungrow - SG4.0RS-S	-	1 unidade	3.527,06	3.527,06
Estruturas de Fixação	Suporte para 7 módulos	-	7 unidades	200,00	1.400,00
Cabos Elétricos (CC)	Cabo PVC	00036246	20 metros	3,77	75,40
Cabos Elétricos (CA)	Cabo PVC	00036246	20 metros	3,77	75,40
Conectores MC4	Conector padrão para sistemas fotovoltaicos	-	8 unidades	12,00	96,00
String Box (Disjuntores CC)	Disjuntor CC (10A)	00021114	1 unidade	35,31	35,31
DPS CC	Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS), Classe II, tecnologia MOV, para sistemas fotovoltaicos	00039475	1 unidade	149,35	149,35
Quadro de Proteção CA	Disjuntor CA (16A)	00021114	1 unidade	35,31	35,31
Quadro de Proteção CA	DPS CA - Dispositivo DPS Classe II, 1 polo, tensão máx. 385 V, corrente máx. 45 kA	00039475	1 unidade	205,15	205,15
Sistema de Aterramento	Haste de aterramento	-	1 unidade	80,00	80,00
Sistema de Aterramento	Cabos de proteção (PVC)	00036246	10 metros	3,77	37,70
Mão de Obra Especializada	Técnico instalador de sistemas fotovoltaicos (16h x 2 profissionais - R\$ 13,11/h)	00000247	32 horas	13,11	419,52
Mão de Obra Especializada	Eletricista especializado (16h - R\$ 26,64/h)	00000253	16 horas	26,64	426,24
Mão de Obra Especializada	Montadores para estruturas (12h x 2 profissionais - R\$ 15,25/h)	00000248	24 horas	15,25	366,00
Total	-	-	-	-	13.210,03

Sistema de Aquecimento Solar: Para o aquecimento de água, foi especificado um sistema integrado com um reservatório de 400 litros e 2 placas coletoras de 2 m². O sistema é suficiente para atender às necessidades hídricas dos quatro moradores, considerando um consumo diário médio de água quente. Adicionalmente, foram incluídos tubulações, isolamentos térmicos e válvulas de segurança para garantir a eficiência e a segurança do sistema.

O custo total do sistema de aquecimento solar foi estimado em R\$ 9.068,02, incluindo todos os materiais necessários e a mão de obra especializada para instalação conforme mostra a Tabela 4.4.

Para avaliar o retorno financeiro de cada sistema, foram calculados os tempos de *payback* com base nos custos iniciais e na economia mensal estimada.

Sistema Fotovoltaico: A economia mensal esperada com o sistema fotovoltaico foi recalculada com base no consumo de 339 kWh, Figura 4.3, e no custo médio real

Tabela 4.4: Custo total do sistema de aquecimento solar - Residência de médio porte

Item	Descrição	Código	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Sistema Integrado (Coletores + Reservatório)	Aquecedor solar compacto com reservatório térmico de 200L e placa coletora de 2 m ² e acessórios (kit compacto)	00034472	2 conjuntos	3.365,00	6.730,00
Estruturas de Suporte	Incluídas no kit para o coletor	-	-	0,00	0,00
Tubulações	Tubulação CPVC	00037997	30 metros	5,85	175,50
Isolamento Térmico para Tubos	Isolamento térmico para tubulações	-	30 metros	10,00	300,00
Válvulas	Válvula de retenção, válvula de alívio de pressão e válvula misturadora	-	6 unidades	-	960,00
Conexões e Acessórios Hidráulicos	Luvas, joelhos, registros e conexões	-	-	-	300,00
Mão de Obra Especializada	Instalador com experiência em sistemas solares (16h x 2 profissionais - R\$ 13,11/h)	00000247	32 horas	13,11	419,52
Mão de Obra Especializada	Encanador especializado (12h - R\$ 15,25/h)	00000248	12 horas	15,25	183,00
Total	-	-	-	-	9.068,02

de R\$ 1,09/kWh, calculado a partir do valor total da fatura de R\$ 368,34 dividido pelo consumo de 339 kWh. Dessa forma, a economia mensal proporcionada pelo sistema é de R\$ 366,12. O custo total do sistema, considerando os orçamentos detalhados, é de R\$ 13.210,03. Conforme a Equação (4.1), o tempo de *payback* do modelo apresentado é calculado na Equação (4.10).

$$T_{P-FV} = \frac{13210,03}{366,12} \approx 36 \text{ meses} \quad (4.10)$$

Após os 36 meses, a eletricidade produzida pelo sistema será essencialmente gratuita, resultando em uma economia substancial ao longo de sua vida útil, além de promover maior autonomia energética e a contribuição para a preservação ambiental.

Sistema de Aquecimento Solar: Para o sistema de aquecimento solar, o consumo médio de água é de 12 m³/mês (estimativa de consumo: 18 m³), Conta mensal de água: R\$ 74,74, Figura 4.4. O consumo médio de energia elétrica para aquecimento de água por chuveiro elétrico foi estipulado considerando 4 habitantes com 2 banhos diários de 8 minutos por pessoa. O custo total do sistema, com base nos materiais e mão de obra, é de R\$ 9.068,02.

Considerando um chuveiro de 6800 W utilizado por 64 minutos/dia (1,07 h), o consumo mensal de energia elétrica para aquecimento de água por chuveiro elétrico foi estipulado utilizando a Equação (4.2) e é calculado na Equação (4.11).

$$CM = \frac{6800}{1000} \times 1,07 \times 30 = 218,28 \text{ kWh/mês} \quad (4.11)$$

De acordo com a Equação (4.4), a economia mensal gerada pelo sistema de aquecimento solar de água é calculada na Equação (4.12).

$$E_{AS} = 218,28 \text{ kWh/mês} \times R\$ 1,09/\text{kWh} \approx R\$ 237,93/\text{mês} \quad (4.12)$$

Conforme a Equação (4.5), o tempo de *payback* é calculado na Equação (4.13).

$$T_{P-AS} = \frac{R\$ 9068,02}{R\$ 237,93/\text{ms}} = 38,11 \text{ meses} \approx 39 \text{ meses} \quad (4.13)$$

Após o período de 39 meses, o sistema passa a gerar água aquecida sem custos adicionais significativos. Os principais benefícios incluem redução da demanda elétrica durante horários de pico, conservação de recursos naturais e redução de emissões de carbono e redução do consumo mensal de energia elétrica, permitindo maior eficiência no uso geral.

4.2.3 Residência 3 - Grande Porte

A terceira residência analisada é uma casa térrea localizada em Cidade Ocidental, Goiás. O imóvel possui três quartos, três banheiros, sala, cozinha, área gourmet e piscina, e é habitado por seis moradores.

Com base nas faturas fornecidas, foram obtidos os seguintes dados: Consumo mensal de energia elétrica de 597 kWh, custo mensal de energia elétrica de R\$ 630,49, Figura 4.5, consumo mensal de água de 19 m³ (com um consumo estimado em 9 m³) e custo mensal da conta de água de R\$ 107,58, Figura 4.6.

