

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

FERNANDA DE OLIVEIRA ARMENDANE

**UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA
AQUECIMENTO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM UMA RESIDÊNCIA NO MUNICÍPIO DE
ARACRUZ – ES: UM ESTUDO COMPARATIVO**

VITÓRIA
2023

FERNANDA DE OLIVEIRA ARMENDANE

**UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE
ÁGUA E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA
RESIDÊNCIA NO MUNICÍPIO DE ARACRUZ – ES: UM ESTUDO
COMPARATIVO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Fernanda de Oliveira Armendane**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz

VITÓRIA
2023

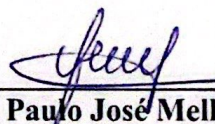
FERNANDA DE OLIVEIRA ARMENDANE

**UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE
ÁGUA E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA RESIDÊNCIA
NO MUNICÍPIO DE ARACRUZ – ES: UM ESTUDO COMPARATIVO**

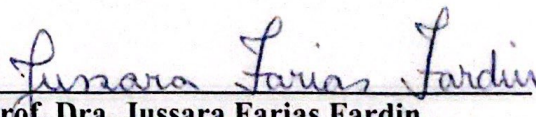
Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Fernanda de Oliveira Armendane**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Aprovada em 19 de julho de 2023.

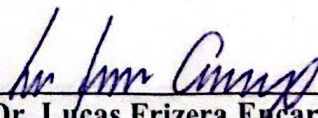
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dra. Jussara Farias Fardin
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



Prof. Dr. Lucas Frizera Encarnação
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

A quem sempre acreditou em mim e a todos que estiveram ao meu lado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos de curso, pois sem eles o caminho até aqui teria sido muito mais difícil. Em especial, agradeço à Nathalia Santana por toda a amizade e companheirismo que compartilhamos durante esses anos.

Agradeço o apoio e incentivo dos meus familiares, especialmente da minha mãe, cujo cuidado e educação proporcionados ao longo da minha vida foram fundamentais para o meu crescimento, e do meu pai, que me proporcionou todo o suporte financeiro durante minha vida e trajetória acadêmica e pelo fornecimento de dados que foram fundamentais para a realização do projeto de graduação. Um agradecimento especial também à minha prima Ohanna Ruy, que foi a minha maior encorajadora para o início e realização desta graduação.

Agradeço à minha namorada Sarah Tozato por me acompanhar durante o desenvolvimento deste trabalho e pelo incentivo, não me deixando desistir, além de toda a paciência e pela compreensão por meus momentos de ausência. Agradeço também pelo amor, carinho, por ter estado ao meu lado e sido meu porto seguro, tornando esta conquista muito mais significativa.

Registro o meu agradecimento ao Clovis Santos, da empresa Alternativa Solar, pelo apoio e fornecimento de informações que guiaram uma das etapas mais importantes para a conclusão deste trabalho.

Agradeço também ao Prof. Paulo Menegáz pela orientação, disposição e paciência, à equipe do Colegiado, bem como aos demais professores do Departamento do Curso de Engenharia Elétrica da UFES, por todo o apoio e ensinamentos que foram transmitidos.

Por fim, agradeço a quem contribuiu direta ou indiretamente, não só para o trabalho desenvolvido, mas também para toda minha trajetória acadêmica.

RESUMO

Atualmente, a utilização de fontes renováveis de energia tem se tornado uma alternativa fundamental para a geração de eletricidade, principalmente com o crescente aumento da demanda de energia elétrica. Os impactos ambientais causados pela utilização de combustíveis fósseis, o esgotamento das fontes existentes, como a água, e o crescente aumento do valor da conta de energia, são fatores impulsionadores para a utilização dessas fontes de energia, que possuem um caráter renovável e são consideradas fontes limpas. Nesse cenário, os sistemas fotovoltaicos e os sistemas de aquecimento de água são importantes formas de aproveitamento de energia, tendo o Sol como fonte. Além disso, o uso dessas tecnologias pode contribuir para a manutenção da qualidade de vida das pessoas, tendo em vista suas possibilidades de aplicação em âmbito doméstico. Assim, este trabalho visa, por meio da exploração de diferentes técnicas de aproveitamento da energia solar, determinar e comparar a viabilidade técnica e econômica entre o projeto de um sistema fotovoltaico convencional e um sistema híbrido composto por um sistema fotovoltaico e um sistema de aquecimento de água, que substitui o chuveiro elétrico, para uma residência localizada no município de Aracruz. A análise de viabilidade técnica baseou-se no dimensionamento dos sistemas, com a determinação do número de módulos fotovoltaicos necessários para atender o consumo da residência e a área coletora e volume de armazenamento para o sistema de aquecimento de água. Além disso, foram considerados fatores como a área de telhado disponível na residência, os ângulos de inclinação dos painéis e coletores solares e a direção do norte geográfico. A análise de viabilidade econômica baseou-se nos custos relacionados à implantação dos sistemas e nos conceitos econômicos como o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e *Payback*. Como resultado do estudo de caso, o sistema fotovoltaico apresentou-se como a solução mais viável. No entanto, a aplicação da solução híbrida pode se tornar interessante para casos em que o consumo de energia geral for maior, bem como o consumo específico do chuveiro elétrico, tendo em vista que a inclusão do sistema de aquecimento solar, no cenário deste projeto, reduziu o número necessário de módulos fotovoltaicos em 40%, o que, a depender do caso, pode reduzir os custos significativamente. Além disso, com as recentes alterações na geração de energia solar fotovoltaica, com a cobrança do Fio B, a solução híbrida como alternativa poderá apresentar-se ainda mais atrativa.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico. Sistema de aquecimento de água. Estudo de caso comparativo. Viabilidade técnica. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

Currently, the use of renewable energy sources has become a fundamental alternative for electricity generation, especially with the increasing demand for electrical energy. The environmental impacts caused by the use of fossil fuels, the depletion of existing sources such as water, and the rising cost of energy bills are driving factors for the adoption of these renewable and clean energy sources. In this scenario, photovoltaic systems and water heating systems are important forms of harnessing energy, with the Sun as the source. Additionally, the use of these technologies can contribute to maintaining the quality of life for individuals, given their potential applications in the domestic sphere. Therefore, this study aims to determine and compare the technical and economic feasibility through the exploration of different solar energy utilization techniques. It focuses on the design of a conventional photovoltaic system and a hybrid system consisting of a photovoltaic system combined with a water heating system that replaces the electric shower in a residence located in the municipality of Aracruz. The analysis of technical feasibility was based on system sizing, determining the number of photovoltaic modules required to meet the household's energy consumption, as well as the collector area and storage volume for the water heating system. Additionally, factors such as the available roof area, the tilt angles of the panels and solar collectors, and the geographic north direction were taken into account. The analysis of economic feasibility was based on the costs associated with implementing the systems and economic concepts such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Minimum Attractive Rate of Return (MARR) and Payback period. As a result of the study case, the photovoltaic system proved to be the most viable solution. However, the hybrid solution may be more attractive in cases where the overall energy consumption and specific electric shower consumption are higher, since the inclusion of the solar heating system in this project reduced the required number of photovoltaic modules by 40%, potentially reducing costs significantly. Additionally, with recent changes in photovoltaic solar energy generation, such as the introduction of the "Fio B" charge, the hybrid solution as an alternative may become even more attractive.

Keywords: Photovoltaic system. Water heating system. Comparative study case. Technical feasibility. Economic feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O Sol	18
Figura 2 - Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol....	19
Figura 3 - Tipos de Radiação Solar	20
Figura 4 - Regiões do globo terrestre e seus potenciais de aproveitamento de energia solar.	22
Figura 5 - Média anual de insolação diária (horas) no Brasil.....	23
Figura 6 - Radiação solar global diária - média anual típica (MJ/m ² .dia) no Brasil	23
Figura 7 - O Efeito Fotovoltaico e a Junção PN	26
Figura 8 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.....	33
Figura 9 - Matriz Elétrica Brasileira	34
Figura 10 - Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil por Classe de Consumo	34
Figura 11 - Mudanças entre a REN 482/2012 e a Lei 14.300/2022	36
Figura 12 - Aplicação de exemplo prático e as mudanças entre a REN 482/2012 e a Lei 14.300/2022	38
Figura 13 - Estrutura de um sistema on-grid	39
Figura 14 - Sistema <i>On-Grid</i>	40
Figura 15 - Célula de silício monocristalino.....	41
Figura 16 - Célula de silício policristalino	41
Figura 17 - Subdivisões de um painel fotovoltaico	42
Figura 18 - Influência da variação da temperatura nas curvas (a) VxI e (b) VxP.....	43
Figura 19 - Influência da variação da radiação nas curvas (a) VxI e (b) VxP.....	43
Figura 20 - Primeiro coletor solar desenvolvido por Horace de Saussure.....	45
Figura 21 - Consumo evitado de eletricidade residencial para aquecimento de água utilizando outras fontes energéticas (GWh)	47
Figura 22 - Estrutura de um Sistema de Aquecimento Solar.....	48
Figura 23 - Coletor solar plano fechado e seus componentes	49
Figura 24 - Modelos de coletores: vertical e horizontal	50
Figura 25 - Composição de um reservatório térmico	51
Figura 26 - Consulta da base de dados do LABREN	52
Figura 27 - Vista frontal da residência de estudo	61
Figura 28 - Vista aérea da residência de estudo	61
Figura 29 - Médias do total diário da irradiação global horizontal na residência de estudo em Wh/m ² .dia.....	64

Figura 30 - Localização da área de instalação na residência	65
Figura 31 - Área de telhado disponível na residência.....	65
Figura 32 - Fluxo de caixa para o Sistema Fotovoltaico Convencional	68
Figura 33 - Fluxo de caixa para o Sistema Híbrido	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da fatura de energia da EDP ES	28
Tabela 2 - Aumento percentual da cobrança do Fio B	37
Tabela 3 - Escolha do ângulo de inclinação	53
Tabela 4 - Características de instalação da residência de estudo.....	62
Tabela 5 - Consumo elétrico da residência de estudo.....	62
Tabela 6 - Características elétricas dos chuveiros	63
Tabela 7 - Hábitos de consumo em relação ao uso do chuveiro.....	63
Tabela 8 - Orçamento para o sistema fotovoltaico convencional.....	67
Tabela 9 - Valor de VPL, TIR e Payback para o Sistema Fotovoltaico Convencional.....	69
Tabela 10 - Orçamento para o sistema fotovoltaico híbrido.....	71
Tabela 11 - Valor de VPL, TIR e Payback para o Sistema Híbrido	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN	Balanço Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
MPP	<i>Maximum Power Point</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
CRESESB	Centro de Referência para as Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ABRASOL	Associação Brasileira de Energia Solar Térmica
SAS	Sistema de Aquecimento Solar
ES	Espírito Santo
REN	Resolução Normativa
PL	Projeto de Lei

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativas	15
1.2	Objetivos Gerais e Específicos	15
1.3	Estrutura do Texto	16
2	O SOL COMO FONTE DE ENERGIA	18
2.1	Radiação e Irradiação Solar	20
3	O EFEITO FOTOVOLTAICO	25
4	DICIONÁRIO ENERGÉTICO: TERMOS E CONCEITOS	27
4.1	Geração Distribuída:	27
4.2	Minigeração e Microgeração distribuída:	27
4.3	Classes de Consumo:	27
4.4	Componentes Tarifárias:	28
4.5	Excedente de Energia Elétrica:	28
4.6	Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE):	29
4.7	Ciclo de Faturamento:	29
4.8	Crédito de Energia Elétrica:	29
4.9	Custo de Disponibilidade ou Taxa Mínima:	29
5	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	31
5.1	Introdução	31
5.1.1	O Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída	35
5.2	Estrutura e Princípio de Funcionamento	39
5.3	Elementos	40
5.3.1	Células Fotovoltaicas: Conceitos e Tipos	40
5.3.2	Módulos Fotovoltaicos	42
5.3.3	Inversor	44
6	SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	45
6.1	Introdução	45
6.2	Estrutura e Princípio de Funcionamento	47
6.3	Elementos	49
6.3.1	Coletor Solar	49
6.3.2	Reservatório Térmico (<i>Boiler</i>)	50
7	METODOLOGIA	52

7.1 Irradiação Solar Média	52
7.2 Posição Geográfica e Determinação da Área do Telhado.....	53
7.3 Ângulo de Inclinação	53
7.4 Aspectos Técnicos	54
7.4.1 Cálculo da Quantidade de Módulos Fotovoltaicos Necessários.....	54
7.4.2 Cálculo do Volume de Armazenamento e da Área do Sistema de Coletores Solares	55
7.5 Aspectos Financeiros	57
7.5.1 Custos	57
7.5.2 VPL (Valor Presente Líquido).....	58
7.5.3 TIR (Taxa Interna de Retorno)	58
7.5.4 TMA (Taxa Mínima de Atratividade)	59
7.5.5 <i>Payback</i> (Retorno de Investimento)	59
7.5.6 Considerações	59
8 ESTUDO DE CASO E ANÁLISES DE VIABILIDADE.....	61
8.1 Características e perfil de consumo energético da residência	61
8.1.1 Características gerais	61
8.1.2 Características elétricas da instalação.....	62
8.1.3 Consumo elétrico da residência	62
8.1.4 Consumo do chuveiro elétrico	63
8.2 Irradiação Solar Média	64
8.3 Posição Geográfica e Determinação da Área do Telhado.....	64
8.4 Ângulo de Inclinação	65
8.5 Projeto do Sistema Fotovoltaico Convencional.....	66
8.5.1 Análise Técnica	66
8.5.1.1 Cálculo da Quantidade de Módulos Necessários	66
8.5.2 Análise Econômica	67
8.5.2.1 Custos	67
8.5.2.2 VPL, TIR, TMA e <i>Payback</i>	67
8.6 Projeto do Sistema Híbrido: Fotovoltaico e SAS.....	69
8.6.1 Análise Técnica	69
8.6.1.1 Cálculo da Quantidade de Módulos Fotovoltaicos Necessários.....	69
8.6.1.2 Cálculo do Volume de Armazenamento e da Área Coletora.....	70
8.6.2 Análise Econômica	70
8.6.2.1 Custos	70

8.6.2.2 VPL, TIR, TMA e Payback	71
8.7 Comparação e Análise dos Resultados Obtidos.....	72
9 CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1 INTRODUÇÃO

O aumento acelerado da demanda de energia elétrica, que pode ser visto em todo o mundo, aliado à necessidade de diminuir a dependência de combustíveis fósseis, devido a seus impactos negativos, e a preferência por fontes de energia que não poluem têm levado a busca de novas fontes de energia para a geração de eletricidade (GAZOLI; VILLALVA, 2012). Nesse cenário, responsável pelo desenvolvimento e manutenção da vida na Terra, o Sol pode ser visto, de acordo com a nossa escala de tempo e com os atuais níveis de consumo energético, como uma fonte de energia inesgotável e o aproveitamento de energia por meio deste é uma das alternativas energéticas mais promissoras para a humanidade (GALDINO et al., 2009).

A energia solar pode ser aproveitada de várias formas. Nesse contexto, temos o destaque de duas formas de aproveitamento: a fotovoltaica e a térmica. Considerando a energia solar térmica, temos o aproveitamento da energia do Sol como fonte de calor. Dessa forma, considerando sistemas de aquecimento solar, o calor é captado por coletores solares instalados nos telhados de prédios ou residências para aquecer a água, a partir do aproveitamento térmico. Com os sistemas fotovoltaicos temos a produção de eletricidade, de forma simples, limpa e eficiente. Tais formas de aproveitamento poupam outros recursos energéticos como o gás natural, o carvão e a energia elétrica produzida por outros meios não renováveis (GAZOLI; VILLALVA, 2012).

Em 2022, considerando a geração distribuída, os dados apresentaram que 98,2% da geração de energia refere-se à fração da fonte solar fotovoltaica, que conta com cerca de 1.073.240 sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede, 1.360.950 unidades consumidoras e uma potência instalada de 11.314,09 MW, onde 46,7% corresponde à classe de consumo residencial (ABSOLAR, 2022a). O crescimento dessa forma de utilização de energia nos mostra a dimensão do gigantesco potencial que esse setor apresenta, trazendo uma maior economia, sustentabilidade, além de uma melhor qualidade de vida à população brasileira (O CRESCIMENTO DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL, 2021).