Sistema Fotovoltaico: Dimensionado com base no consumo médio mensal de energia elétrica, que é de 534 kWh, conforme informações da fatura de energia na Figura 4.5. O objetivo é atender integralmente a essa demanda, proporcionando independência parcial ou total da rede elétrica convencional, além de uma significativa economia financeira ao longo do tempo. Para atender a essa necessidade, foram especificados os componentes fundamentais do sistema, como módulos fotovoltaicos, inversores, cabos elétricos, estruturas de fixação, dispositivos de proteção e sistemas de aterramento, conforme normas técnicas vigentes, incluindo a NBR 16690 e a NBR 5410.

Foram dimensionados 12 módulos fotovoltaicos de 450 W cada, 1 inversor

DANFE - DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA

Equatorial Goiás Distribuidora de Energia S.A.
CNPJ: 01.543.032/0001-04 • IE: 100.549.420
Rua 2, Qd. A-37, Nº 505 - Jardim Goiás - Goiânia-GO • CEP: 74.805-180

Segunda via

Classificação: B B1 RESIDENCIAL - RESIDENCIAL NORMAL CONVENCIONAL Tipo de fornecimento: MONOFÁSICO

Tensão Nominal Disp: 220 V Lim Min: 200,2 V Lim Max: 231,0 V

CEP: 72880000 CIDADE OCIDENTAL GO BRASIL
PERDAS DE TRANSFORMAÇÃO / RAMAL: 0%

Parceiro de Negócio

Unidade Consumidora

Conta mês
DEZ/2024

Vencimento
23/12/2024

Total a pagar
R\$***630,49**

Data das Leituras: 06/11/2024 09/12/2024 Nº de Dias: 33 Próxima Leitura: 08/01/2025

NOTA FISCAL Nº 126835896 - SÉRIE O / DATA DE EMISSÃO: 13/12/2024 10:31:31

Consulte pela Chave de Acesso em:
<https://dle-portal.svrs.rs.gov.br/NF3e/consulta>
Chave de acesso:
52241201543032000104660001268358961088430903
Protocolo de autorização: 3522400035220445 - 13/12/2024 às 10:46:04
CFOP 5258: Venda de energia elétrica para não contribuinte

INFORMAÇÕES PARA O CLIENTE

Itens de fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)	PIS/COFINS	Base Calc. ICMS (R\$)	Alíquota. ICMS (R\$)	ICMS	Tarifa unit. (R\$)
FORNECIMENTO									
ADC BANDEIRA AMARELA	kWh	597,00	0,017875	10,67	0,46	10,67	19%	2,03	0,013709
CONSUMO	kWh	597,00	0,972678	580,69	25,03	580,69	19%	110,33	0,745930
ITENS FINANCEIROS									
CONTRIB. ILUM. PÚBLICA - MUNICIPAL				26,24					
JUROS MORATÓRIA				1,84					
MULTA - 11/2024				11,05					
TOTAL				630,49	25,50	591,36		112,36	

Tributo	Base (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
PIS/PASEP	479	0,949%	4,55
ICMS	591,36	19%	112,36
COFINS	479	4,3742%	20,95

MÊS/ANO	CONSUMO (FATURADO) (kWh)	DIAS	TÍPO DE FATURAMENTO
MÉDIA		534,23	
DEZ/24		597,00	33 LIDA
NOV/24		512,00	32 LIDA
OUT/24		580,00	30 LIDA
SET/24		475,00	29 LIDA
AGO/24		452,00	30 LIDA
JUL/24		564,00	32 LIDA
JUN/24		499,00	31 LIDA
MAI/24		531,00	31 LIDA
ABR/24		504,00	30 LIDA
MAR/24		501,00	29 LIDA
FEV/24		505,00	29 LIDA
JAN/24		604,00	31 LIDA
DEZ/23		621,00	32 LIDA

☐ Ativo

Medidor	Grandezas	Postos horários	Leitura Anterior	Leitura Atual	Const Medidor	Consumo kWh
11913299-1	ENERGIA ATIVA - KWH	ÚNICO	33308	33905	1,000000	597

Reservado ao Fisco

Resolução ANEEL: 3407/24 Apresentação: 16/12/2024 Nº do Programa Social:

REAVISO DE VENCIMENTO

LIGUE GRÁTIS 0800 062 0196
ATENDIMENTO GRATUITO 24H
Acesse o nosso site: equatorialenergia.com.br
Fale com a Clara pelo WhatsApp: (62) 3242-2020
Ou envie mensagem por: @equatorialgoias @equatorialgoias

DIREITOS
É direito do consumidor ou da central geradora de solicitar à distribuidora o detalhamento da apuração dos indicadores DIC, FIC, DMIC e DICRI a qualquer tempo.
É direito do consumidor ou da central geradora de receber uma compensação, caso sejam violados os limites de continuidade individuais relativos à unidade consumidora ou central geradora.

Outros dados Equatorial Goiás: 0800 062 1500
Ligação gratuita de telefones fixos e móveis de qualquer rede, sem custo de ligação.
Agência Gestora de Regulação - AGR 0800 727 0167
Ligação gratuita de telefones fixos.
Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 167.
Ligação gratuita de telefones fixos e móveis.

Figura 4.5: Fatura de Energia - Residência 3

monofásico de 6 kW, que inclui proteções contra surtos e sobrecargas, disjuntores, DPS e cabos elétricos dimensionados de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 5410 [25]. A instalação contempla ainda estruturas de fixação adaptadas ao telhado da residência, e um sistema de aterramento eficaz para proteger contra descargas atmosféricas. O custo estimado para a instalação completa, considerando materiais, mão de obra especializada e todos os acessórios necessários, é de aproximadamente R\$ 18.943,21, conforme descrito na Tabela 4.5.

Sistema de Aquecimento Solar: Para o aquecimento de água, foi especificado



Saneamento de Goiás S.A.
CNPJ:01.616.929/0001-02 - INSC. EST. 10.013.359-6



CIDADE OCIDENTAL CEP : 72883703

Fatura de água, esgoto e serviços

Número da conta:

Número da fatura:

Data de emissão:

30/12/2024

Mês de referência:

DEZ/2024

Vencimento:

15/01/2025

Valor (R\$):

107,58

Tributação aproximada (R\$):

9,75

Quantidade de unidades atendidas

Serviço	Social	Residencial	Comercial	Comercial 2	Industrial	Público
Água		001				
Esgoto						

Descrição dos serviços

Valor (R\$)

ATUALIZACAO MONETARIA	0,33
CUSTO MINIMO FIXO	15,98
TARIFA AGUA - RESIDENCIAL	89,42
MULTA ATRASO PAGAMENTO	1,85

O tipo de consumo faturado foi:

Medido - Volume de água registrado no hidrômetro.

Hidrômetro(s)		Leitura(s)			Consumo(s)		
Tipo	Número	Atual	Anterior	Próxima	Faturado m³	Médio m³	Estimado m³
Água Fria	Y09N298067	30/12/2024 1.830	29/11/2024 1.814	30/01/2025	16	19	9

Histórico de consumo :

Tipo/Mês:	JUN/2024	JUL/2024	AGO/2024	SET/2024	OUT/2024	NOV/2024
Água Fria	18	18	19	27	15	14

Aviso

AGRADECEMOS PELA PONTUALIDADE NO PAGAMENTO DE SUA FATURA. DESSA FORMA VOCE CONTRIBUI PARA UM SANEAMENTO BASICO CADA VEZ MELHOR E ACESSIVEL A TODOS.