A energia solar térmica, apesar de ser uma tecnologia antiga e possuir importantes aplicações, no Brasil ainda falta visibilidade para este tipo de tecnologia, visto ainda a dominância do mercado pela geração fotovoltaica no que tange as fontes alternativas de energia. No entanto, a

partir de 2022, o Balanço Energético Nacional a incorporou em sua matriz, o que foi considerado pelo setor uma conquista significativa, com a esperança de dar visibilidade para o uso dessa fonte renovável de energia (ABRASOL, 2022a). Segundo a Pesquisa de Produção e Vendas de Sistemas de Aquecimento Solar realizada pela ABRASOL (2022), apesar da pandemia, o ano de 2021 foi muito positivo, com o volume de produção apresentando um aumento de 28% em relação à 2020, tendo um acumulado de 21 milhões de m² de coletores instalado nos últimos 25 anos. Além disso, a pesquisa aponta que o setor residencial é o setor mais significativo, com uma porcentagem de participação de 76% na distribuição percentual de vendas por segmento. Os resultados de 2021, com o aumento de 28%, e as perspectivas positivas para os anos seguintes, com o crescimento estimado em 30%, reflete a percepção crescente dos brasileiros sobre as vantagens do uso dessa tecnologia, visto que, para a energia solar térmica, o sistema de aquecimento solar de água é uma alternativa eficaz de diminuir os custos relacionados ao uso dos chuveiros elétricos, que representam cerca de 37% da eletricidade gasta no setor residencial no Brasil (ELETROBRAS, 2019).

1.1 Justificativas

Frente aos desafios enfrentados atualmente na realidade brasileira no que tange a geração de energia, as fontes alternativas de geração surgem como recursos tecnológicos favoráveis para a solução dos fatores que propulsionam este atual cenário de dificuldades, como a crescente crise e dependência das fontes hídricas e o aumento da demanda de energia, que se refletem no aumento dos custos de energia elétrica, atingindo os consumidores.

Dessa forma, a importância deste trabalho dá-se pela necessidade de avaliar as oportunidades de redução de custos ao consumidor, por meio de soluções convencionais, com a implantação do sistema fotovoltaico, e de diferentes formas de implantação de fontes alternativas de energia, com o estudo da aplicação conjunta de um sistema fotovoltaico e um sistema de aquecimento de água.

1.2 Objetivos Gerais e Específicos

O objetivo geral deste trabalho é a realização do estudo comparativo de um sistema fotovoltaico convencional e um sistema híbrido com a aplicação conjunta de um sistema fotovoltaico e de um sistema de aquecimento de água em substituição ao chuveiro elétrico, em termos de

viabilidade técnica e econômica, a fim de determinar a solução mais viável a ser implantada na residência de estudo.

A fim de alcançar os objetivos gerais deste trabalho, os seguintes objetivos específicos deverão ser atendidos:

- apresentação da geração de energia tendo o Sol como fonte;
- apresentação do cenário e dos conceitos relacionados à geração de energia fotovoltaica;
- apresentação do cenário e dos conceitos relacionados aos sistemas de aquecimento de água;
- estudo de viabilidade do sistema fotovoltaico convencional;
- estudo de viabilidade do sistema híbrido;
- comparação entre os dois sistemas e determinação do sistema com maior viabilidade;
- análise e conclusão dos resultados obtidos.

1.3 Estrutura do Texto

O presente trabalho estrutura-se da seguinte forma:

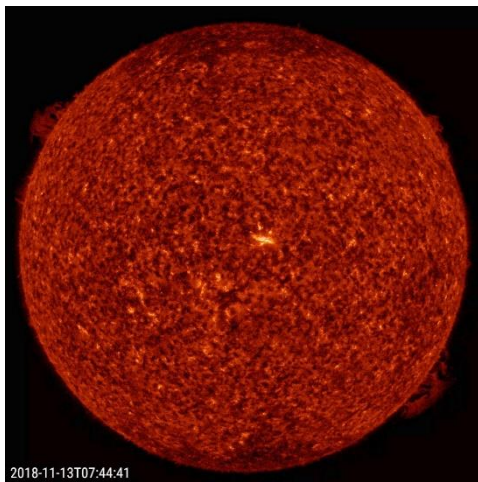
- 1) **Introdução:** neste capítulo é apresentado o panorama geral brasileiro sobre a geração de energia e introduz as fontes alternativas de energia e seus benefícios, com foco na geração de energia solar. Além disso, apresenta as justificativas e os objetivos a serem atingidos com o desenvolvimento deste trabalho;
- 2) **O Sol como Fonte de Energia:** este capítulo apresenta o Sol e como sua energia é gerada e aproveitada, além de um breve histórico sobre a evolução dos estudos no que tange tal aspecto;
- 3) **O Efeito Fotovoltaico:** o efeito a que se dá o título deste capítulo é a base de funcionamento dos sistemas solares fotovoltaicos. Dessa forma, aqui é apresentado os conceitos envolvidos nesse processo;
- 4) **Dicionário Energético:** neste capítulo são apresentados termos e conceitos relacionados à energia elétrica que servirão de base para o entendimento dos capítulos subsequentes;
- 5) **Sistemas Fotovoltaicos:** neste capítulo é apresentado o histórico da geração de energia solar fotovoltaica, além dos conceitos, legislações e componentes envolvidos;

- 6) Sistemas de Aquecimento de Água: neste capítulo é apresentado o histórico sobre a geração de energia solar térmica no que tange os sistemas de aquecimento de água, além dos conceitos e componentes envolvidos;
- 7) Metodologia: este capítulo apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho, além de guiar a aplicação do estudo de caso, destacando os aspectos técnicos e econômicos a serem considerados;
- 8) Estudo de Caso: neste capítulo, os conceitos apresentados anteriormente são aplicados para um estudo de caso envolvendo uma residência localizada em Aracruz, no Estado do Espírito Santo. É feito com base em uma análise técnica e econômica envolvendo duas configurações de aplicação da geração de energia solar, tendo como objetivo determinar a configuração de maior viabilidade;
- 9) Conclusões: neste capítulo são apresentadas as conclusões gerais do trabalho.

2 O SOL COMO FONTE DE ENERGIA

Com cerca de 4,57 bilhões de anos, o Sol, a principal fonte de luz e vida na Terra, pode ser caracterizado como uma imensa esfera de gás incandescente, que se encontra no centro do nosso sistema planetário, a uma distância de 150 milhões de quilômetros da Terra. Em seu núcleo, ocorrem reações termonucleares, mais especificamente a fusão nuclear, que geram energia. Tal processo é viabilizado devido à alta temperatura em seu núcleo, que chega a cerca de $15.000.000^{\circ}\text{C}$ a uma pressão extremamente elevada (NASA, 2023). A Figura 1 apresenta uma imagem do Sol obtida pela NASA (2018).

Figura 1 - O Sol



Fonte: NASA (2018).

Após uma conferência realizada pela Carnegie Institution nos Estados Unidos, em março de 1938, o físico germano-estadunidense Hans Albrecht Bethe (1906-2005), um dos participantes, desenvolveu sua teoria sobre a fusão nuclear e a produção de energia nas estrelas. Essa teoria foi publicada em seu artigo intitulado “A Produção de Energia nas Estrelas”, em 1939, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1967. Neste artigo, Hans utilizou os dados disponíveis sobre reações nucleares e descreveu detalhadamente como quatro prótons poderiam se fundir para formar um núcleo de hélio (FERNANDES, 2001), sendo esta reação a base da produção da energia produzida no núcleo solar.

A energia produzida no núcleo do Sol é transportada até a sua superfície por meio de convecção e, em seguida, é irradiada para o espaço livre na forma de ondas eletromagnéticas (UFRGS, 1997). A Terra, em sua órbita elíptica ao redor do Sol, recebe apenas uma pequena fração da

energia solar, que atravessa a sua atmosfera, interagindo com seus componentes antes de finalmente atingir a sua superfície. A cada ano, os raios solares incidem de forma mais direta em um hemisfério ou outro. Esse fenômeno ocorre devido à inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da órbita, o que determina a quantidade de luz e calor que cada hemisfério recebe, e em conjunto com o seu movimento de translação, resulta nas diferentes estações do ano (BRANDÃO; PINTO, 2021), como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol



Fonte: Brandão e Pinto (2021).

Além disso, quando se trata de energia, o Sol é responsável pela origem da maioria das outras fontes de energia. A energia solar é fundamental para processos como a evaporação e o ciclo das águas, possibilitando a geração de energia por meio da hidroeleticidade. A radiação solar induz a circulação atmosférica e a formação de ventos, tornando a energia eólica também uma manifestação indireta da energia solar. Combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural, são originados de matéria orgânica, como resíduos de plantas e animais, que originalmente utilizaram-se do recurso solar para seu crescimento. Além disso, até mesmo a produção de combustíveis que se utiliza de matéria orgânica, como a cana-de-açúcar, depende da energia solar para o processo de fotossíntese para o crescimento da matéria-prima, que posteriormente é transformada em combustível nas usinas (PINHO; GALDINO, 2014).

2.1 Radiação e Irradiação Solar

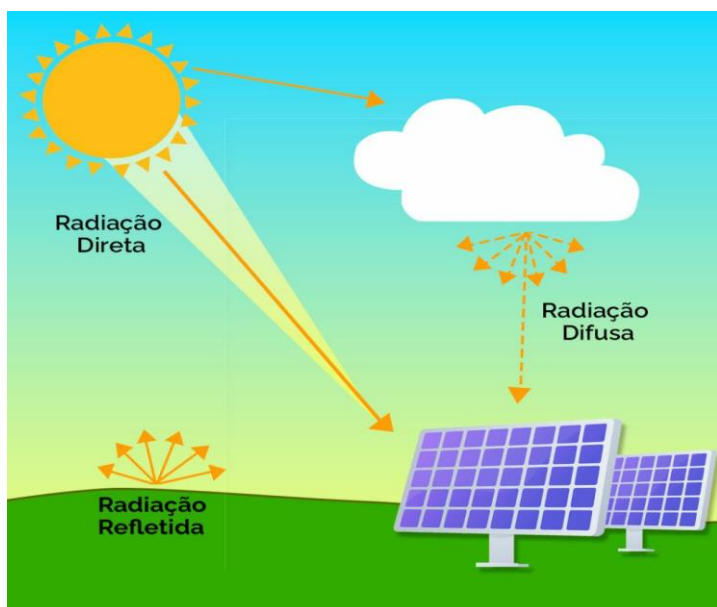
A radiação solar é um termo utilizado para se referir à emissão de energia proveniente do Sol, sob a forma de ondas eletromagnéticas, também denominada de energia incidente sobre a superfície terrestre. A radiação solar pode ser utilizada como fonte de energia térmica ou pode ser diretamente convertida em energia elétrica.

Villalva e Gazoli definem o processo de transmissão de calor ou energia térmica a partir da captação do calor solar e da transformação da energia eletromagnética em energia térmica pelos corpos e materiais que recebem sua radiação. Dessa forma, quando as ondas eletromagnéticas incidem sobre um corpo que tem a capacidade de absorver radiação, a energia eletromagnética é transformada em energia cinética e transmitida para as moléculas e átomos que compõem esse corpo, onde quanto maior o estado de agitação dos átomos e moléculas, maior a temperatura do corpo. Para o processo de conversão em energia elétrica, as ondas eletromagnéticas, ao incidirem sobre determinados materiais, ao invés de transmitirem calor, podem originar tensões e correntes elétricas, tendo como um dos efeitos elétricos da radiação eletromagnética sobre os corpos o efeito fotovoltaico, que é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade (GAZOLI; VILLALVA, 2012).

A energia solar térmica consiste no aproveitamento da radiação solar para o aquecimento de fluidos, como os sistemas de aquecimento de água, onde a radiação solar é absorvida por meio dos coletores, que são equipamentos utilizados para esse fim. A energia solar fotovoltaica consiste no aproveitamento direto da radiação solar por meio da sua conversão em energia elétrica por meio dos painéis fotovoltaicos.

A radiação solar sofre a influência do ar atmosférico, das nuvens e da poluição antes de chegar ao solo e pode ser captada pelas células e módulos fotovoltaicos ou absorvida pelos coletores solares. A radiação que atinge o solo é composta por raios solares que chegam de todas as direções e são absorvidos, espalhados e refletidos pelas moléculas de ar, vapor, poeira e nuvens (GAZOLI; VILLALVA, 2012). Dessa forma, a radiação solar divide-se em três componentes principais, a saber, a radiação direta, a radiação difusa e a radiação refletida, tendo como radiação global a soma desses componentes. A Figura 3 apresenta os tipos de radiação solar.

Figura 3 - Tipos de Radiação Solar



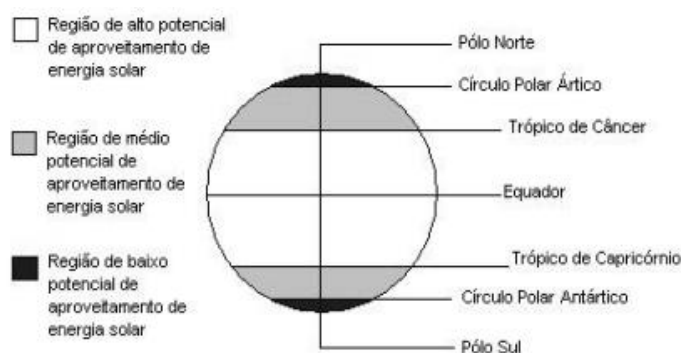
Fonte: Quanta Geração (2021).

A radiação direta refere-se aos raios solares que vem diretamente do Sol e incidem sobre o plano, sem interferências. Já a radiação difusa refere-se aos raios solares que chegam ao plano e é resultado da difração na atmosfera e reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetos (GAZOLI; VILLALVA, 2012). A radiação refletida, também denominada de albedo, é resultado da reflexão da radiação solar na superfície, o que depende das propriedades ópticas da superfície (MAGARREIRO; FREITAS; CENTENO BRITO, 2016).

A radiação solar pode ser expressa em termos de fluxo de potência, quando é especificamente denominada irradiância solar, ou em termos de energia por unidade de área, denominada de irradiação solar. A irradiância solar que atinge a Terra no topo da camada atmosférica é denominada irradiância extraterrestre e seu valor, denominado de constante solar, é de aproximadamente 1.367 W/m^2 . No entanto, este valor pode sofrer variações ao longo do ano devido a excentricidade da elipse que descreve a trajetória da Terra em torno do Sol. Além disso, as perdas do fluxo de potência entre o espectro da irradiância incidente no topo da atmosfera e o espectro da irradiância global que atinge o solo terrestre, que é afetada pelos componentes da radiação direta, difusa e refletida, são de aproximadamente 27 %, resultando em cerca de 1.000 W/m^2 incidentes, sendo este valor considerado como padrão para a especificação da potência nominal de uma célula ou de um módulo fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

A disponibilidade de radiação solar é influenciada pelas condições atmosféricas, e também pela latitude local e posição no tempo (hora do dia e dia do ano), devido à inclinação do eixo da Terra e sua órbita ao redor do Sol, como dito anteriormente, afetando, assim, a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade –, também chamada de insolação solar. A insolação solar varia em algumas regiões e períodos do ano, onde tais variações são mais significativas nas regiões polares e nos períodos de solstício e menos significativas nas regiões próximas à linha do Equador e durante os equinócios. A Figura 4 apresenta os potenciais de aproveitamento de energia solar por região do globo terrestre.

Figura 4 - Regiões do globo terrestre e seus potenciais de aproveitamento de energia solar



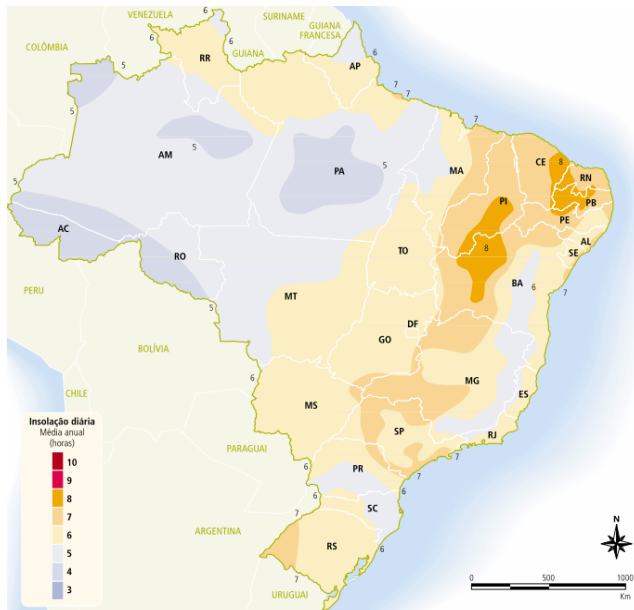
Fonte: Sáles (2008).

No Brasil, a maioria das áreas não apresenta grandes variações na insolação diária devido à proximidade do território brasileiro com a linha do Equador. Contudo, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, utilizando-se de sistemas de aquecimento de água e sistemas fotovoltaicos, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia. No Hemisfério Sul, por exemplo, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o Norte, com inclinação semelhante à latitude local (BRANDÃO; PINTO, 2021).

Publicado em 2000, o Atlas Solarimétrico do Brasil é um projeto desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em parceria com a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) e o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), e tem como objetivo avaliar e mapear a disponibilidade de radiação solar no território brasileiro. Para isso, foram utilizados dados coletados em estações solarimétricas distribuídas em diferentes regiões do país. Esses dados foram interpolados e extrapolados para estimar a radiação solar incidente em cada localidade. Através dele, é possível realizar o

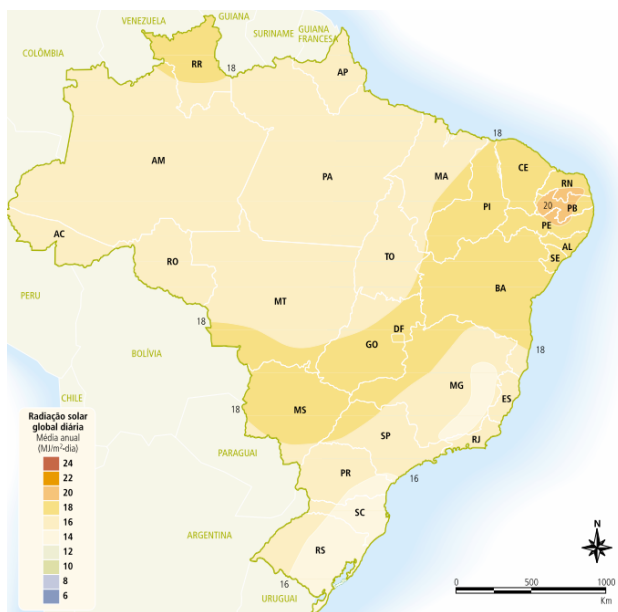
desenvolvimento de projetos de energia solar, permitindo a escolha adequada de locais e a otimização do aproveitamento da radiação solar (BRANDÃO; PINTO, 2021). A Figura 5 e a Figura 6 apresentam as médias anuais de insolação e radiação solar diária no Brasil obtidas a partir do Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), respectivamente.

Figura 5 - Média anual de insolação diária (horas) no Brasil



Fonte: Brandão e Pinto (adaptado de Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000).

Figura 6 - Radiação solar global diária - média anual típica (MJ/m².dia) no Brasil



Fonte: Brandão e Pinto (adaptado de Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000).

Além do Atlas Solarimétrico do Brasil, o Atlas Brasileiro de Energia Solar, desenvolvido pelo Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), apresenta-se como uma ferramenta alternativa para consultas de dados de irradiação solar. O LABREN é responsável pela rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais), que é composta por 15 estações solarimétricas, e a partir destas, é possível a consulta de dados como radiação solar incidente global nos planos horizontais e inclinados, e das componentes difusas e diretas, além de dados meteorológicos complementares (GOV, 2023).

3 O EFEITO FOTOVOLTAICO

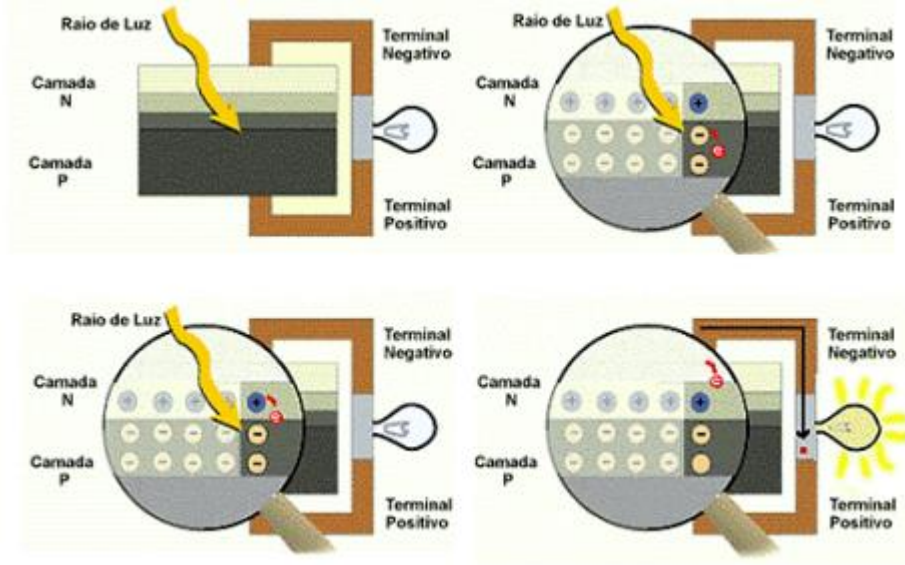
Os materiais semicondutores são caracterizados por possuírem uma estrutura cristalina e são formados por elementos tetravalentes, como o silício, sendo este o elemento mais comum para a fabricação de células fotovoltaicas, devido à sua abundância e ao seu baixo custo.

O silício possui uma estrutura cristalina em que cada átomo compartilha seus elétrons com os vizinhos, formando ligações químicas covalentes. Quando ocorrem vibrações, os elétrons podem se mover para órbitas externas, deixando lacunas livres na órbita de valência. Essas lacunas atuam como cargas positivas. Nas órbitas mais externas, os elétrons tornam-se elétrons livres. No entanto, esse processo não produz uma grande quantidade de elétrons livres, o que exige realizar um processo de dopagem, de forma a aumentar a condutividade do material. No processo de dopagem, a adição de átomos pentavalentes, como o fósforo, cria elétrons livres adicionais. Por outro lado, a adição de átomos trivalentes, como o alumínio, cria lacunas livres. Na sua forma pura, o silício é um semicondutor intrínseco, uma vez que cada átomo do cristal é de silício. Entretanto, ao realizar o processo de dopagem, adicionando átomos de impureza, ele se torna um semicondutor extrínseco (MALVINO; BATES, 2016).

Quando um semicondutor tipo N, dopado com impurezas pentavalentes, e um semicondutor tipo P, dopado com impurezas trivalentes, são colocados em contato, forma-se uma junção semicondutora. Nesta situação, as lacunas livres são os portadores minoritários e os elétrons são os portadores majoritários, considerando o material tipo N. Por sua vez, as lacunas livres são os portadores majoritários e os elétrons são os portadores minoritários, considerando o material tipo P. Assim, como o material tipo N possui um excesso de elétrons e o tipo P uma carência, os elétrons da camada N movem-se para a camada P, dando origem a um campo elétrico e uma barreira de potencial (MALVINO; BATES, 2016).

Dessa forma, o efeito fotovoltaico na geração de energia fotovoltaica é caracterizado pela geração de uma diferença de potencial quando a junção PN é exposta à fótons, que são emitidos na presença de luz. Essa energia dos fótons permite que os elétrons se movam em direção aos eletrodos da camada N, resultando na formação de uma corrente elétrica quando há um caminho fechado (MALVINO; BATES, 2016), como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - O Efeito Fotovoltaico e a Junção PN



Fonte: CRESESB (2008).

4 DICIONÁRIO ENERGÉTICO: TERMOS E CONCEITOS

Este capítulo tem como objetivo fornecer definições dos termos e conceitos fundamentais utilizados no contexto do setor elétrico e que serão utilizados ao longo deste documento a partir deste ponto, de forma a familiarizar o leitor e garantir a compreensão de forma precisa e consistente dos termos utilizados.

4.1 Geração Distribuída:

A geração distribuída (GD) é um termo utilizado para fazer referência à um sistema de energia em que esta é gerada no local de consumo ou próximo a ele, contrapondo-se ao modelo de geração centralizada, que consiste no uso das grandes usinas geradoras, como as hidrelétricas e termelétricas. Neste modelo, há uma forte dependência das grandes redes de transmissão e distribuição de energia, o que leva a um aumento de perdas e custos. Por outro lado, na geração distribuída existem pequenos geradores instalados próximos aos centros consumidores ou no mesmo local onde a energia é utilizada, caracterizando os consumidores como independentes. A geração distribuída permite a instalação de unidades de geração em residências, comércios, indústrias e que são baseadas em fontes renováveis de energia, além de apresentar a possibilidade de integração com a rede elétrica convencional.

4.2 Minigeração e Microgeração distribuída:

De acordo com as definições da ANEEL, a microgeração distribuída se caracteriza como um sistema de geração de energia elétrica de pequeno porte, com potência instalada em corrente alternada menor ou igual a 75 kW. Como característica geral da GD, o sistema é instalado próximo ao local do consumo e geralmente é composto por fontes renováveis de energia elétrica, como os painéis solares fotovoltaicos. Já a minigeração distribuída, também definida pela ANEEL, abrange sistemas de geração de energia elétrica um pouco maiores que os da microgeração, mas ainda de porte reduzido, com potência instalada em corrente alternada entre 75 kW e 5 MW.

4.3 Classes de Consumo

A classificação do consumo de energia elétrica está relacionada à tensão na qual os consumidores são atendidos. O grupo A refere-se ao grupamento composto de unidades

consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV. O grupo B refere-se ao agrupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e subdivide-se nas seguintes classes: residencial, rural, iluminação pública e demais classes (ANEEL, 2021).

4.4 Componentes Tarifárias:

A tarifa de energia é o valor cobrado ao consumidor pela energia elétrica consumida, expresso em reais por quilowatt-hora (R\$/kWh). A ANEEL tem a responsabilidade de assegurar que a tarifa convencional seja justa, considerando os investimentos e operações envolvidos na produção e fornecimento de energia elétrica. Além dos custos relacionados à geração de energia, transporte e encargos setoriais, a tarifa também inclui impostos como PIS/COFINS (Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público/Contribuição para Financiamento da Seguridade Social), ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços) e CIP (Contribuição para Iluminação Pública), cobrados pelos governos federal, estadual e municipal, respectivamente. Com base nesses componentes, a tarifa pode ser dividida em duas parcelas: a Tarifa pelo Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), que abrange os custos relacionados ao transporte de energia (definidos como Fio A: Transmissão e Fio B: Distribuição), perdas e encargos setoriais, e a Tarifa de Energia (TE), que abrange o custo correspondente à quantidade de energia efetivamente consumida. Cada distribuidora em sua área de concessão de energia possui uma proporção diferente para essas parcelas (PIMENTEL, 2022). A exemplo, a Tabela 1 apresenta as componentes tarifárias e suas proporções da distribuidora EDP Espírito Santo.

Tabela 1 - Composição da fatura de energia da EDP ES

Geração e Transmissão de Energia	35%
Tributos e Encargos Setoriais	45%
Distribuição de Energia	20%

Fonte: EDP (2022).

4.5 Excedente de Energia Elétrica:

O excedente de energia elétrica é a diferença positiva entre a energia elétrica injetada e a energia elétrica que é consumida com microgeração ou minigeração distribuída (PLANALTO, 2022).

A exemplo prático, se em uma determinada residência o consumo de energia em um referido mês foi de 150 kWh, e a energia gerada pelo sistema fotovoltaico instalado na residência foi de 200 kWh, o excedente de energia seria de 50 kWh, o qual seria injetado na rede elétrica da distribuidora local.

4.6 Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE):

O SCEE é o sistema no qual a energia ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local e é posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema (PLANALTO, 2022). Em resumo, o SCEE permite que os produtores de energia renovável injetem o excesso de energia gerado na rede da distribuidora local, e este excedente injetado poderá ser utilizado para compensar o consumo de energia elétrica ativa ou como crédito de energia para uso posterior.

4.7 Ciclo de Faturamento:

O ciclo de faturamento refere-se ao intervalo de tempo correspondente ao faturamento de determinada unidade consumidora (ANEEL, 2021). Além disso, também pode ser definido como o período entre as leituras de um medidor, realizado uma vez por mês, e a partir daí, gera-se as faturas de energia.

4.8 Crédito de Energia Elétrica:

O crédito de energia elétrica refere-se ao excedente de energia elétrica que não foi compensado pelo SCEE no ciclo de faturamento em que foi gerado, que será registrado e alocado para uso em ciclos de faturamento subsequentes, ou vendido para a distribuidora local (PLANALTO, 2022).

4.9 Custo de Disponibilidade ou Taxa Mínima:

O custo de disponibilidade é uma taxa mínima aplicado ao grupo B e cobrada pelas distribuidoras de energia referente aos serviços relacionados ao fornecimento de eletricidade aos consumidores. Dessa forma, na fatura de energia, mesmo que o consumo de energia de uma determinada unidade consumidora seja nulo, há a cobrança do custo de disponibilidade e este é

o valor em moeda corrente equivalente a: 30 kWh, se o tipo da instalação local for monofásico; 50 kWh, se bifásico; e 100 kWh, se trifásico (ANEEL, 2021). A exemplo prático, considerando um consumidor com uma instalação bifásica e uma tarifa de energia proveniente da distribuidora local de R\$ 0,60 por kWh, mesmo que este não tenha tido nenhum consumo durante o mês no período correspondente ao ciclo de faturamento, ainda terá que pagar o valor de R\$ 30,00 referente ao custo de disponibilidade. Além disso, se o consumo de energia nesta unidade consumidora for menor que o valor de referência do custo de disponibilidade, prevalecerá a taxa mínima.

5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

5.1 Introdução

Desde os primórdios da vida humana na Terra a energia proveniente do Sol vem sendo utilizada. Os primeiros registros da utilização da energia solar remontam ao século VII a.C., onde a luz do Sol era utilizada para fazer fogo por meio de lupas. Mais tarde, no século III a.C., os gregos e romanos aproveitavam a energia solar por meio de espelhos com o objetivo de acender tochas para as cerimônias religiosas. Arquimedes, cientista grego, no século II a.C., descobriu as capacidades reflexivas do latão e as utilizou para atear fogo aos navios romanos que atacavam Siracusa. Avançando um pouco mais, já a partir do século VI d.C., os romanos já construíam edificações, onde os solários tornaram-se uma parte popular destas. Dessa forma, é possível observar que desde as civilizações antigas há uma ciência dos benefícios da utilização da energia solar e das suas formas de aproveitamento. Porém, não havia uma direção clara e seu uso não era voltado para uma descoberta científica universal e organizada. Nesse sentido, a base para o início dos estudos da energia solar fotovoltaica deu-se a partir de 1839 com a descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel, sendo este efeito um fenômeno físico e químico onde ocorre a geração de tensão e corrente elétrica em um material sob a exposição de luz. Mais tarde, em 1873, Willoughby Smith descobriu que o selênio era capaz de funcionar como um fotocondutor. No entanto, a tecnologia fotovoltaica só foi adiante 50 anos após a descoberta do efeito fotovoltaico e após a descoberta de Smith, com a criação da primeira célula solar de selênio funcional por Charles Fritts, inventor americano. Foi o começo da progressão da energia solar fotovoltaica. Após os avanços trazidos por Becquerel, Smith e Fritts, em 1954 o americano Russel Ohl também marcou a história da energia solar fotovoltaica a partir da descoberta inovadora da junção PN, que é utilizada em quase todos os dispositivos eletrônicos, e assim, criou a primeira célula moderna operando usando esta junção, que também é a base para o funcionamento dos painéis fotovoltaicos atualmente.