Mensagem

Sistema de Abastecimento de Água: MORADA DAS GARÇAS

Parâmetros	Cloro residual livre	Fluoreto	Turbidez	Cor aparente	pH	Coliformes totais	Escherichia coli
Nº Mínimo de análises exigidas¹	9	null	9	9	4	9	9
Nº de Análises realizadas²	11	null	11	11	5	11	11
Nº de Análises que atenderam à legislação³	11	null	11	11	5	11	11

Conclusão: A água fornecida é própria para o consumo. Eventuais resultados fora do padrão foram encaminhados para ações corretivas.

Informações mensais ao consumidor em atendimento ao Decreto Federal nº 5.440/2005

¹ Número mínimo de Análises Mensais Exigidas pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017 do Min. da Saúde - Anexo XX e XXI.

² Número de Análises Mensais Realizadas pela Saneago. / ³ Número de Análises Mensais que Atendem à Portaria de Potabilidade Vigente.

Figura 4.6: Fatura de Água - Residência 3

Tabela 4.5: Custo total do sistema fotovoltaico - Residência de grande porte

Item	Descrição	Código	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Módulos Fotovoltaicos	Módulo fotovoltaico (450 W, tensão máx. 1000 VCC, eficiência mínima 20%)	00034472	12 unidades	897,37	10.768,44
Inversor Solar	Inversor Solar Monofásico 6kW 220V Growatt MIN6000TL-X	-	1 unidade	3.699,00	3.699,00
Estruturas de Fixação	Suporte para 12 módulos	-	12 unidades	200,00	2.400,00
Cabos Elétricos (CC)	Cabo PVC	00036246	20 metros	3,77	75,40
Cabos Elétricos (CA)	Cabo PVC	00036246	20 metros	3,77	75,40
Conectores MC4	Conector padrão para sistemas fotovoltaicos	-	14 unidades	12,00	168,00
String Box (Disjuntores CC)	Disjuntor CC (10A)	00021114	1 unidade	35,31	35,31
DPS CC	Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS), Classe II, tecnologia MOV, para sistemas fotovoltaicos	00039475	1 unidade	149,35	149,35
Quadro de Proteção CA	Disjuntor CA (16A)	00021114	1 unidade	35,31	35,31
Quadro de Proteção CA	DPS CA - Dispositivo DPS Classe II, 1 polo, tensão máx. 385 V, corrente máx. 45 kA	00039475	1 unidade	205,15	205,15
Sistema de Aterramento	Haste de aterramento	-	1 unidade	80,00	80,00
Sistema de Aterramento	Cabos de proteção (PVC)	00036246	20 metros	3,77	75,40
Mão de Obra Especializada	Técnico instalador de sistemas fotovoltaicos (16h x 2 profissionais - R\$ 13,11/h)	00000247	32 horas	13,11	419,52
Mão de Obra Especializada	Eletricista especializado (16h - R\$ 26,64/h)	00000253	16 horas	26,64	426,24
Mão de Obra Especializada	Montadores para estruturas (12h x 2 profissionais - R\$ 15,25/h)	00000248	24 horas	15,25	366,00
Total	-	-	-	-	18.943,21

um sistema integrado com um reservatório de 800 litros e 4 placas coletoras de 2 m². O sistema é suficiente para atender às necessidades hídricas dos seis moradores, considerando um consumo diário médio de água quente. Adicionalmente, foram incluídos tubulações, isolamentos térmicos e válvulas de segurança para garantir a eficiência e a segurança do sistema.

O custo total do sistema de aquecimento solar foi estimado em R\$ 17.058,02, incluindo todos os materiais necessários e a mão de obra especializada para instalação, conforme mostra a Tabela 4.6. A simplicidade do sistema, em comparação ao fotovoltaico, reduz os custos iniciais, tornando-o mais acessível para quem busca uma solução econômica de curto prazo.

Tabela 4.6: Custo total do sistema de aquecimento solar - Residência de grande porte

Item	Descrição	Código	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Sistema Integrado (Coletores + Reservatório)	Aquecedor solar compacto com reservatório térmico de 200L e placa coletora de 2 m ² e acessórios (kit compacto)	00034472	4 conjuntos	3.365,00	13.460,00
Estruturas de Suporte	Incluídas no kit para o coletor	-	-	0,00	0,00
Tubulações	Tubulação CPVC	00037997	30 metros	5,85	175,50
Isolamento Térmico para Tubos	Isolamento térmico para tubulações	-	30 metros	10,00	300,00
Válvulas	Válvula de retenção, válvula de alívio de pressão e válvula misturadora	-	12 unidades	-	1.920,00
Conexões e Acessórios Hidráulicos	Luvas, joelhos, registros e conexões	-	-	-	600,00
Mão de Obra Especializada	Instalador com experiência em sistemas solares (16h x 2 profissionais - R\$ 13,11/h)	00000247	32 horas	13,11	419,52
Mão de Obra Especializada	Encanador especializado (12h - R\$ 15,25/h)	00000248	12 horas	15,25	183,00
Total	-	-	-	-	17.058,02

Para avaliar o retorno financeiro de cada sistema, foram calculados os tempos de *payback* com base nos custos iniciais e na economia mensal estimada.

Sistema Fotovoltaico: A economia mensal esperada com o sistema fotovoltaico foi recalculada com base no consumo de 534 kWh, Figura 4.5, e no custo médio real

de R\$ 1,06/kWh, calculado a partir do valor total da fatura de R\$ 630,49 dividido pelo consumo de 597 kWh. Dessa forma, a economia mensal proporcionada pelo sistema é de R\$ 630,12. O custo total do sistema, considerando os orçamentos detalhados, é de R\$ 18.943,21. O tempo de *payback* é então calculado pela Equação (4.14).

$$T_{P-FV} = \frac{R\$ 18943,21}{R\$ 630,12/mês} \approx 30 \text{ meses} \quad (4.14)$$

Sistema de Aquecimento Solar: Para o sistema de aquecimento solar, o consumo médio de água é de 19 m³/mês (estimativa de consumo: 9 m³), Conta mensal de água: R\$ 107,58, Figura 4.6. O consumo médio de energia elétrica para aquecimento de água por chuveiro elétrico foi estipulado considerando 6 habitantes com 2 banhos diários de 10 minutos por pessoa. O custo total do sistema, com base nos materiais e mão de obra, é de R\$ 17.058,02.