O avanço posterior dá-se pela utilização do silício, que foi o primeiro material a converter diretamente luz solar suficiente em eletricidade para o funcionamento de dispositivos elétricos, em substituição ao selênio. Tal avanço foi possível com a criação da primeira célula solar de silício, por três cientistas da Bell Labs, a saber: Daryl Chaplin, Calvin Fuller e Gerald Pearson.

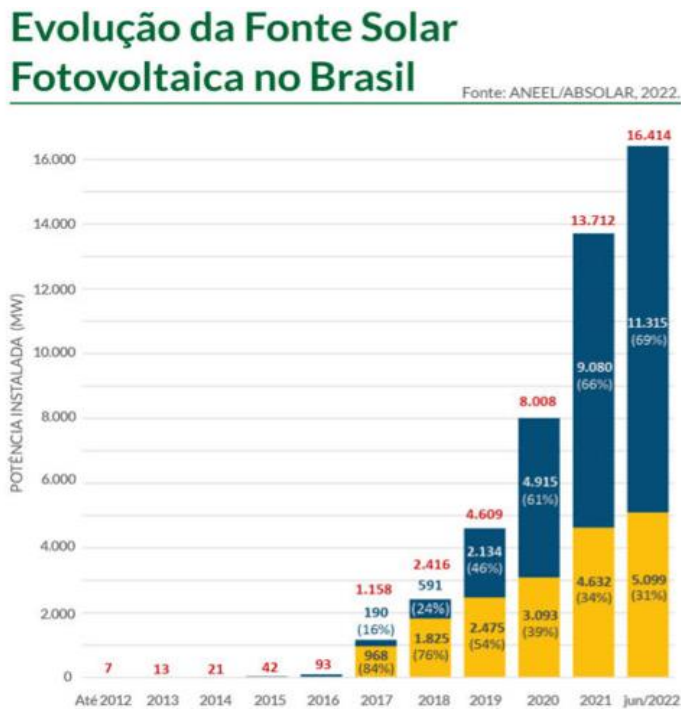
Por meio de pesquisas feitas por Pearson sobre as possíveis aplicações do silício na eletrônica e a posterior criação da célula de silício, foi possível perceber que esta era muito mais prática, mais eficiente e amplamente disponível como recurso natural, e ainda é o material mais utilizado para a fabricação de painéis fotovoltaicos atualmente.

Nos dias atuais, cada vez mais há o crescimento da produção e da utilização da energia fotovoltaica no mundo. No Brasil, a história da energia solar fotovoltaica tem seu início em 2011, por meio da instalação da primeira usina solar no município de Tauá, sertão do Ceará, além de ser a primeira usina solar instalada na América Latina, com mais de 4.600 painéis fotovoltaicos e uma capacidade instalada de 1 MW, quantidade considerada relevante na época. O município cearense foi escolhido para abrigar a usina devido aos seus ótimos índices de radiação solar ao longo do ano todo ("A história da energia solar no Brasil | Órigo", 2020).

No entanto, a geração de energia solar fotovoltaica cresceu no Brasil no ano seguinte, por meio da Resolução Normativa 482/2012, a qual estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, além das condições para o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012a). O sistema de compensação de energia elétrica, posteriormente alterado pela Resolução Normativa 517/2012, em resumo, é um sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora, (com microgeração ou minigeração distribuída) é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local, que é posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Em termos práticos, caso a unidade consumidora consuma mais do que gere energia, a diferença será cobrada na conta de energia. Caso contrário, a unidade consumidora terá um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 meses (ANEEL, 2012b), o que foi posteriormente alterado para um prazo de 60 meses por meio da Resolução Normativa 687/2015 (ANEEL, 2015).

A partir de 2012, a utilização da energia solar fotovoltaica no Brasil cresceu exponencialmente, apresentando uma capacidade instalada acumulada de 16.414 MW, onde 11.315 MW correspondem à geração distribuída. A evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil, de 2012 à meados de 2022, pode ser vista na Figura 8, onde o percentual em azul corresponde à geração distribuída.

Figura 8 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2022).

Em 2022, o aumento do preço do petróleo no mercado internacional e a criação do marco legal para a microgeração e minigeração distribuída, por meio do sancionamento da Lei nº 14.300/2022, ampliou os investimentos no setor de energia solar. Com isso, até o final do referido ano, a ABSOLAR (2022) previu que a capacidade instalada deveria dobrar, chegando a 25 GW médios nos tetos de prédios e casas. Na matriz energética brasileira, a energia solar fotovoltaica se tornou a terceira maior em nível de participação, com 8,1%.

Em 2023, com os dados registrados até maio, a geração de energia solar fotovoltaica representou 14,3% de toda a matriz elétrica brasileira, com um total de 30.615 MW gerados, atrás apenas da produção hídrica, caracterizando-se como a segunda maior fonte de energia no país e a primeira maior fonte considerando as fontes renováveis, como pode ser observado na Figura 9.

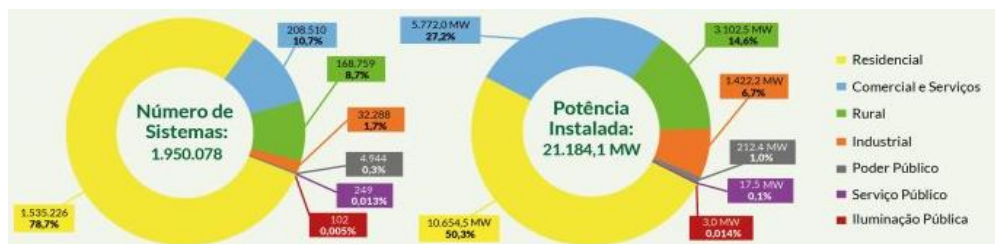
Figura 9 - Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: ABSOLAR (2023).

Em pesquisa realizada pela ABRACEEL (2020), cerca de 90% dos brasileiros gostaria de poder gerar a sua própria energia, demonstrando que os brasileiros têm se mostrado mais receptivos a essa ideia, visto que em 2014, 77% apoiava a iniciativa. Além dos fortes aumentos na conta de luz, outros fatores que contribuem para esse crescimento são as quedas dos preços da tecnologia e as diversas ofertas de linhas de financiamento de energia solar. Os sistemas fotovoltaicos podem resultar em uma economia de até 95% na conta de luz todos os meses, além de um rápido retorno de investimento com a tecnologia. Dessa forma, é evidente o ganho socioeconômico aliado ao uso da energia fotovoltaica, além dos ganhos ambientais (ABSOLAR, 2022c). A adoção dos brasileiros da geração de energia fotovoltaica pode ser evidenciada por meio da Figura 10, que apresenta a geração distribuída solar fotovoltaica por classe de consumo. Pode-se observar que dos 30.615 MW de energia solar fotovoltaica gerados, a geração distribuída contribui com 21.184 MW, representando cerca de 69% do total. Pode-se observar, ainda, que a classe residencial representa a maior porção, com cerca de 50,3%.

Figura 10 - Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil por Classe de Consumo



Fonte: ABRASOL (2023).

5.1.1 O Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída

Como posto anteriormente no histórico da energia solar fotovoltaica, a Resolução Normativa 482/2012 estabelece as regras para o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e as condições gerais da Microgeração e Minigeração Distribuída (MMGD). Desde a publicação da Resolução Normativa 687/2015, que trouxe alterações para a REN 482/2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) previa uma avaliação dos impactos da REN 482/2012 e a realização de revisões até 31 de dezembro de 2019, podendo levar a uma atualização da resolução (GREENER, 2022).

Entre 2018 e 2019, foram realizados debates para a proposta apresentada pela ANEEL para a revisão da REN 482/2012. Como resultado, ficou evidente a necessidade de garantir o estabelecimento do mercado de MMGD por meio de uma lei federal, constituindo, assim, a criação do Marco Legal para a MMGD no Brasil. Foi então criado o Projeto de Lei 5.829/2019, aprovado pelo Senado Federal em dezembro de 2021. Em 6 de janeiro de 2022, o referido PL foi sancionado, instituindo o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, por meio da Lei 14.300/2022. O Marco Legal representa a segurança jurídica necessária para o crescimento sustentável da MMGD e traz mais estabilidade e previsibilidade para este mercado, levando-o para uma posição mais estratégica na política nacional brasileira, o que não era possível apenas com a REN 482/2012, além de contribuir positivamente para o processo de transição energética para fontes alternativas de energia no Brasil. Para o consumidor, o Marco Legal representa a garantia do direito em gerar a sua própria energia e a consequente redução de seus custos (GREENER, 2022).

Por outro lado, o Marco Legal trouxe mudanças que podem afetar a viabilidade e atratividade da geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos para os consumidores. Para aqueles que já possuíam um sistema solar fotovoltaico instalado e em funcionamento antes da publicação da Lei, as regras antigas estabelecidas por meio das REN anteriores continuam valendo até 31 de dezembro de 2045, por meio do direito adquirido. Assim, não haverá alterações imediatas para esses consumidores. Além disso, para consumidores que protocolarem solicitação de acesso em até 12 meses após a publicação da Lei, ou seja, entre 7 de janeiro de 2022 e 7 de janeiro de 2023, as regras antigas também não se alteram até 2045. No entanto, para os novos projetos de sistemas fotovoltaicos, a partir de 8 de janeiro de 2023,

entra em vigor a cobrança de uma taxa sobre o “Fio B”, que faz parte da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD), que será proporcional ao custo de utilização da infraestrutura local. Vale ressaltar que a cobrança do Fio B será aplicada exclusivamente à energia excedente injetada na rede e posteriormente utilizada para compensação. A exemplo prático, caso uma unidade consumidora tenha uma geração de energia excedente de 250 kWh, mas tenha compensado apenas 150 kWh, a cobrança do Fio B será realizada com base no valor de 150 kWh e os 100 kWh restantes ainda poderão ser utilizados como crédito em ciclos de faturamento posteriores e neste caso, de forma análoga, será feita a cobrança do Fio B. Além disso, nos casos em que o valor da cobrança do Fio B seja menor que o valor da taxa de disponibilidade (valor mínimo que o consumidor paga para ter acesso a rede elétrica da distribuidora), a cobrança desta prevalecerá sobre aquela, ou seja, será cobrado o maior dentre os dois valores.

A tarifa de energia aplicada aos consumidores com geração distribuída tinha um sistema de compensação integral, conforme estabelecido pela REN 482. Em termos práticos, isso significava que, para cada unidade de energia (kWh) injetada na rede, uma unidade de energia era compensada e utilizada como crédito gerado. Com as novas regras estabelecidas pela Lei 14.300/2022, essa compensação terá um decréscimo, em vista da cobrança do Fio B. A Figura 11 apresenta as mudanças entre as compensações da energia injetada para a REN 482/2012 e para a Lei 14.300/2022.

Figura 11 - Mudanças entre a REN 482/2012 e a Lei 14.300/2022



Fonte: Greener (2023).

Além disso, o pagamento da cobrança do Fio B será feito de forma parcial e gradativa, com um aumento de 15% nos valores das componentes tarifárias relativas à TUSD Fio B, até 2028. A partir de 2029, as regras de compensação ficarão sujeitas ao que for disposto pela ANEEL (GREENER, 2023). A Tabela 2 apresenta o aumento percentual anual para o pagamento da cobrança do Fio B.

Tabela 2 - Aumento percentual da cobrança do Fio B

Ano	Percentual
2023	15%
2024	30%
2025	45%
2026	60%
2027	75%
2028	90%
A partir de 2029	A ser definido pela ANEEL

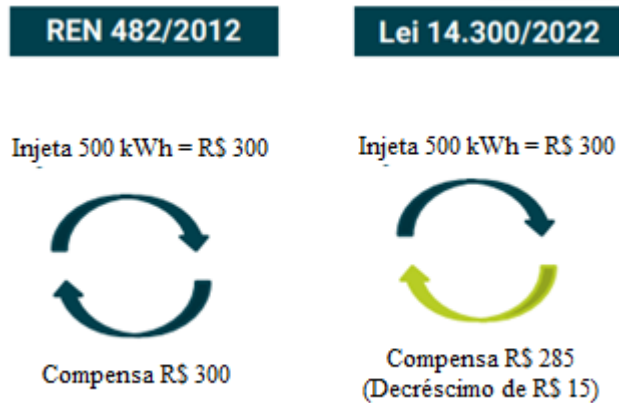
Fonte: Planalto (2022).

Como evidenciado na Figura 11, o decréscimo da compensação será realizado com base no valor tarifário referente especificamente ao Fio B, que varia a depender da distribuidora local.

A fim de exemplificar esta mudança, pode-se considerar uma residência bifásica em um local cuja tarifa da distribuidora referente ao Fio B tem o valor de R\$ 0,20 por kWh e o valor referente ao consumo de energia ativa é de R\$ 0,60 por kWh. O consumo mensal de energia desta residência é de 500 kWh. Assim sendo, o valor da tarifa referente ao consumo ativo de energia da residência seria de R\$ 300. Considerando a instalação de um sistema de geração fotovoltaico nesta residência no ano de 2023, de acordo com a Tabela 2, o valor da taxa da cobrança do Fio B seria de R\$ 0,03, ou seja, uma incidência de 15% sobre R\$ 0,20. No cenário em que o consumo mensal de energia da residência se iguala ao excedente de energia gerado, injetado na rede e utilizado para compensação, o valor referente à taxa do Fio B seria de R\$ 15 (500 kWh multiplicados por R\$ 0,03). A Figura 12 apresenta uma adaptação da Figura 11 com base nestes valores. De acordo com o que é trazido com a instituição do Marco Legal, ainda é necessário considerar o custo de disponibilidade, onde será levado em conta o maior valor entre este custo e a taxa calculada. Assim, para a residência bifásica, o custo de disponibilidade será de R\$ 30

(50 kWh, conforme trazido pela seção 4.9, multiplicados por R\$ 0,60). Portanto, o valor cobrado seria de R\$ 30. ($R\$ 30 > R\15). Da mesma forma, esta análise deve ser feita para os anos seguintes, conforme os aumentos percentuais mostrados na Tabela 2.

Figura 12 - Aplicação de exemplo prático e as mudanças entre a REN 482/2012 e a Lei 14.300/2022



Fonte: Greener (adaptado pela própria autora).

Como benefício notável, as novas regras trouxeram a eliminação da cobrança duplicada do custo de disponibilidade para os consumidores do grupo B, uma vez que estes pagavam o valor em reais da taxa mínima definida pelo custo de disponibilidade e, além disso, tinham os créditos desse custo descontados. Para sanar esse problema, a nova legislação determina que o custo de disponibilidade será faturado apenas uma vez, pela taxa mínima, sem consumir os créditos excedentes. Adicionalmente, a implementação da tarifa do Fio B é considerada justa e razoável a longo prazo, visando equilibrar o uso da infraestrutura das concessionárias pelos consumidores que geram energia solar, trazendo ainda outros benefícios como a garantia de manutenção dos benefícios adquiridos em caso de troca de titularidade da conta de energia e ainda, abre a permissão para a comercialização de excedentes com as distribuidoras, o que não era possível com a REN 482/2012 (BLUESOL, 2022).

Em resumo, a criação do Marco Legal trouxe mudanças significativas para o mercado de energia e que devem ser avaliadas para a instituição de novos projetos de sistemas fotovoltaicos. No entanto, mesmo com a cobrança do Fio B, os benefícios econômicos e ambientais da energia solar fotovoltaica continuam sendo válidos, e além disso, os consumidores contam com a garantia de direitos proporcionada pela definição da Lei.

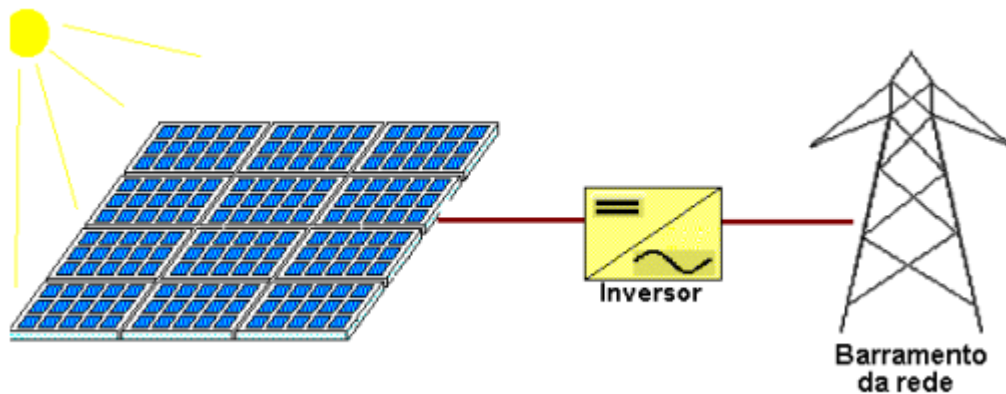
5.2 Estrutura e Princípio de Funcionamento

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com a sua ligação à rede de distribuição, da seguinte forma:

- a) Sistemas *on-grid*: refere-se aos sistemas fotovoltaicos que são conectados à rede de distribuição de energia elétrica;
- b) Sistemas *off-grid*: refere-se aos sistemas fotovoltaicos isolados, que não são conectados à rede e geralmente envolvem o uso de baterias.

Para os dimensionamentos e análises deste projeto, será utilizado o sistema *on-grid*. No entanto, todos os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento nos casos que envolvam o uso de baterias. Para os sistemas fotovoltaicos *on-grid*, todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados diretamente na rede (CRESESB, 2006), como pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Estrutura de um sistema on-grid

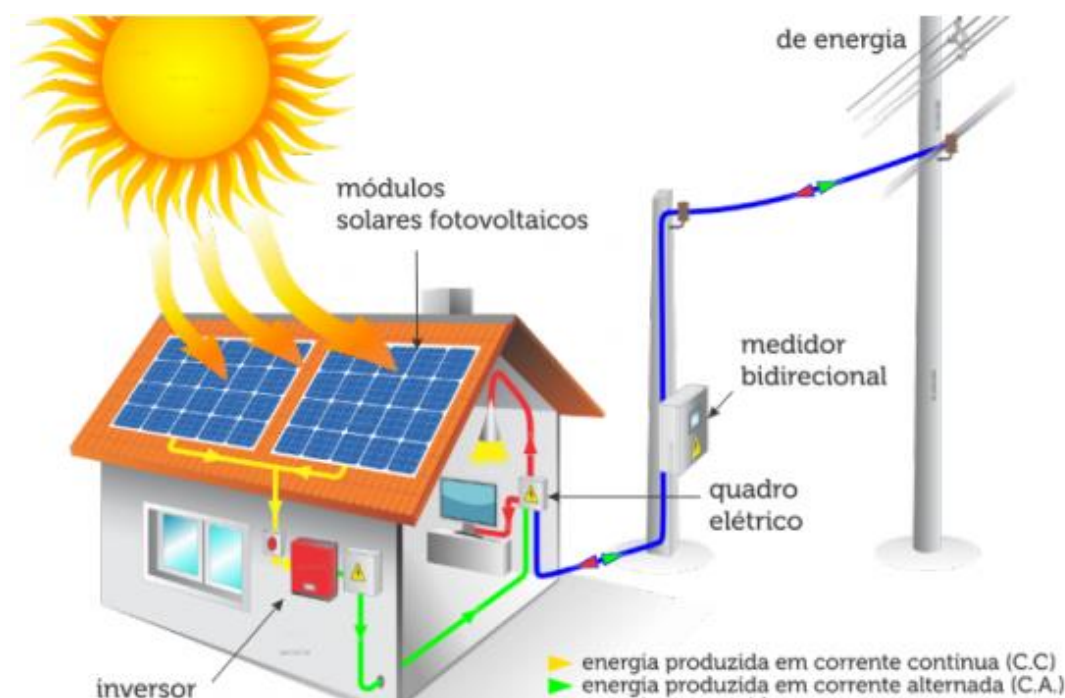


Fonte: (CRESESB, 2006)

A captação da energia solar é feita pelos painéis fotovoltaicos, e a partir do efeito fotovoltaico, ocorre a transformação direta da luz em corrente elétrica. Dessa forma, para um bom funcionamento do sistema fotovoltaico, é importante que os painéis solares estejam bem posicionados em relação ao sol, de forma a receber maiores incidências de radiação solar. A corrente elétrica gerada a partir da incidência da luz solar nos painéis fotovoltaicos é do tipo contínua, no entanto, a rede elétrica é caracterizada por ser do tipo alternada. Por isso, há a presença dos inversores, que têm como objetivo converter a corrente contínua gerada pelos

painéis em corrente alternada, de forma a tornar a energia gerada adequada para a rede. Assim, após a conversão, a energia produzida pode ser injetada na rede elétrica ou utilizada para o consumo em equipamentos elétricos da residência, por meio do quadro elétrico. Além disso, quando o sistema fotovoltaico é instalado, geralmente há a instalação conjunta de um relógio de luz bidirecional, que mede a entrada e a saída de energia, o que permite medir a energia da rede consumida em períodos que a incidência de radiação é menor, por exemplo, e o consumo da rede elétrica é maior que a geração, e em casos contrários, onde há o excedente da geração que são injetados na rede e que geram créditos em energia ativa que podem ser utilizados nos casos de baixa geração (G1, 2021). A Figura 14 apresenta o sistema *on-grid* de forma mais detalhada, como descrito.

Figura 14 - Sistema *On-Grid*



Fonte: Júnior (2022).

5.3 Elementos

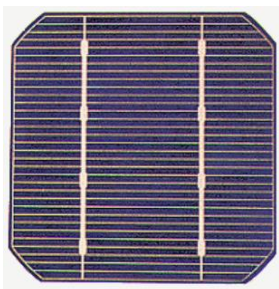
5.3.1 Células Fotovoltaicas: Conceitos e Tipos

As células fotovoltaicas são dispositivos que convertem a energia luminosa, como a proveniente do Sol, em energia elétrica. A base de seu funcionamento dá-se pelo efeito fotovoltaico e o processo descrito anteriormente no capítulo 3. As células fotovoltaicas são constituídas por

materiais semicondutores, sendo o silício o material mais comumente utilizado em sua construção em razão de sua eficiência e abundância, e desempenham um papel fundamental na geração de energia através da fonte solar. Existem diferentes tipos de células de silício disponíveis no mercado, sendo as principais as células monocristalinas, policristalinas e amorfas.

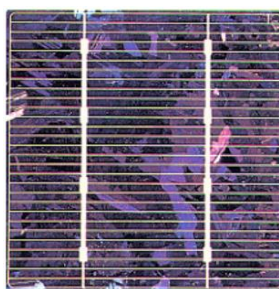
As células de silício monocristalinas são conhecidas por sua alta eficiência, que pode variar de 15% a 18%. Seu processo de fabricação inicia-se com a extração do cristal de dióxido de silício, que é posteriormente desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Assim, ao final do processo, as células fotovoltaicas são obtidas por meio do corte das barras obtidas anteriormente em forma de pastilhas finas. A obtenção das células de silício monocristalinas envolvem um processo rigoroso, em vista do alto grau de pureza exigido (CRESESB, 2006). Por outro lado, as células de silício policristalinas requerem um processo de preparação menos rigoroso e que não envolve a exigência da organização dos átomos de silício em um único cristal, o que se reflete em células menos eficientes, com valores máximos em torno de 12,5%, no entanto, tornam-se mais acessíveis em termos de custo (CRESESB, 2006). A Figura 15 e a Figura 16 apresentam as células de silício monocristalino e policristalino, respectivamente.

Figura 15 - Célula de silício monocristalino



Fonte: CRESESB (2006).

Figura 16 - Célula de silício policristalino



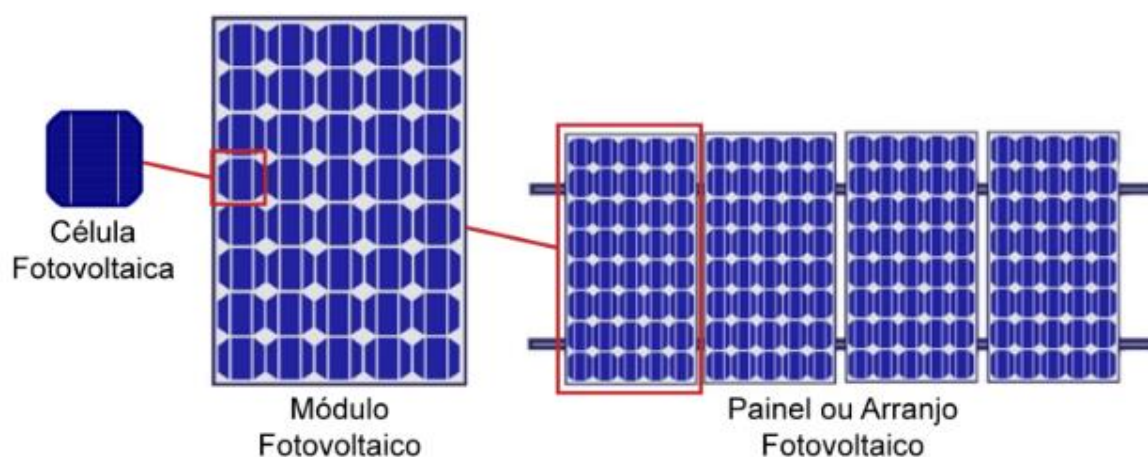
Fonte: CRESESB (2006).

Já as células de silício amorfo possuem uma eficiência ainda menor, variando de 5% a 7%, e diferem-se das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura atômica. Apesar de apresentar menor eficiência de conversão em comparação com as células monocristalinas e policristalinas e serem afetadas por um rápido processo de degradação, o silício amorfo oferece vantagens que compensam essas deficiências, como a sua possibilidade de fabricação em diferentes tipos de substratos, seu baixo custo e baixo consumo de energia na produção e a viabilidade de produção de células com grandes áreas (CRESESB, 2006).

5.3.2 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são formados por células fotovoltaicas, e esses constituem um painel ou arranjo fotovoltaico, como pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 - Subdivisões de um painel fotovoltaico



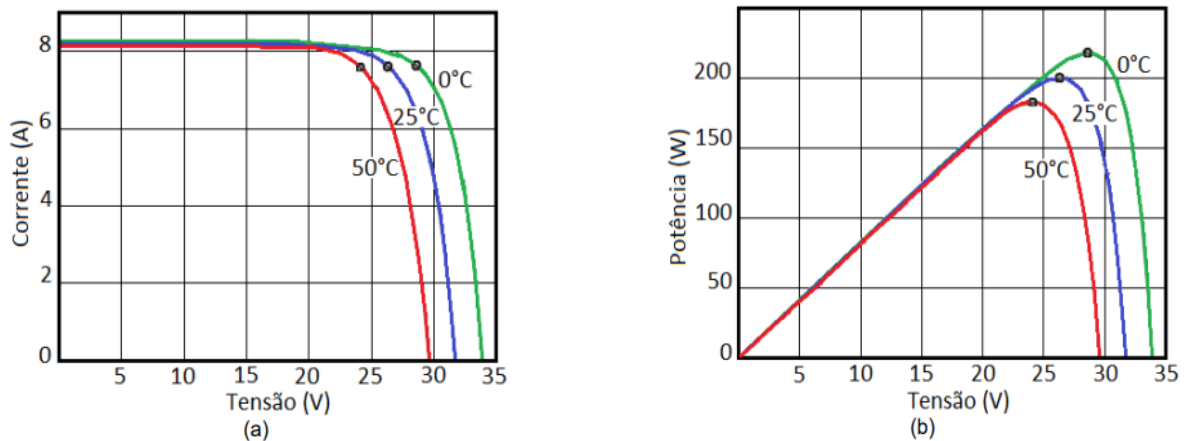
Fonte: (“Célula Fotovoltaica: Tudo que Você Precisa Saber”, 2020)

A célula fotovoltaica é o dispositivo fotovoltaico básico, que sozinha produz pouca eletricidade, assim, essas células são agrupadas em módulos (GAZOLI; VILLALVA, 2012). Uma única célula de silício produz uma corrente contínua (CC) entre 3A e 5A, com uma tensão de saída de aproximadamente 0,7V. Os módulos fotovoltaicos são constituídos de associações série-paralelo de células fotovoltaicas com o objetivo de produzir maiores tensões, no caso das associações em série e maiores correntes, no caso das associações em paralelo, a depender da necessidade do sistema e respeitando-se o limite de tensão e corrente de cada célula. Na conexão das células em paralelo, somam-se as correntes de cada módulo, sendo a tensão deste a mesma tensão da célula. Já na conexão em série, somam-se as tensões de cada célula. No entanto, devido à característica típica das células no que tange a corrente máxima suportada (3A), a

associação em paralelo torna-se menos utilizada, visto que para este tipo de associação a corrente será somada. Assim, a conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos utiliza-se das associações em série.

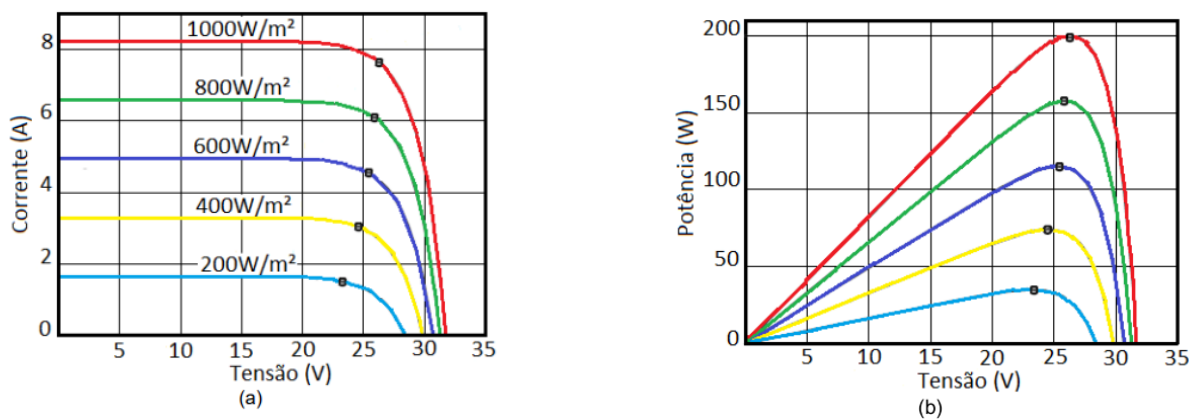
Os módulos fotovoltaicos podem sofrer influência da radiação solar, visto que a corrente elétrica que o módulo fotovoltaico pode fornecer depende diretamente da intensidade da radiação solar que incide sobre suas células. Além disso, também existe a influência da temperatura, visto que esta afetará a tensão que o módulo fornece em seus terminais e consequentemente na potência fornecida. Em termos práticos, em temperaturas mais baixas as tensões são maiores e em temperaturas mais altas as tensões são menores (GAZOLI; VILLALVA, 2012). Esses fenômenos podem ser observados na Figura 18 e na Figura 19.

Figura 18 - Influência da variação da temperatura nas curvas (a) $V \times I$ e (b) $V \times P$



Fonte: GENZLER (2015).

Figura 19 - Influência da variação da radiação nas curvas (a) $V \times I$ e (b) $V \times P$



Fonte: GENZLER (2015).

A partir da análise da Figura 18 e da Figura 19, é possível concluir que o desempenho dos módulos fotovoltaicos é diretamente influenciado pela variação da temperatura e da radiação incidente. A partir da Figura 18, pode-se observar que com o aumento da temperatura sobre o módulo, diminui a tensão elétrica gerada e conseqüentemente a potência fornecida. Além disso, com a diminuição da irradiância solar, há uma diminuição da corrente elétrica gerada, o que também acarreta uma diminuição da potência fornecida, como pode ser observado na Figura 19.

5.3.3 Inversor

O papel principal do inversor solar é converter a corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA), demandada pela maioria dos equipamentos elétricos e em caso de sistemas conectados, como os sistemas *on-grid*, também são responsáveis pela sincronia com a rede elétrica. Nos sistemas *on-grid*, os inversores mais utilizados são denominados de inversores *grid-tie* (do inglês, significa: conectado à rede) (GAZOLI; VILLALVA, 2012).