Considerando um chuveiro de 7500 W utilizado por 120 minutos/dia (2 h), o consumo mensal de energia elétrica para aquecimento de água por chuveiro elétrico foi estipulado utilizando a Equação (4.2) e é calculado na Equação (4.15).

$$CM = \frac{7500}{1000} \times 2 \times 30 = 450 \text{ kWh/mês} \quad (4.15)$$

De acordo com a Equação (4.4), a economia mensal gerada pelo sistema de aquecimento solar de água é calculada na Equação (4.16).

$$E_{AS} = 450 \text{ kWh/mês} \times R\$ 1,18/\text{kWh} \approx R\$ 531,00/\text{mês} \quad (4.16)$$

Conforme a Equação (4.5), o tempo de *payback* é calculado na Equação (4.17).

$$T_{P-AS} = \frac{R\$ 17058,02}{R\$ 531,00/mês} = 32,12 \text{ meses} \approx 33 \text{ meses} \quad (4.17)$$

Após o período de 33 meses, o sistema passa a gerar água aquecida sem custos adicionais significativos. Os principais benefícios incluem redução da demanda elétrica durante horários de pico, conservação de recursos naturais e redução de emissões de carbono e redução do consumo mensal de energia elétrica, permitindo maior eficiência no uso geral.

4.3 Análise Comparativa dos Resultados

Nesta subseção, foi realizada a análise comparativa entre os sistemas de energia solar fotovoltaica e aquecedor solar de água, utilizando os dados das três residências. O dimensionamento dos sistemas foi realizado com base no consumo energético e hídrico da residência, utilizando os dados fornecidos para calcular os componentes necessários para cada solução.

4.3.1 Residência 1 - Pequeno Porte

Diante da análise dos dois sistemas de energia renovável – o sistema fotovoltaico e o sistema de aquecimento solar de água – conclui-se que ambos apresentam benefícios econômicos e ambientais significativos, sendo viáveis para a residência analisada. No entanto, a escolha deve considerar o melhor custo-benefício para o cliente, levando em conta o retorno financeiro e o impacto nas despesas mensais. A Tabela 4.7 tem o objetivo de comparar sob diferentes critérios o sistema fotovoltaico e o de aquecimento solar.

Tabela 4.7: Comparação entre os sistemas - Residência pequeno porte

Critério	Fotovoltaico	Aquecimento Solar
Custo Total (R\$)	8.158,17	5.064,52
Economia Mensal (R\$)	169,64	108,44
Payback (meses)	48	47
Vida Útil (anos)	25	20
Benefícios Ambientais	Alto	Médio
Redução de Custos	Energia elétrica total	Energia para aquecimento do chuveiro

O sistema fotovoltaico oferece uma economia mensal de R\$ 169,64, resultando em um retorno do investimento (*payback*) de aproximadamente 48 meses. Além de reduzir significativamente a conta de energia elétrica como um todo, este sistema permite maior independência da rede elétrica, valorização do imóvel e contribui para a sustentabilidade ao longo de mais de 25 anos de vida útil. É ideal para quem busca um impacto mais amplo nas despesas de energia elétrica.

Já o sistema de aquecimento solar de água reduz especificamente o consumo de energia elétrica associado ao uso do chuveiro elétrico. Com um custo inicial

menor, ele proporciona uma economia mensal estimada de R\$ 87,45 e um *payback* de aproximadamente 58 meses. Esse sistema é mais focado e eficaz para residências com elevado consumo de água quente, sendo uma opção sustentável para redução de custos no longo prazo.

Embora ambos os sistemas apresentem vantagens, o sistema de aquecimento solar é a melhor escolha para este consumidor de pequeno porte, considerando o custo-benefício geral e o retorno mais rápido, tornando-o mais atrativo como investimento.

4.3.2 Residência 2 - Médio Porte

Diante da análise dos dois sistemas de energia renovável – o sistema fotovoltaico e o sistema de aquecimento solar de água – conclui-se que ambos apresentam benefícios econômicos e ambientais significativos, sendo viáveis para a residência analisada, como mostra a Tabela 4.8. No entanto, a escolha deve considerar o melhor custo-benefício para o cliente, levando em conta o retorno financeiro e o impacto nas despesas mensais.

Tabela 4.8: Comparação entre os sistemas - Residência de médio porte

Critério	Fotovoltaico	Aquecimento Solar
Custo Total (R\$)	13.210,03	9.068,02
Economia Mensal (R\$)	368,34	237,93
Payback (meses)	36	39
Vida Útil (anos)	25	20
Benefícios Ambientais	Alto	Médio
Redução de Custos	Energia elétrica total	Energia para aquecimento do chuveiro

O sistema fotovoltaico oferece uma economia mensal de R\$ 368,34, resultando em um retorno do investimento (*payback*) de aproximadamente 36 meses. Além de reduzir significativamente a conta de energia elétrica como um todo, este sistema permite maior independência da rede elétrica, valorização do imóvel e contribui para a sustentabilidade ao longo de mais de 25 anos de vida útil. É ideal para quem busca um impacto mais amplo nas despesas de energia elétrica.

Já o sistema de aquecimento solar de água reduz especificamente o consumo de energia elétrica associado ao uso do chuveiro elétrico. Com um custo inicial menor,

ele proporciona uma economia mensal estimada de R\$ 237,93 e um *payback* de aproximadamente 39 meses. Esse sistema é mais focado e eficaz para residências com elevado consumo de água quente, sendo uma opção sustentável para redução de custos no longo prazo.

Embora ambos os sistemas apresentem vantagens, o sistema fotovoltaico é a melhor escolha para este consumidor de médio porte, considerando o custo-benefício geral. Ele possui um retorno mais rápido, maior impacto na redução de despesas mensais e abrange o consumo total de energia elétrica da residência. Além disso, sua versatilidade e longevidade tornam-no mais atrativo como investimento.

4.3.3 Residência 3 - Grande Porte

Da mesma forma, como mostra a Tabela 4.9, conclui-se que ambos apresentam benefícios econômicos e ambientais significativos, sendo viáveis para a residência analisada. No entanto, a escolha deve considerar o melhor custo-benefício para o cliente, levando em conta o retorno financeiro e o impacto nas despesas mensais.

Tabela 4.9: Comparação entre os sistemas - Residência de grande porte

Critério	Fotovoltaico	Aquecimento Solar
Custo Total (R\$)	18.943,21	17.058,02
Economia Mensal (R\$)	630,12	531,00
Payback (meses)	30	33
Vida Útil (anos)	25	20
Benefícios Ambientais	Alto	Médio
Redução de Custos	Energia elétrica total	Energia para aquecimento do chuveiro

O sistema fotovoltaico oferece uma economia mensal de R\$ 630,12, resultando em um retorno do investimento (*payback*) de aproximadamente 30 meses. Além de reduzir significativamente a conta de energia elétrica como um todo, este sistema permite maior independência da rede elétrica, valorização do imóvel e contribui para a sustentabilidade ao longo de mais de 25 anos de vida útil. É ideal para quem busca um impacto mais amplo nas despesas de energia elétrica.

Já o sistema de aquecimento solar de água reduz especificamente o consumo de energia elétrica associado ao uso do chuveiro elétrico. Com um custo inicial menor,

ele proporciona uma economia mensal estimada de R\$ 531,00 e um *payback* de aproximadamente 33 meses. Esse sistema é mais focado e eficaz para residências com elevado consumo de água quente, sendo uma opção sustentável para redução de custos no longo prazo.

Embora ambos os sistemas apresentem vantagens, o sistema fotovoltaico é a melhor escolha para este consumidor de grande porte, considerando o custo-benefício geral. Ele possui um retorno mais rápido, maior impacto na redução de despesas mensais e abrange o consumo total de energia elétrica da residência. Além disso, sua versatilidade e longevidade tornam-no mais atrativo como investimento.