Para fornecer o máximo de energia à rede, o inversor deve operar em seu ponto de máxima potência (MPP - *Maximum Power Point*) do arranjo fotovoltaico. Como o MPP muda de acordo às condições climatológicas, o inversor deve possuir um sistema de seguimento do ponto de máxima potência (MPPT - *Maximum Power Point Tracking*), que ajusta automaticamente a tensão de entrada do inversor, de acordo à tensão MPP a cada instante (BLUESOL, [s.d.]).

Em resumo, são funções do inversor *grid-tie*:

- a) Converter a corrente contínua gerada pelo arranjo fotovoltaico em corrente alternada, de acordo com o funcionamento da rede de distribuição;
- b) Ajustar-se ao MPP do arranjo fotovoltaico, a fim de obter o seu maior rendimento;
- c) Possuir dispositivos de proteção em CC e CA, como por exemplo: proteção contra curtos-circuitos (CC/CA), proteção contra inversão de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobretensões e proteção para a conexão com a rede (BLUESOL, [s.d.]).

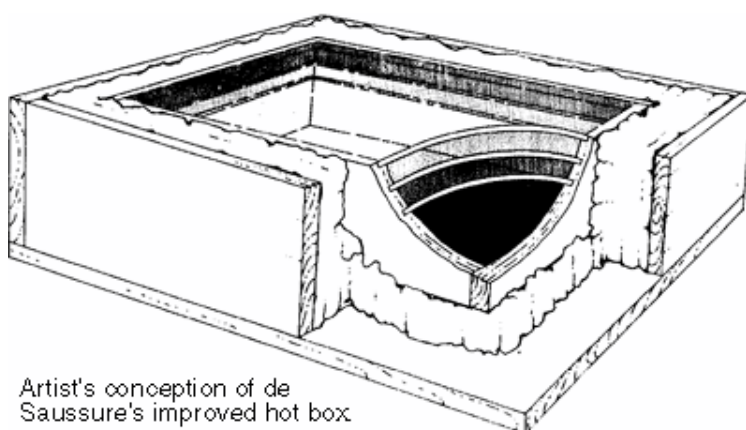
Segundo Villalva e Gazoli (2012), a escolha do inversor adequado para um determinado projeto de sistema fotovoltaica depende de fatores como a potência gerada, dos módulos empregados e das características internas do inversor, a depender da aplicação.

6 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

6.1 Introdução

A história dos aquecedores solares tem seu início em 1767, a partir da documentação, pela primeira vez, do estudo da capacidade do Sol de aquecer a água, feito pelo naturalista europeu Horace de Saussure. Horace desenvolveu o que seria o primeiro coletor de energia solar térmica do mundo, que ficou conhecido como forno solar, através de experiências com uma caixa feita de madeira e vidro revestida com isolamento térmico, e este pode ser esquematizado como na Figura 20.

Figura 20 - Primeiro coletar solar desenvolvido por Horace de Saussure



Fonte: ("Horace de Saussure and His Hot Boxes of the 1700's", [s.d.]).

Em 1891, Clarence Kemp, um inventor norte-americano, patenteou o primeiro aquecedor solar de água, que consistia em tanques de cobre que ficavam dentro de uma caixa de madeira com isolamento térmico e vidro na parte superior. Kemper começou a comercializar os aquecedores para residências e foi um sucesso.

A partir do ano de 1909, o segmento de energia solar térmica teve um forte crescimento a partir de William Bailey, que patenteou o seu sistema de aquecimento solar de água, que se baseia em uma estrutura que separa o tanque de armazenamento de uma caixa que absorve o calor do Sol, permitindo que a água pudesse ser armazenada no interior das residências em maiores quantidades. Os modelos e os princípios utilizados atualmente são semelhantes ao que foi

desenvolvido por Bailey, no entanto, o aquecedor solar moderno ficou significativamente mais acessível, mais leve e resistente, além de mais eficiente.

O crescimento da indústria solar térmica foi positivo nos anos seguintes, no entanto, foi negativamente afetada pelo baixo custo dos combustíveis fósseis. Foi somente com o aparecimento das crises energéticas de 1970 e 1980 que foi possível impulsionar o uso da energia solar térmica para fins de aquecimento.

No Brasil, os primeiros aquecedores solares surgiram na década de 70, em decorrência da crise do petróleo e outros fatores inerentes à época. Na década de 80, houve uma melhora da qualidade dos aquecedores solares em virtude dos primeiros testes de equipamentos e das primeiras normas da ABNT específicas para o setor de aquecimento solar. Na década de 90, viu-se um crescente profissionalismo no mercado de energia solar térmica, em resposta a um mercado cada vez mais exigente e estruturado e houve um aumento ainda maior da qualidade dos equipamentos enquanto o preço diminuía, e a partir daí, a utilização de aquecedores solares cresceu exponencialmente.

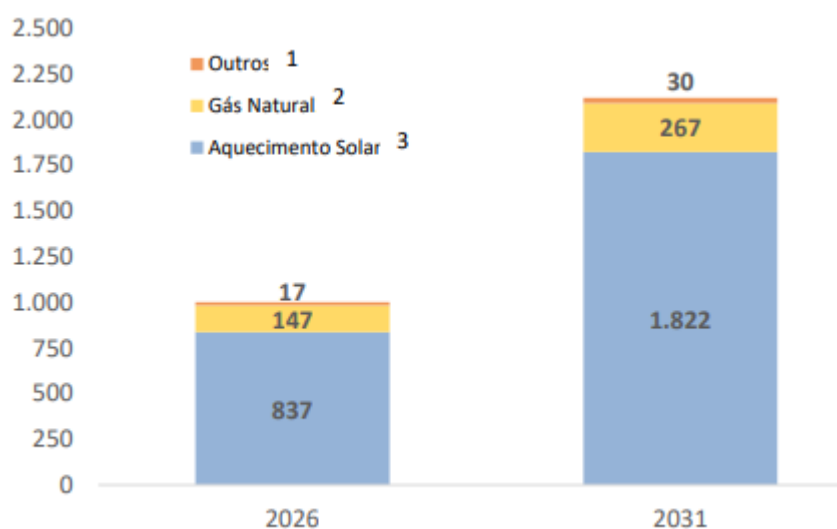
No período recente da história da energia solar térmica no Brasil, mais especificamente em 2020, a área total acumulada de coletores solares instalados no Brasil atingiu por volta de 19,2 milhões m². Em termos anuais, a área de coletores novos passou de cerca de 400 mil m² em 2005 para perto de 1.417 mil m² em 2020, representando um crescimento de aproximadamente 3,5 vezes no período. Nesse cenário, o setor residencial é o principal destino dos coletores (EPE, 2022).

A energia solar térmica residencial é destinada majoritariamente para o aquecimento de água para banho, deslocando o uso da eletricidade em chuveiros elétricos. O fator que parece ter mais influência para a instalação da tecnologia SAS é o seu custo-benefício em relação à energia elétrica consumida pelos domicílios brasileiros, que interfere no tempo de retorno do investimento em projetos (EPE, 2022).

Os sistemas de aquecimento de água, diferentemente dos sistemas fotovoltaicos, que se caracterizam pela geração ativa de energia elétrica, refletem-se em um consumo evitado de energia. Em termos práticos, a utilização desses sistemas não gera energia ativa, no entanto,

considerando o consumo dos chuveiros elétricos, este é descontado do consumo mensal ou deslocado para utilização de outros equipamentos, ocasionado a redução de custos com energia. Como pode ser visto na Figura 21, o aumento da demanda de energia e o seu consumo evitado no setor residencial utilizando fontes energéticas como o aquecimento solar tendem a aumentar, e estes refletem-se diretamente no valor da conta de energia dos consumidores residenciais.

Figura 21 - Consumo evitado de eletricidade residencial para aquecimento de água utilizando outras fontes energéticas (GWh)



Fonte: (EPE, 2022)

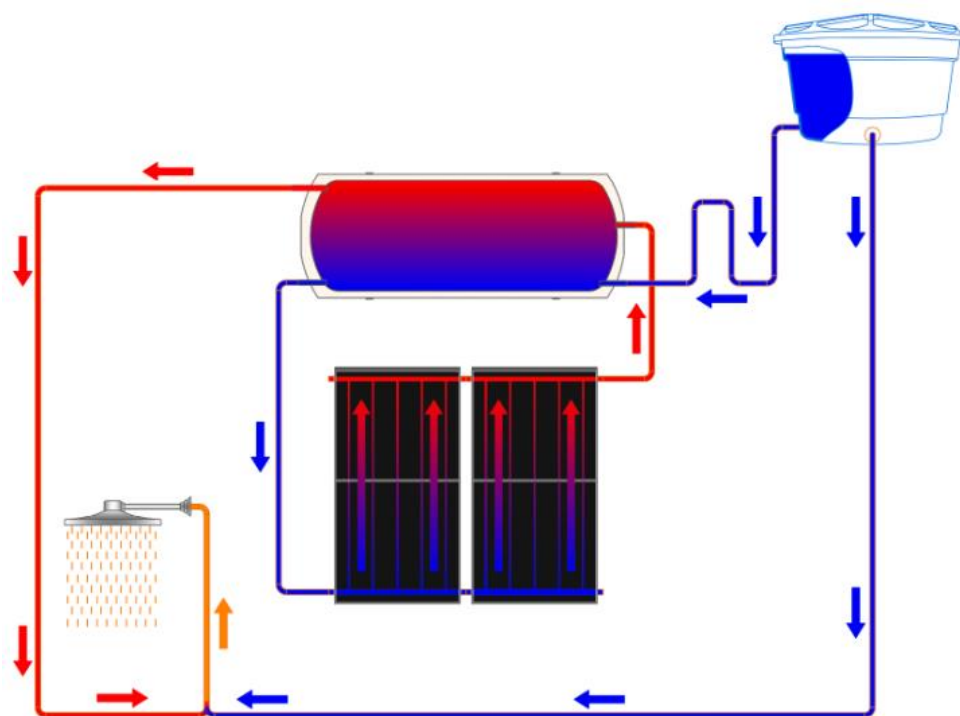
6.2 Estrutura e Princípio de Funcionamento

De acordo com a SOLETROL (2023), o aquecedor solar é um equipamento utilizado para aquecimento e armazenamento de água utilizando a energia solar. Para este objetivo, os constituintes principais de um SAS é o conjunto de coletores solares, que absorve a radiação solar e a converte em calor, e o reservatório térmico (também chamado de *boiler*), responsável pelo armazenamento da água, que pode ser utilizada diretamente ou para uso posterior. O processo de aquecimento ocorre quando os raios solares atravessam a tampa de vidro dos coletores solares, aquecendo as aletas, geralmente feitas de cobre ou alumínio. O calor é transferido das aletas para os tubos de cobre, conhecidos como serpentina. A água que circula dentro da serpentina é aquecida e direcionada para o reservatório do aquecedor solar. O reservatório térmico, projetado para manter a água armazenada quente, geralmente é feito de cobre, inox ou polipropileno e possuem um isolante térmico para evitar perdas de calor. A água

no sistema é transportada naturalmente (sistemas passivos) ou por circulação forçada (sistemas ativos). A circulação natural ocorre por convecção natural, em um processo conhecido como termossifão, onde a água nos coletores fica mais quente e, conseqüentemente, menos densa do que a água no reservatório. Já para os sistemas de circulação forçada, bombas ou ventiladores são utilizados (KALOGIROU, 2004).

Assim, como pode ser observado na Figura 22, o princípio de funcionamento de um SAS dá-se pela entrada da água fria na parte inferior do reservatório térmico, que alimenta o coletor solar onde ocorre o aquecimento da água. Nesse processo, a caixa de água fria, comumente já presente nas residências, abastece o reservatório térmico do aquecedor solar, garantindo a disponibilidade constante de água. Assim, na medida em que ocorre o aquecimento da água, por diferença de densidade, a água quente (mais leve) flui para a parte superior do reservatório térmico, de onde também sai a tubulação para abastecer o(s) ponto(s) de consumo (ABRASOL, [s.d.]).

Figura 22 - Estrutura de um Sistema de Aquecimento Solar



Fonte: (ABRASOL, [s.d.]).

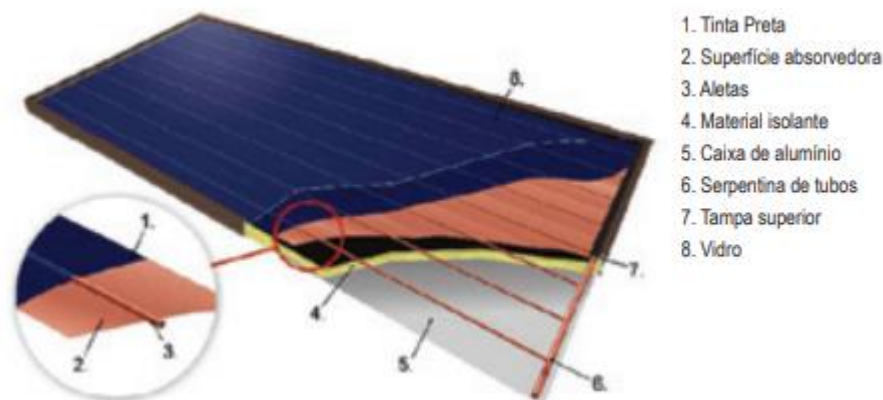
6.3 Elementos

6.3.1 Coletor Solar

O coletor solar é o componente principal de um sistema de aquecimento de água. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o coletor solar é definido como sendo um dispositivo que absorve radiação solar incidente e a converte em energia térmica, transferindo-a para um fluido de trabalho (BRASIL; CIVILIS, 2010). No que se refere ao SAS, existem três tipos principais de coletores solares, a saber: os coletores planos, os coletores abertos e os coletores de tubos evacuados.

Os coletores planos podem ser do tipo fechados ou abertos. Os coletores solares planos fechados são cobertos por uma camada de vidro e sua fabricação envolve a utilização de componentes metálicos e material isolante térmico. A Figura 23 demonstra um coletor solar plano fechado e seus componentes.

Figura 23 - Coletor solar plano fechado e seus componentes

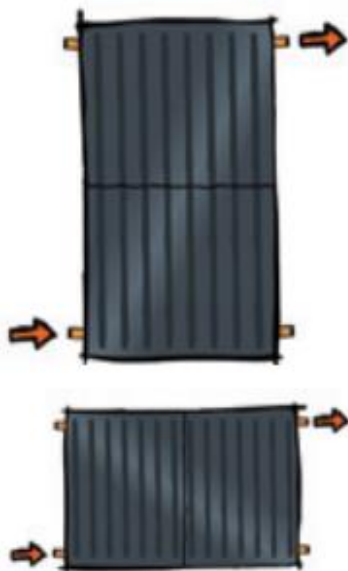


Fonte: Introdução aos Sistemas de Aquecimento Solar (2010).

De forma a garantir maior eficiência na absorção dos raios solares incidentes, a chapa absorvedora normalmente é pintada com tinta preta (BRASIL; CIVILIS, 2010). Os coletores planos fechados são indicados para aquecimento de água abaixo de 100°C, assim, são os mais utilizados no setor residencial e os mais indicados para a finalidade de aquecimento de água para banho. Além disso, existem duas opções comuns de fabricação para coletores solares: o modelo vertical e o horizontal, como pode ser visto na Figura 24, e sua escolha depende da aplicação e do funcionamento do sistema. No mercado, a depender do modelo, os coletores

solares são encontrados em medidas padrão, com a sua área variando entre 1,6 e 2,4m² (BRASIL; CIVILIS, 2010).

Figura 24 - Modelos de coletores: vertical e horizontal



Fonte: Introdução ao sistema de aquecimento solar (2010).

Os coletores solares abertos, também chamados de coletores termoplástico sem cobertura, não apresentam a cobertura de vidro e o isolante térmico, dessa forma, não atingem maiores temperaturas, chegando ao máximo de 40° C, sendo comumente indicados para o uso em piscinas (ABRASOL, [s.d.]). Já os coletores de tubo evacuados são mais indicados para processos industriais e em aplicações que possuem necessidade de atingir temperaturas superiores a 100°C. Uma das principais vantagens dos coletores de tubos evacuados é a eliminação das perdas térmicas por convecção devido ao ambiente a vácuo em seu interior, no entanto, existe o risco de o coletor perder o vácuo devido à entrada de ar no tubo, reduzindo de forma significativa a eficiência do sistema, além dos altos custos associados (BRASIL; CIVILIS, 2010).

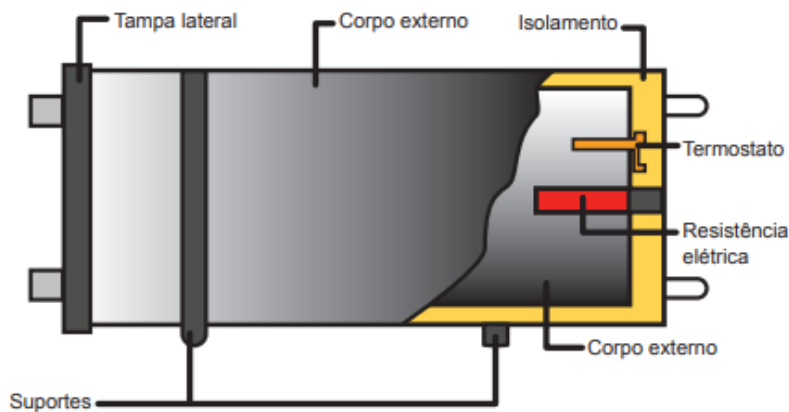
6.3.2 Reservatório Térmico (*Boiler*)

No que tange os sistemas de aquecimento de água, os reservatórios térmicos desempenham um papel fundamental no armazenamento de água quente proveniente dos coletores solares, permitindo o suprimento de água aquecida mesmo quando não há incidência solar direta, e sua composição principal dá-se por um corpo interno cilíndrico, geralmente feito de materiais como

aço inoxidável ou cobre, e são projetados de forma a minimizar as perdas de calor para o ambiente por meio de isolamento térmico (BRASIL; CIVILIS, 2010).

Como mostrado na Figura 25, além do corpo interno cilíndrico, que fica em contato direto com a água e do isolamento térmico, que é normalmente feito de lã de vidro ou espuma de poliuretano, o reservatório térmico também é constituído de outros componentes essenciais. O corpo externo desempenha a função de proteger o isolamento térmico de intempéries e condições climáticas adversas, sendo normalmente feito de materiais como o alumínio, aço galvanizado ou aço carbono pintado. O termostato é responsável por monitorar a temperatura da água dentro do reservatório térmico. A resistência elétrica tem como função o aquecimento auxiliar nos dias de baixa insolação e pode ser acionada pelo termostato quando necessário. Além disso, há a presença dos suportes que servem de apoio para fixação e instalação do reservatório e da tampa lateral, que garantem a sua vedação (ABRASOL, [s.d.]).

Figura 25 - Composição de um reservatório térmico



Fonte: Introdução ao sistema de aquecimento solar (2010).

7 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho, de forma inicial, deu-se a partir da pesquisa e revisão bibliográfica com base em artigos, livros, produções, manuais, trabalhos de conclusão de curso e sites com conteúdos relacionados ao tema de estudo. Assim, com os conceitos relacionados adquiridos e apresentados, deu-se a aplicação do estudo de caso, que tem como base as análises de viabilidade técnica e financeira dos sistemas de estudo. As subseções a seguir apresentam os aspectos técnicos e econômicos considerados para as análises de viabilidade, de forma a complementar a metodologia e guiar a aplicação do estudo de caso. É válido destacar que, para os cálculos pertinentes envolvidos neste trabalho, os dados de radiação solar incidentes são fundamentais e estes serão utilizados para os dois sistemas de forma única, bem como a área de telhado disponível na residência e os ângulos de inclinação. Estes aspectos também serão apresentados nas subseções a seguir. Por fim, após a análise e comparação dos resultados obtidos, é possível chegar à conclusão do sistema mais viável a ser implantado.

7.1 Irradiação Solar Média

Para a obtenção das médias de irradiação solar mensais e anuais, optou-se pela utilização da ferramenta disponibilizada pelo LABREN, com o Atlas Brasileiro de Energia Solar. A partir deste, é possível realizar uma consulta por Estado, conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26 - Consulta da base de dados do LABREN



Fonte: LABREN (2017).

Ao selecionar o Estado, o mapa detalhado referente à seleção é apresentado, dividido em regiões, onde cada região possui um ID para identificação. Assim, as etapas posteriores para consulta consistem em localizar o ID da região de interesse e selecionar o tipo de irradiação que se deseja obter os dados em um campo localizado abaixo do mapa. Assim, ao inserir o ID no campo de busca, os dados de irradiação são apresentados (LABREN, 2017).

7.2 Posição Geográfica e Determinação da Área do Telhado

Para obter o máximo aproveitamento da radiação solar, é recomendado posicionar os coletores solares e painéis fotovoltaicos orientados para o norte geográfico, onde a captação da radiação solar é melhor ao longo do dia. A direção do norte geográfico pode ser determinada com o auxílio do *Google Maps* por meio de uma bússola presente neste, e assim, com o norte geográfico definido, é possível determinar o melhor lado do telhado para a instalação dos painéis e coletores. Definida a localização de instalação no telhado, é possível estimar esta área, também com o auxílio do *Google Maps*.

7.3 Ângulo de Inclinação

A inclinação dos módulos e coletores solares é calculada com base na latitude local, sendo maior quanto mais distante estiver da linha do Equador. Para o caso dos coletores solares, o cálculo da inclinação baseia-se na adição de 10° à latitude local. Caso a inclinação calculada seja menor que 20° , é recomendado a instalação de um suporte, de forma a garantir o fluxo adequado de água. Já no caso dos módulos fotovoltaicos, a escolha do ângulo de inclinação é feita de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Escolha do ângulo de inclinação

Latitude local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	10°
11° a 20°	Latitude local
21° a 30°	Latitude local + 5°
31° a 40°	Latitude local + 10°
41° ou mais	Latitude local + 15°

Fonte: Villalva e Gazoli (2012).

7.4 Aspectos Técnicos

De forma geral, os aspectos técnicos considerados baseiam-se no dimensionamento dos sistemas de estudo. Considerando o sistema fotovoltaico convencional, será feito o cálculo da quantidade necessária de módulos para atender o consumo de energia requerido. Considerando o sistema híbrido, será feito o mesmo cálculo considerando a componente fotovoltaica, e no que tange ao aquecimento de água, será feito o cálculo para determinação da área coletora e do volume de armazenamento necessário. Além disso, serão considerados os ângulos de inclinação dos módulos fotovoltaicos e dos coletores solares, bem como a área disponível no telhado para instalação dos sistemas. É importante destacar que, como trazido pela seção 4.9, referente ao custo de disponibilidade ou taxa mínima, este é um valor que será cobrado mesmo em casos que não haja consumo de energia. Dessa forma, mesmo que os sistemas fotovoltaicos sejam capazes de suprir todo o consumo da residência, a taxa mínima ainda será cobrada. Assim, tendo a residência a qual será objeto do estudo de caso enquadrando-se como bifásica, por definição, o valor equivalente a 50 kWh será um valor que já deverá ser pago mensalmente. Por isso, para os cálculos que envolvem o consumo mensal de energia da residência, deste será descontado 50 kWh referentes ao custo de disponibilidade, de forma a otimizar o dimensionamento.

7.4.1 Cálculo da Quantidade de Módulos Fotovoltaicos Necessários

O primeiro passo no dimensionamento de um sistema fotovoltaico é a determinação da quantidade de energia que se deseja produzir, que pode ser obtida com base no consumo médio mensal de energia e este, por sua vez, é obtido a partir da fatura de energia (GAZOLI; VILLALVA, 2012).

Em seguida, é preciso determinar a potência total dos painéis necessária para atender o consumo total de energia. Este valor é dado em Wp (Watt-pico) e é calculado de acordo com a equação (1).

$$E_p = \frac{E_g}{R \times \eta} \quad (1)$$

Onde:

E_p : Potência total dos painéis (kWp)

E_g : Consumo médio diário (kWh/dia)

R : Radiação solar incidente no plano horizontal (kWh/m².dia)

η : Rendimento do sistema fotovoltaico

O rendimento considerado representa a relação entre o desempenho real e o teórico e leva em consideração todas as perdas envolvidas no processo de geração fotovoltaica, como sombreamentos e poeiras nas superfícies dos módulos, perdas nos cabos, as perdas relacionadas à temperatura, eficiência do inversor, dentre outras (PINHO; GALDINO, 2014). De acordo com Pinho e Galdino, para sistemas fotovoltaicos residenciais bem ventilados e não sombreados, o rendimento obtido nas condições de radiação solar encontradas no Brasil situa-se entre 70 e 80%. Dessa forma, adotou-se o valor médio de 75% para os cálculos.

Por fim, com base nos modelos de módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado, podemos determinar o número de módulos a partir da equação (2).

$$N_p = \frac{E_p}{E_m} \quad (2)$$

Onde:

N_p : Número de módulos fotovoltaicos

E_p : Potência total dos painéis (Wp)

E_m : Potência do módulo (Wp)

7.4.2 Cálculo do Volume de Armazenamento e da Área do Sistema de Coletores Solares

Para o cálculo do volume de armazenamento, considera-se os hábitos de consumo da residência no que tange a utilização do chuveiro elétrico. Assim, admite-se uma vazão para os chuveiros existentes na residência, além da média de banhos diários para cada habitante e do tempo gasto no banho. Dessa forma, o volume do reservatório térmico pode ser calculado por meio da equação (3).

$$V = Vz \times Tb \times Nh \times Nb \quad (3)$$

Onde:

V: Volume do reservatório térmico (L)

Vz: Vazão do chuveiro (L/min)

Tb: Tempo médio de cada banho (min)

Nh: Número de habitantes da residência

Nb: Número médio de banhos por dia

Para o cálculo da área coletora, é importante a apresentação de algumas definições. Define-se caloria (cal) como a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5° para 15,5°C. Da mesma forma, define-se quilocaloria (kcal) a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 kg de água. A partir dessas definições, tem-se o conceito do calor específico, que é a quantidade de calor que cada grama de uma substância necessita trocar para variar a sua temperatura de 1°C (BEZERRA, 2011). Assim, o cálculo considera o volume de água a ser aquecido, que é obtido por meio da equação (3), e as temperaturas médias ambiente local e a desejada da água aquecida. Nesse processo, entra o conceito de calor específico, uma vez que é necessário elevar a temperatura de uma substância, neste caso, a água. Por isso, no cálculo da área coletora também são considerados os índices de radiação incidente no local e insolação média anual, além do rendimento térmico do coletor. A área coletora pode ser obtida através das equações (4) e (5).

$$Q = V \times Ce \times (Td - Ta) \quad (4)$$

$$S = \frac{Q}{R \times \eta} \quad (5)$$

Onde:

Q: Quantidade de calor necessária (kcal)

V: Volume a ser aquecido (kg)

Ce: Calor específico da água (J/Kg °C)

Td: Temperatura desejada (°C)

Ta: Temperatura ambiente (°C)

S: Área coletora (m²)

R: Radiação solar incidente no plano horizontal (kWh/m².dia)

η: Rendimento térmico do coletor

7.5 Aspectos Financeiros

Os sistemas a serem implantados necessitam de investimentos para sua aplicação. Assim, um dos fatores motivadores para os consumidores é o lucro obtido e o tempo necessário para obtê-lo. A depender das condições do local de instalação e das condições monetárias vigentes, podemos obter valores que podem viabilizar o projeto ou tornarem o investimento inviável e menos atrativo ao consumidor. Dessa forma, para a análise de viabilidade financeira foram utilizados os critérios e conceitos apresentados a seguir.

7.5.1 Custos

Para a definição dos custos, de forma geral e inicial, foi realizada uma pesquisa das empresas atuantes no mercado de energia solar no Espírito Santo, e mais especificamente, próximas da residência utilizada para o estudo de caso, em Aracruz. Pôde-se perceber que a maioria das empresas existentes eram focadas em sistemas fotovoltaicos. Além disso, houve uma dificuldade significativa na localização de empresas que forneciam os serviços de instalação de sistemas fotovoltaicos e de aquecimento de água em conjunto. Vale ressaltar que, mesmo com a procura de empresas para instalação de sistemas de aquecimento de água em separado, foram encontradas dificuldades. Nesse cenário, a empresa Alternativa Solar, localizada em Linhares, apresentou-se como uma interessante fonte de dados orçamentários, visto que suas aplicações envolvem os serviços de instalação dos dois sistemas. Por este motivo, aliado ao benefício de ter uma base de preços única para a comparação entre o sistema fotovoltaico convencional e o sistema híbrido solar, a empresa foi escolhida como única fonte de orçamentos, que se baseiam nos custos de instalação, mão de obra, projeto e componentes dos sistemas. Além disso, a escolha da empresa tem o intuito de tornar a análise prática, com a possibilidade de aplicação real dos sistemas para a residência. Assim, levando o estudo para a aplicação real, a empresa seria a escolhida.

Para o projeto do sistema fotovoltaico convencional serão analisados os custos totais para este sistema. Já para o sistema híbrido serão analisados os custos do sistema fotovoltaico e do sistema de aquecimento de água em conjunto, considerando que, para a componente fotovoltaica, será descontado o consumo de energia do chuveiro elétrico.

7.5.2 VPL (Valor Presente Líquido)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma técnica muito utilizada na análise financeira como forma de avaliação para a atratividade de um investimento e se este retornará lucros. Ele representa a diferença entre o valor presente do projeto, considerando os fluxos de caixa esperados ao longo da sua vida útil e o investimento inicial necessário para sua implantação. Se esta diferença for positiva, o investimento é lucrativo e atrativo. Caso contrário, indica que o investimento não é viável e sua aplicação trará prejuízo (ALMEIDA SANTOS; ALBERTO SOUZA, 2015).

7.5.3 TIR (Taxa Interna de Retorno)

A Taxa Interna de Retorno (TIR), juntamente com o VPL, é uma métrica utilizada na análise financeira para medir a viabilidade de um investimento. Ela representa a taxa de retorno que iguala o valor presente dos fluxos de caixa do projeto ao investimento inicial. Em termos práticos, a TIR é a taxa de juros que faz com que o VPL de um projeto se iguale a zero. Assim, a TIR é utilizada para verificação e comparação com outros investimentos, indicando que o projeto é mais atrativo quando ela é maior que a taxa de retorno dos investimentos considerados (ALMEIDA SANTOS; ALBERTO SOUZA, 2015). O cálculo da TIR tem como base a equação (6).

$$\sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} - FC_0 = VPL = 0 \quad (6)$$

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido (R\$)

n: Número de períodos (anos)

FC_n: Fluxo de caixa no período/ano n

FC₀: Investimento inicial

TIR: Taxa Interna de Retorno

7.5.4 TMA (Taxa Mínima de Atratividade)

Para tomar uma decisão sobre a viabilidade de um projeto, geralmente compara-se a TIR com uma taxa mínima de atratividade (TMA), que geralmente se baseia em taxas estabelecidas, como a taxa SELIC. Dessa forma, se a TIR for maior do que a TMA, o projeto é considerado viável e atrativo. Caso contrário, é necessário avaliar outras métricas ou opções de investimento. Para este trabalho, a TMA será igualada à taxa SELIC, que no presente momento está estabelecida em 13,75% ao ano.

7.5.5 *Payback* (Retorno de Investimento)

O *Payback* é uma métrica utilizada na análise financeira para a verificação de quando um investimento inicial realizado em um projeto se pagará. O *Payback* apresenta-se como uma medida simples e é largamente utilizada para análises de viabilidade econômica. Seu cálculo consiste na soma dos lucros obtidos com a implantação do projeto, e o período a que o *Payback* se baseia refere-se ao tempo necessário para que essa soma equalize o valor do investimento inicial realizado (ALMEIDA SANTOS; ALBERTO SOUZA, 2015).

O cálculo para o *Payback* caracteriza-se em duas formas, a saber: simples e descontado. No modelo simples não é considerado o valor temporal do dinheiro, ou seja, não considera efeitos sobre o dinheiro no futuro, como a inflação, ao contrário do descontado.