De acordo com Maidana (2017) [10], em residências de pequeno porte, os sistemas de aquecimento solar de água tendem a ter um retorno financeiro mais rápido devido ao menor consumo de energia elétrica e à maior demanda por água quente [15]. Já em residências de grande porte, como apontado por Júnior *et al.* (2018) [30], os sistemas fotovoltaicos mostram-se mais eficientes e com maior potencial de economia a longo prazo, especialmente devido ao alto consumo energético.

4.4 Discussão dos Resultados

A análise dos resultados revelará as vantagens e desvantagens de cada sistema de energia solar para diferentes perfis de consumo e tipos de residência. No geral:

- **Residência de Pequeno Porte:** O aquecedor solar de água apresenta uma melhor relação custo-benefício, dado que o consumo de energia elétrica é menor, e a demanda por água quente é relativamente constante. De acordo com Altoé *et al.* (2012) [31], sistemas de aquecimento solar podem reduzir em até 70% o consumo de eletricidade relacionado ao aquecimento de água [31].
- **Residência de Médio Porte:** O uso combinado de sistemas fotovoltaicos e aquecedores solares de água tende a ser mais vantajoso. A economia gerada na conta de energia elétrica, combinada com a redução no custo de aquecimento de água, maximiza os benefícios. Estudos como o de Medeiros *et al.* (2014) [8] apontam que a combinação de sistemas pode resultar em um retorno financeiro

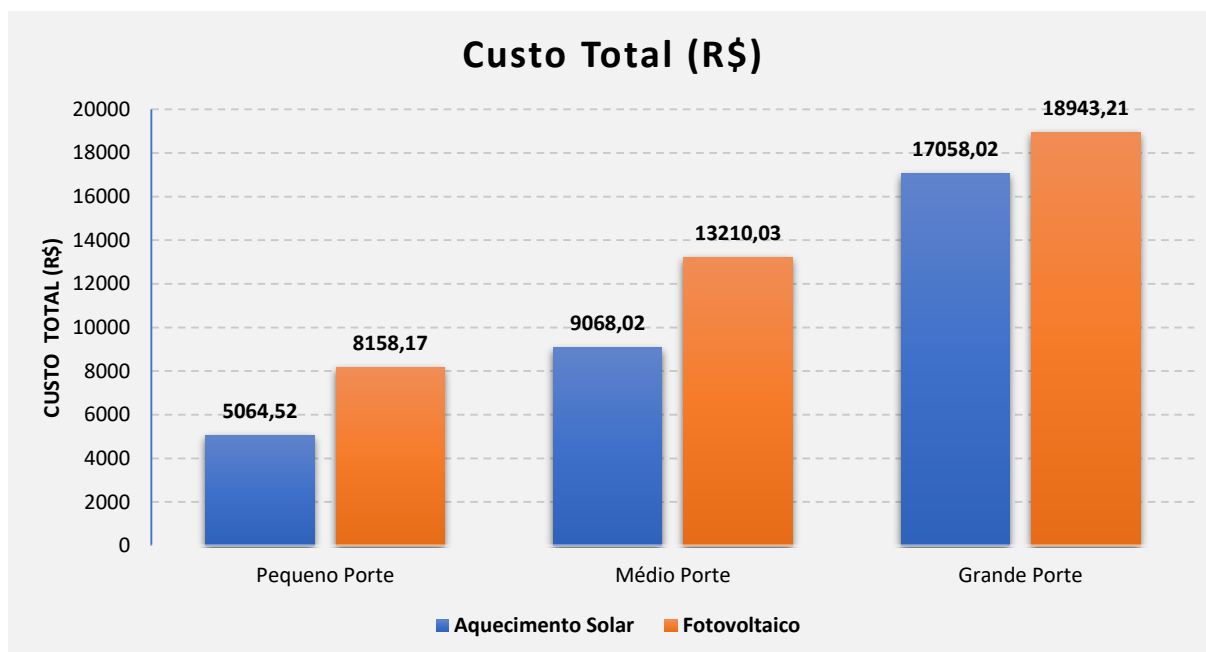


Figura 4.7: Custo total em reais dos sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico para os modelos de residências de pequeno, médio e grande porte

rápido, com *payback* abaixo de 8 anos [8].

- **Residência de Grande Porte:** O sistema fotovoltaico destaca-se como a melhor escolha. O elevado consumo de energia elétrica torna o sistema fotovoltaico mais atrativo a longo prazo, com uma economia significativa e um retorno relativamente rápido sobre o investimento, como observado por Milano (2023) [5].

A Figura 4.7 apresenta o custo total (em reais) dos sistemas de aquecimento solar de água e fotovoltaico para residências de pequeno, médio e grande porte.

Na residência de pequeno porte, o aquecimento solar custa R\$ 5.064,52, enquanto o fotovoltaico custa R\$ 8.158,17. Para a residência de médio porte, o aquecimento solar custa R\$ 9.068,02 e o fotovoltaico, R\$ 13.210,03. Já para a residência de grande porte, o aquecimento solar custa R\$ 17.058,02, enquanto o fotovoltaico chega a R\$ 18.943,21.

O aquecimento solar tem um custo inicial menor, sendo o fator decisivo para assegurar a viabilidade econômica. O fotovoltaico, apesar de mais caro, pode compensar pelo menor tempo de *payback*, conforme a Figura 4.9, gerando maior economia no longo prazo.

Em pequenas residências, o fotovoltaico é bem mais caro, o que pode torná-lo

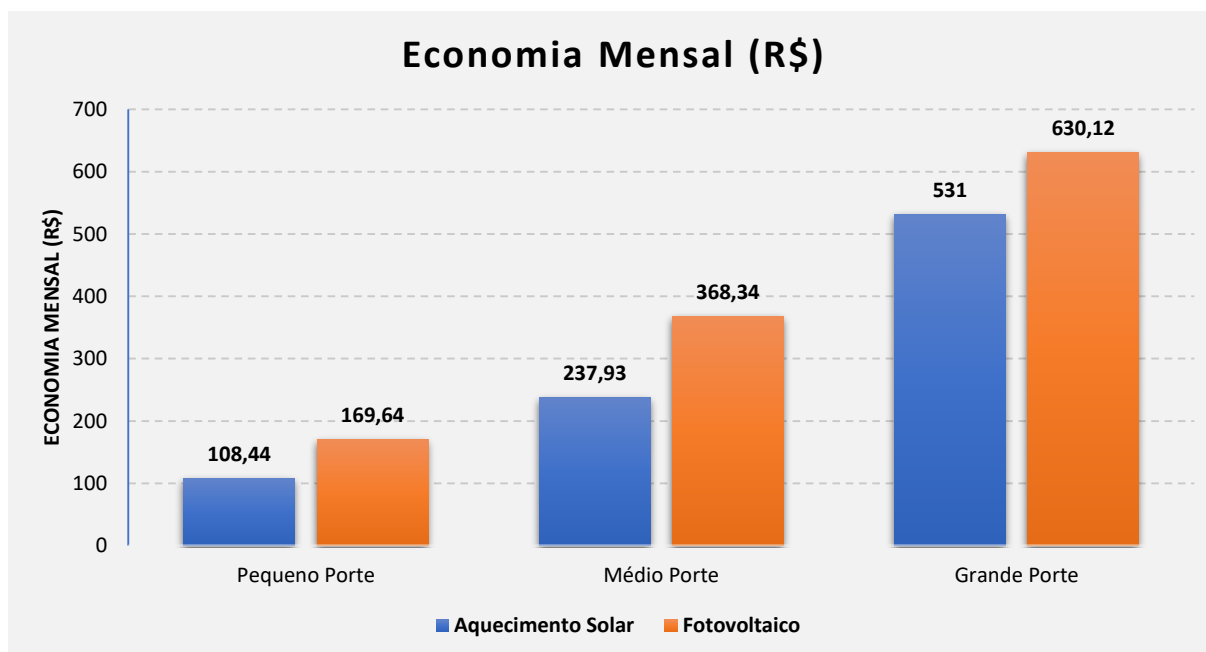


Figura 4.8: Economia mensal em reais dos sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico para os modelos de residências de pequeno, médio e grande porte

menos atrativo financeiramente. Para grandes residências, a diferença de custo entre os dois sistemas diminui, tornando o fotovoltaico mais viável devido à sua maior eficiência na redução da conta de energia.

A Figura 4.8, apresenta a economia mensal (em reais) gerada pelos sistemas de aquecimento solar de água e fotovoltaico em residências de pequeno, médio e grande porte. Na residência de pequeno porte o sistema de aquecimento solar gera uma economia de R\$ 108,44, enquanto o fotovoltaico economiza R\$ 169,64.

Na residência de médio porte, o aquecimento solar economiza R\$ 237,93, enquanto o fotovoltaico economiza R\$ 368,34. Já na residência de grande porte, o aquecimento solar gera economia de R\$ 531,00, enquanto o fotovoltaico economiza R\$ 630,12. O fotovoltaico continua sendo mais vantajoso, porém a diferença entre os sistemas diminui.

Em todos os casos, o sistema fotovoltaico proporciona uma economia maior na conta de energia. Esse fator pode compensar o seu custo inicial mais alto, tornando-o mais rentável a longo prazo. A economia cresce conforme o porte da residência. Quanto maior a residência, maior a economia gerada pelos dois sistemas. Isso é justificado pelo maior consumo de energia devido aos aparelhos de ar condicionado (na residência de médio porte) e à piscina (na residência de grande porte), que resulta

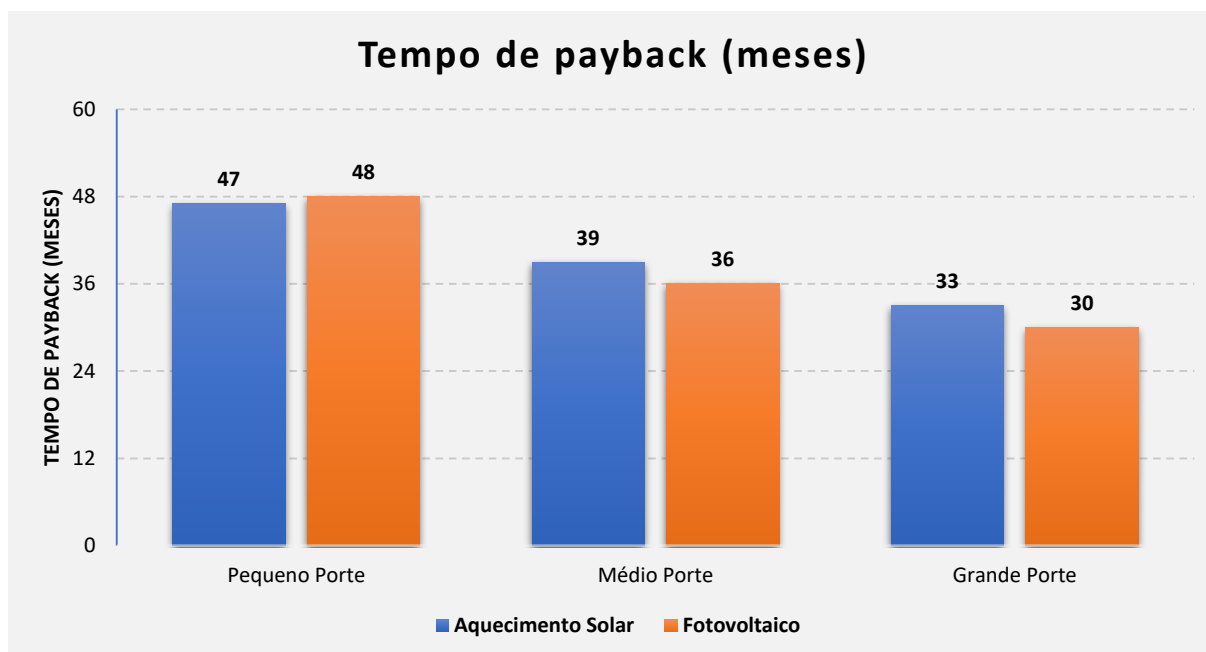


Figura 4.9: Payback em meses dos sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico para os modelos de residências de pequeno, médio e grande porte

em um impacto financeiro mais significativo ao reduzir os gastos com eletricidade.

Embora o aquecimento solar tenha um custo inicial menor (conforme observado na Figura 4.7, sua economia mensal também é menor em comparação ao fotovoltaico. Sendo assim, visando o obter o retorno do investimento mais breve, o sistema fotovoltaico é mais atrativo em residências de médio e grande porte.

A Figura 4.9 apresenta a comparação do tempo de payback (em meses) para os sistemas de aquecimento solar de água e fotovoltaico em residências de pequeno, médio e grande porte. Na residência de pequeno porte, o sistema de aquecimento solar tem um payback de 47 meses, enquanto o sistema fotovoltaico tem um payback ligeiramente maior, de 48 meses. Isso sugere que, para casas menores, os dois sistemas possuem um tempo de retorno muito próximo.

Para a residência de médio porte, o payback do aquecimento solar é 39 meses, enquanto o do fotovoltaico é 36 meses. Neste caso, o sistema fotovoltaico apresenta um retorno mais rápido, indicando maior viabilidade econômica em médio prazo.

Já para a residência de grande porte, o tempo de retorno do aquecimento solar é de 33 meses, enquanto o do fotovoltaico é de 30 meses. O payback reduzido sugere que, para residências maiores, o sistema fotovoltaico é uma opção mais vantajosa

economicamente.

Sendo assim, o sistema fotovoltaico apresenta menor payback em residências de médio e grande porte, tornando-se uma alternativa mais atrativa do ponto de vista econômico para essas categorias, pois está relacionado ao maior consumo de energia, tornando o sistema fotovoltaico mais eficiente na economia da fatura de energia.

A escolha de sistemas solares para diferentes tipos de residências não deve apenas considerar o custo inicial, mas também o perfil de consumo e o potencial de economia a longo prazo. Nas residências de pequeno porte, o aquecedor solar de água apresenta-se como uma solução mais viável economicamente. Esse tipo de residência, normalmente com menor consumo de energia elétrica, beneficia-se mais com a substituição do chuveiro elétrico por um sistema de aquecimento solar. Como descrito em Maidana (2017) [10], os sistemas de aquecimento solar oferecem um retorno sobre o investimento mais rápido em locais onde a demanda por água quente é significativa [10]. Além disso, o custo de instalação relativamente baixo do aquecedor solar torna essa opção mais acessível para famílias que desejam reduzir sua dependência de fontes de energia convencionais sem incorrer em grandes investimentos iniciais.

Por outro lado, nas residências de médio porte, a combinação de um sistema fotovoltaico com um aquecedor solar de água pode oferecer o melhor dos dois mundos. Nesse caso, o sistema fotovoltaico pode ser utilizado para suprir a energia elétrica utilizada em outras atividades, enquanto o aquecedor solar reduz significativamente o consumo elétrico associado ao aquecimento de água. Essa combinação é particularmente vantajosa em residências com um consumo balanceado entre eletricidade e água quente, onde o custo de investimento inicial em ambos os sistemas pode ser recuperado em um período de tempo razoável. Estudos como o de Medeiros *et al.* (2014) [8] sugerem que o uso combinado desses sistemas pode resultar em uma economia considerável a médio e longo prazo [8].

Já para residências de grande porte, onde o consumo de energia elétrica é alto, o sistema fotovoltaico tende a se destacar como a solução mais eficiente a longo prazo. O grande consumo de eletricidade nesses casos faz com que o investimento em um sistema fotovoltaico tenha um *payback* relativamente rápido, especialmente quando comparado com o custo da energia elétrica tradicional. Além disso, residências de

grande porte costumam ter espaço suficiente para a instalação de um número maior de painéis fotovoltaicos, maximizando a geração de energia e, consequentemente, aumentando a economia gerada ao longo do tempo. Segundo Milano (2019) [5], residências com maior consumo de energia podem recuperar o investimento em sistemas fotovoltaicos em menos de cinco anos, o que torna essa opção extremamente atrativa para grandes consumidores [5].

Outro fator importante a ser considerado é a sustentabilidade proporcionada pela combinação dos dois sistemas. A utilização de energias renováveis, como a solar, não só reduz a dependência de fontes não-renováveis, como também diminui a emissão de gases de efeito estufa. Como mencionado por Altoé *et al.* (2012) [31], a substituição de chuveiros elétricos por aquecedores solares reduz o consumo de energia elétrica em até 70% em determinadas regiões, o que, além de gerar economia, tem um impacto ambiental positivo [31]. No caso das grandes residências, o sistema fotovoltaico contribui diretamente para a produção de energia limpa, ajudando a mitigar o impacto ambiental causado pelo uso excessivo de energia proveniente de usinas termoeletricas, que utilizam combustíveis fósseis.

O respeito às normas técnicas é imprescindível para garantir a segurança e eficiência dos sistemas instalados. As normas como a NBR 15569 (2021) [24], que estabelece os requisitos para o projeto e instalação de sistemas de aquecimento solar de água, e a NBR 5410 (2004) [25], que regula as instalações elétricas de baixa tensão, são fundamentais para assegurar que os sistemas estejam devidamente dimensionados e instalados, evitando sobrecargas, acidentes e ineficiências. Além disso, a NBR 16274 (2014) [32] traz diretrizes específicas para o comissionamento de sistemas fotovoltaicos, garantindo que os equipamentos estejam funcionando adequadamente desde o início de sua operação. Portanto, seguir as regulamentações não só assegura o retorno financeiro esperado, como também proporciona maior durabilidade e segurança para os usuários dos sistemas solares.

Ao se deparar com a escolha entre a instalação de um sistema de energia solar fotovoltaica ou um sistema de aquecimento solar de água, o cliente deve levar em conta diversos fatores, como o perfil de consumo de energia elétrica e água quente, o investimento inicial, os custos de manutenção e o tempo de *payback*.

Segundo Milano (2023) [5], o sistema fotovoltaico pode gerar economias expressivas em residências com alto consumo de energia, recuperando o investimento em menos de cinco anos [5]. Medeiros *et al.* (2014) [8] observou que o uso combinado de energia fotovoltaica e sistemas de aquecimento solar de água pode maximizar a eficiência energética e oferecer um retorno financeiro mais rápido, especialmente em residências maiores.

Capítulo 5

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo analisar comparativamente a viabilidade econômica, ambiental e sustentável dos sistemas de energia solar fotovoltaica e de aquecimento solar de água em residências. Ao longo do estudo, foram abordados conceitos teóricos, avanços tecnológicos, normas reguladoras e um estudo de caso para fundamentar a avaliação entre as duas tecnologias. Através dessa análise, foi possível verificar as vantagens e limitações de cada sistema, permitindo que os usuários tomem decisões informadas sobre a melhor solução para suas necessidades energéticas e financeiras.

Do ponto de vista econômico, os resultados indicam que tanto o sistema fotovoltaico quanto o sistema de aquecimento solar de água apresentam vantagens financeiras ao longo do tempo, especialmente em regiões com alta incidência solar. O sistema de aquecimento solar de água, por sua simplicidade e menor custo de instalação, mostrou-se uma opção com retorno mais rápido em termos de economia na conta de energia destinada ao aquecimento de água. Por outro lado, o sistema fotovoltaico, apesar de demandar um investimento inicial mais elevado, oferece uma economia abrangente na conta de energia elétrica, compensando o investimento em médio a longo prazo. Esses resultados confirmam que a escolha entre os sistemas depende diretamente do perfil de consumo e das prioridades de cada residência.

Sob a perspectiva ambiental, os dois sistemas contribuem significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que diminuem a dependência de fontes de energia não renováveis. A utilização de energia solar, seja para geração de eletricidade ou aquecimento de água, promove uma matriz energética mais limpa

e reduz o impacto ambiental associado ao uso de combustíveis fósseis. Além disso, o uso de energia solar está alinhado com os ODS, especialmente no que tange ao acesso a energia limpa e acessível e à mitigação das mudanças climáticas. Este estudo reforça que a escolha por energias renováveis não só traz benefícios econômicos, mas também contribui para um futuro mais sustentável.

Em termos de sustentabilidade, foi possível concluir que ambos os sistemas representam soluções sustentáveis para o setor energético residencial. O uso de uma fonte de energia renovável e abundante como o sol contribui para a preservação de recursos naturais e promove uma cultura de consumo energético consciente. A instalação de sistemas solares nas residências também estimula a conscientização ambiental e incentiva a comunidade a adotar práticas sustentáveis. Neste contexto, os sistemas solares não apenas beneficiam diretamente os usuários, mas também impulsionam um movimento em prol da sustentabilidade e da responsabilidade ambiental.

Este trabalho evidenciou que tanto o sistema de energia solar fotovoltaica quanto o sistema de aquecimento solar de água têm o potencial de transformar o setor energético residencial. A escolha entre um ou outro sistema, ou até mesmo a opção por instalar ambos, dependerá de fatores específicos como o perfil de consumo da residência, o orçamento disponível e os objetivos individuais em relação à economia e à sustentabilidade. Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que a energia solar é uma alternativa viável e vantajosa para os consumidores residenciais, sendo uma opção econômica, ambiental e socialmente responsável para o futuro.

Referências Bibliográficas

- [1] EPE. *Fontes de Energia*. Acesso em: 31 de janeiro de 2025. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>>.
- [2] MONTAUTE, M. G.; GOMES, C. de M. Energia solar destinada ao aquecimento de água: uma análise de viabilidade entre fontes renováveis para residências unifamiliares. In: *XVIII Encontro Nacional de Engenharia e Desenvolvimento Social Crise e Transição: Engenheirando Alternativas*. Belo Horizonte, Brasil: [s.n.], 2023.
- [3] Organização das Nações Unidas. *Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano*. In: *Anais Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano*. Estocolmo, 6p., 1972.
- [4] MEADOWS, D. H. et al. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*.
- [5] MILANO, R. A.; SILVA, L. Estudo da viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica em uma residência unifamiliar. In: . Brasil: [s.n.], 2019.
- [6] NICOLAI, E. O. P.; NETO, P. C. Mercado de energia solar no brasil. *SOLAR ENERGY MARKET IN BRAZIL*, 2024. Disponível em: <<https://revistaft.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil/>>.
- [7] KULAY, L. A.; VIÑAS, R. S.; HESPANHOL, I. Avaliação de desempenho ambiental de sistemas para fornecimento de água quente para uso doméstico. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1364>>.

- [8] MEDEIROS, J. M. de et al. Avaliação técnica e viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar em um edifício residencial. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, v. 24, 2014.
- [9] COMINATO, C. et al. Percepção dos usuários de sistema de aquecimento solar de água em habitações de interesse social. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo / Paranoá 34 | Edição Temática Água e Mudanças Climáticas*, 2023. Disponível em: <<http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.24>>.
- [10] MAIDANA, V. R. *Análise da viabilidade econômica de sistema residencial de aquecimento solar de água*. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil, 2017.
- [11] BRAGA, M. R. et al. Análise bibliométrica das inovações em tecnologias de geração de energia solar na base scopus. In: *X Congresso Brasileiro de Energia Solar*. Natal, Brasil: [s.n.], 2024.
- [12] Passos Energia Solar. *O que é e como Funciona a Energia Solar*. Acesso em: 22 de janeiro de 2025. Disponível em: <<https://passosenergiasolar.com.br/page4.html>>.
- [13] GEÁ, L. et al. Estudo da viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar de água em uma residência unifamiliar em lagoa santa (mg). In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)*. Porto Alegre, Brasil: [s.n.], 2020.
- [14] Prefeitura do Município de Pirangi. *Prefeitura Promove Incentivos para o Uso de Fontes de Energia Renováveis*. Acesso em: 21 de janeiro de 2025. Disponível em: <<https://www.pirangi.sp.gov.br/noticias/prefeitura-promove-incentivos-para-o-uso-de-fontes-de-energia-renovaveis>>.
- [15] MARTINAZZO, M. *Análise econômica da implantação e utilização de sistemas de aproveitamento de energia solar e de águas pluviais em uma residência unifamiliar*. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil, 2014.

- [16] AMARAL, M. de L. *Análise da viabilidade econômica do projeto elétrico com aproveitamento de energia solar para residências unifamiliares*. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- [17] LIMA, G. M. et al. Procedimentos para a instalação de um sistema microgerador de energia fotovoltaica residencial. In: *III Congresso Internacional de Pesquisa, Ensino e Extensão (CIPEEX)*. Porto Alegre, Brasil: UniEVANGÉLICA, 2018.
- [18] PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. CEPEL - CRESESB, 2014. Acesso em: 21 de outubro de 2024. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>.
- [19] NASPOLINI, H. F.; RÜTHER, R. Impactos da agregação da energia solar térmica sobre o custo do banho quente quanto custa um banho quente? In: *VI Congresso Brasileiro de Energia Solar*. Belo Horizonte, Brasil: [s.n.], 2016.
- [20] ARA, P. J. S.; SOWMY, D. S.; PRADO, R. T. A. Influência de variações da espessura da placa e da quantidade de tubos no fator de eficiência de coletores solares planos para aquecimento de água. In: *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*. Gramado, Brasil: [s.n.], 2018.
- [21] FRANCHISING, A. B. de. *Energia solar: 5 motivos para você começar a investir em uma franquia deste setor em expansão*. Acesso em: 06 de novembro de 2024. Disponível em: <<https://www.abf.com.br/franchisingbrasil/noticias/energia-solar-5-motivos-para-voce-comecar-a-investir-em-uma-franquia-deste-setor-em-expansao>>.
- [22] Grupo E4 Energias Renováveis. *Segurança do trabalho*. Acesso em: 06 de novembro de 2024. Disponível em: <<https://grupoe4.com.br/seguranca-do-trabalho>>.
- [23] ABNT. *NBR 16690 - Instalações elétricas fotovoltaicas*. Acesso em: 06 de novembro de 2024. Disponível em: <<https://sintec-rs.com.br/nova-norma-brasileira-abnt-nbr-16690-de-instalacoes-eletricas-fotovoltaicas>>.
- [24] ABNT. *NBR15569 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Requisitos de projeto e instalação*. Acesso em: 06 de novembro de 2024. Disponível

em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/27001/abnt-nbr15569-sistema-de-aquecimento-solar-de-agua-em-circuito-direto-requisitos-de-projeto-e-instalacao>>.

- [25] ABNT. *NBR5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. Acesso em: 06 de novembro de 2024. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/23327/abnt-nbr5410-instalacoes-eletricas-de-baixa-tensao>>.
- [26] BASSO, L. H. et al. Análise de um sistema de aquecimento de água para residências rurais, utilizando energia solar. *Engenharia Agrícola*, SciELO Brasil, v. 30, p. 14–21, 2010.
- [27] Ministério do Trabalho e Emprego. *NR10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade*. Acesso em: 06 de novembro de 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>>.
- [28] ABNT. *NBR17003 - Sistemas solares térmicos e seus componentes — Coletores solares — Requisitos gerais e métodos de ensaio*. Acesso em: 06 de novembro de 2024. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/13224/abnt-nbr17003-sistemas-solares-termicos-e-seus-componentes-coletores-solares-requisitos-gerais-e-metodos-de-ensaio>>.
- [29] FEDERAL, C. E. *SINAPI: metodologias e conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil*. 8. ed. Brasília: Caixa, 2020a.
- [30] JUNIOR, V. S. et al. Energia fotovoltaica residencial: uma análise econômico financeira de viabilidade. *Rev. Ciênc. Empres. UNIPAR*, v. 19, n. 2, 2018.
- [31] ALTOÉ, L.; FILHO, D. O.; CARLO, J. C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. *Ambiente Construído*, SciELO Brasil, v. 12, p. 75–87, 2012.
- [32] ABNT. *NBR16274 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho*. Acesso em: 06 de novembro de 2024. Disponível

em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/34048/abnt-nbr16274-sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede-requisitos-minimos-para-documentacao-ensaios-de-comissionamento-inspecao-e-avaliacao-de-desempenho>>.