7.5.6 Considerações

Para a análise financeira utilizando os conceitos de VPL, TIR, TMA e *Payback*, será considerada uma taxa de desconto de 3,16% referente à desvalorização do dinheiro, sendo esta a taxa de inflação vigente até o mês de junho de 2023. Além disso, para a análise é necessário obter o valor da tarifa da distribuidora local, sendo esta a EDP Espírito Santo. A tarifa vigente da EDP para os consumidores do grupo B possui o valor de R\$ 0,67384 por kWh, correspondente às componentes tarifárias TUSD (R\$ 0,39681 por kWh) e TE (R\$ 0,27703 por kWh). Tendo em vista a cobrança do Fio B, esta será desconsiderada para as análises de viabilidade financeira, uma vez que a instituição do Marco Legal é algo recente e que ainda gera debates, faltando definições assertivas sobre as regras tarifárias que serão aplicadas e de

como esta cobrança será realizada em cenários futuros, não abrangendo a vida útil dos sistemas. Além disso, devido as regras de transição presentes no Marco e a incerteza de quando os sistemas serão instalados na residência, incluir tal análise no estudo de caso não retornaria resultados úteis. No entanto, para projetos futuros e realizados a partir deste trabalho, é indicado que a cobrança do Fio B seja considerada, visto que esta pode trazer mudanças significativas no que tange a viabilidade financeira dos sistemas. Também serão desconsideradas as alterações tarifárias ou outras medidas que possam modificar a tarifa vigente da EDP ao longo da vida útil dos sistemas.

8 ESTUDO DE CASO E ANÁLISES DE VIABILIDADE

8.1 Características e perfil de consumo energético da residência

8.1.1 Características gerais

A residência de estudo está localizada no município de Aracruz, no estado do Espírito Santo, onde moram 4 pessoas. A visão frontal e a área da residência são mostradas na Figura 27 e na Figura 28, respectivamente.

Figura 27 - Vista frontal da residência de estudo



Fonte: *Google Maps* (adaptado pela própria autora).

Figura 28 - Vista aérea da residência de estudo



Fonte: *Google Maps* (adaptado pela própria autora).

8.1.2 Características elétricas da instalação

A Tabela 4 apresenta as características principais da instalação e do fornecimento de energia da residência.

Tabela 4 - Características de instalação da residência de estudo

Grupo/Subgrupo	Classe	Tipo de Fornecimento	Modalidade Tarifária	Tensão Nominal
B/B1	Residencial	Bifásico	Convencional	220/127V

Fonte: Produção da própria autora.

8.1.3 Consumo elétrico da residência

A Tabela 5 apresenta o consumo de energia no período de março de 2022 a março de 2023. O consumo de energia no período determinado será utilizado para obter a média de consumo mensal da residência, que será utilizada nos cálculos de dimensionamento dos sistemas solares.

Tabela 5 - Consumo elétrico da residência de estudo

Mês/Ano	Consumo (kWh)	Valor da fatura (R\$)
Março/2022	411	496,69
Abril/2022	317	386,08
Maió/2022	349	354,07
Junho/2022	286	283,15
Julho/2022	280	236,14
Agosto/2022	294	262,17
Setembro/2022	281	269,42
Outubro/2022	247	238,49
Novembro/2022	321	293,06
Dezembro/2022	277	255,63
Janeiro/2023	283	262,63
Fevereiro/2023	309	315,26
Março/2023	330	332,85
Média Mensal	332,08	332,14

Fonte: Produção da própria autora.

8.1.4 Consumo do chuveiro elétrico

A residência conta com dois chuveiros elétricos usuais, que se encontram no segundo pavimento da casa e que contam com as características elétricas mostradas na Tabela 6. Para efeitos de cálculo, será considerada a potência média entre os dois chuveiros.

Tabela 6 - Características elétricas dos chuveiros

Chuveiro	Potência (W)	Tensão (V)
Chuveiro 1	7.500	220
Chuveiro 2	5.500	127
Média	6.500	

Fonte: Produção da própria autora.

Considerando os habitantes da residência e a utilização dos chuveiros elétricos, esses apresentam os hábitos de consumo apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Hábitos de consumo em relação ao uso do chuveiro

Habitantes	Média de banhos/dia/habitante	Tempo médio de banho/dia/habitante (min)
4	1,5	10

Fonte: Produção da própria autora.

A partir das informações da Tabela 6 e da Tabela 7, é possível estimar o consumo de energia mensal devido ao uso do chuveiro elétrico por meio da equação (7).

$$E_{cc} = N_h \times N_b \times \frac{T_b}{60} \times \frac{P_m}{1000} \times 30 \quad (7)$$

Onde:

Ec: Energia mensal consumida pelos chuveiros elétricos (kWh)

Nh: Número de habitantes

Nb: Média de banhos por dia por habitante

Tb: Tempo médio de banho por dia por habitante (min)

Pm: Potência média dos chuveiros (W)

Substituindo os dados das tabelas na equação (7), obtemos um consumo mensal de energia pelos chuveiros de 195 kWh, como pode ser visto na equação (8), o que representa aproximadamente 59% do consumo de energia mensal total da residência.

$$E_{cc} = 4 \times 1,5 \times \frac{10}{60} \times \frac{6500}{1000} \times 30 = 195 \text{ kWh} \quad (8)$$

8.2 Irradiação Solar Média

Por meio do *Google Maps*, é possível obter os dados de latitude e longitude referentes à localização da residência. Assim, a residência está localizada em uma área que possui os seguintes valores de latitude e longitude, respectivamente: 19.80° (Sul) e 40.28° (Oeste).

Os dados de radiação solar incidentes sobre a residência foram obtidos por meio do Atlas Brasileiro de Energia Solar (LABREN), conforme exposto no capítulo 7. A Figura 29 apresenta os valores de irradiação obtidos, com os valores de latitude e longitude próximos aos valores obtidas pelo *Google Maps*.

Figura 29 - Médias do total diário da irradiação global horizontal na residência de estudo em Wh/m².dia

ID ▲	Lon ♣	Lat ♣	Anual ♣	Jan ♣	Fev ♣	Mar ♣	Abr ♣	Mai ♣	Jun ♣	Jul ♣	Ago ♣	Set ♣	Out ♣	Nov ♣	Dez ♣
11684	-40,249	-19,8005	4835	6092	6266	5357	4517	3902	3625	3701	4279	4717	4864	4932	5766
ID	Lon	Lat	Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez

Fonte: LABREN (2017).

8.3 Posição Geográfica e Determinação da Área do Telhado

Com o auxílio do *Google Maps*, é possível determinar a direção do norte geográfico da residência. Assim, a partir da análise da bússola presente na ferramenta, a instalação dos sistemas deve ser realizada no lado direito do telhado da residência, a partir da visão frontal, com o objetivo de obter o maior aproveitamento solar, como discutido anteriormente. A Figura 30 apresenta o local de instalação dos painéis, demarcado de vermelho.

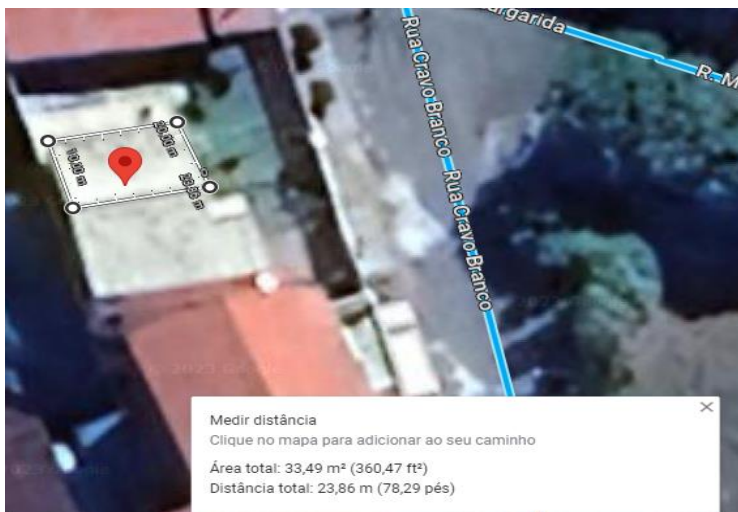
Figura 30 - Localização da área de instalação na residência



Fonte: *Google Maps* (adaptado pela própria autora).

Definida a localização do telhado onde será realizada a instalação dos painéis fotovoltaicos, é possível obter a estimativa da área do telhado disponível para a instalação, por meio do *Google Maps*, como posto anteriormente. Para a residência, foi obtida uma área total de telhado de $33,49 \text{ m}^2$, como pode ser observado na Figura 31.

Figura 31 - Área de telhado disponível na residência



Fonte: *Google Maps* (adaptado pela própria autora).

8.4 Ângulo de Inclinação

Com a latitude da localização da residência obtida anteriormente e com o auxílio da Tabela 3, podemos determinar o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos e dos coletores solares.

Considerando os coletores solares, o ângulo de inclinação será de 29.80° ($19.8^\circ + 10^\circ$). Considerando os painéis fotovoltaicos, visto que a residência se encontra em uma região com latitudes entre 11° a 20° , o ângulo de inclinação será equivalente à latitude local (19.80°).

8.5 Projeto do Sistema Fotovoltaico Convencional

8.5.1 Análise Técnica

8.5.1.1 Cálculo da Quantidade de Módulos Necessários

A partir da fatura de energia da residência, como apresentada na Tabela 5, tem-se que o consumo de energia médio mensal é de 332,08 kWh, no entanto, como posto pelo capítulo 7, será desconsiderado o consumo referente ao custo de disponibilidade. Além disso, com os dados de radiação solar obtidos pelo LABREN e dispostos na Figura 29, tem-se que a radiação solar incidente média é de 4,84 kWh/m²/dia. Foi definido, junto à empresa responsável pelo orçamento, a escolha de módulos de 550 W de potência. Considerando o rendimento de 75% do sistema fotovoltaico, a potência total destes pode ser calculada pela equação (9), utilizando-se da equação (1).

$$E_p = \frac{332,08 - 50}{4,84 \times 0,75} = 2,59 \text{ kWp} \quad (9)$$

Devido aos valores comerciais de potências dos painéis, podemos aproximar este valor para 2,7 kWp. Assim, podemos determinar o número de módulos pela equação (10), utilizando-se da equação (2).

$$N_p = \frac{2700}{550} = 5 \text{ módulos} \quad (10)$$

Considerando a área de um módulo fotovoltaico igual a 2m² de acordo com a empresa de referência, a área ocupada pelos módulos seria de 10m², o que indica que a área do telhado calculada anteriormente é suficiente para a instalação do sistema.

8.5.2 Análise Econômica

8.5.2.1 Custos

A Tabela 8 apresenta o orçamento disponibilizado pela empresa Alternativa Solar, considerando o que foi exposto anteriormente.

Tabela 8 - Orçamento para o sistema fotovoltaico convencional

Item	Descrição	Quantidade	R\$
1	Microinversor 3.000 – 220V BI – 2 MPPT	1	
2	Comunicador para gerenciamento (Incluso)	1	9.500
3	Painel solar 550 W - Monocristalino	5	
4	Monitoramento da geração do sistema	12 meses	
5	Kit de Estrutura Retrato Fibrocimento e Cabeamentos CC	1	1.200
6	Projeto e Aprovação na Concessionária	1	500
7	Serviços de Instalação e Configuração e Limpeza	1	3.000
Total do Investimento		R\$	14.200

Fonte: Produção da própria autora.

8.5.2.2 VPL, TIR, TMA e Payback

Como posto anteriormente, a TMA foi definida como sendo a taxa SELIC, com o atual valor de 13,75% ao ano, e a taxa de desconto considerada será de 3,16%. Os módulos fotovoltaicos possuem vida útil em uma média de 25 anos. Na Figura 32, são apresentados os fluxos de caixa no período da vida útil considerada, levando em conta os custos iniciais para implantação do sistema, como obtido na seção anterior. Além disso, também leva em conta o valor anual economizado, que é obtido de acordo com a equação (11). Considera-se também que o valor economizado foi utilizado por todo o período considerado.

$$Ve = Vt \times Cen \times p \quad (11)$$

Onde:

Ve: Valor economizado (R\$)

Vt: Valor da tarifa (R\$/kWh)

Cen: Consumo de energia mensal (kWh), desconsiderando-se o custo de disponibilidade

p: Período (meses)

Portanto, substituindo os valores na equação (11), o valor economizado considerado será de R\$2.685,23 anuais, como pode ser visto na equação (12).

$$Ve = 0,67384 \times (332,08 - 50) \times 12 = 2.280,92 \quad (12)$$

Figura 32 - Fluxo de caixa para o Sistema Fotovoltaico Convencional

Ano	Investimento	Ganhos Anuais	Taxa de Desconto	Valor Presente	Fluxo de Caixa Acumulado
0	14.200,00				-14.200,00
1		2.280,92	3,16%	2.211,05	-11.988,95
2		2.280,92	3,16%	2.143,32	-9.845,63
3		2.280,92	3,16%	2.077,67	-7.767,96
4		2.280,92	3,16%	2.014,02	-5.753,94
5		2.280,92	3,16%	1.952,33	-3.801,60
6		2.280,92	3,16%	1.892,53	-1.909,08
7		2.280,92	3,16%	1.834,55	-74,52
8		2.280,92	3,16%	1.778,36	1.703,84
9		2.280,92	3,16%	1.723,88	3.427,72
10		2.280,92	3,16%	1.671,08	5.098,80
11		2.280,92	3,16%	1.619,89	6.718,69
12		2.280,92	3,16%	1.570,27	8.288,96
13		2.280,92	3,16%	1.522,17	9.811,12
14		2.280,92	3,16%	1.475,54	11.286,67
15		2.280,92	3,16%	1.430,34	12.717,01
16		2.280,92	3,16%	1.386,53	14.103,54
17		2.280,92	3,16%	1.344,06	15.447,59
18		2.280,92	3,16%	1.302,88	16.750,48
19		2.280,92	3,16%	1.262,97	18.013,45
20		2.280,92	3,16%	1.224,29	19.237,74
21		2.280,92	3,16%	1.186,79	20.424,53
22		2.280,92	3,16%	1.150,43	21.574,96
23		2.280,92	3,16%	1.115,19	22.690,15
24		2.280,92	3,16%	1.081,03	23.771,18
25		2.280,92	3,16%	1.047,92	24.819,10

Fonte: Produção da própria autora.

Através do fluxo de caixa obtido, resultaram-se os valores referentes aos parâmetros econômicos, como pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9 - Valor de VPL, TIR e Payback para o Sistema Fotovoltaico Convencional

VPL	R\$ 24.819,10
TIR	15,64% (>13,75%)
Payback	7,04 anos (7 anos e 15 dias)

Fonte: Produção da própria autora.

Analisando a Tabela 9, pode-se perceber que o sistema retornou um VPL positivo, além de uma TIR maior que a TMA definida, o que indica a viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico convencional. Além disso, pela Figura 32, o fluxo de caixa torna-se positivo entre o sétimo e oitavo ano, resultando em um tempo de retorno de investimento de 7,04 anos, o equivalente a aproximadamente 7 anos e 15 dias.

8.6 Projeto do Sistema Híbrido: Fotovoltaico e SAS

8.6.1 Análise Técnica

8.6.1.1 Cálculo da Quantidade de Módulos Fotovoltaicos Necessários

A partir da fatura de energia da residência, apresentada na Tabela 5, verifica-se que o consumo de energia médio mensal é de 332,08 kWh. No entanto, o consumo de energia devido ao chuveiro elétrico é de 195 kWh, o que será compensado considerando o sistema de aquecimento de água. Assim, para a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para o sistema híbrido, podemos descontar a parcela do consumo de energia referente ao chuveiro elétrico, resultando em um consumo médio mensal de 137,08 kWh. Além disso, também será descontado o consumo referente ao custo de disponibilidade. Repetindo as considerações e o que foi feito na seção anterior, a potência total dos painéis fotovoltaicos pode ser calculada pela equação (13).

$$Ep = \frac{\frac{137,08 - 50}{30}}{4,84 \times 0,75} = 0,79 \text{ kWp} \quad (13)$$

Devido aos valores comerciais de potências dos painéis, podemos aproximar este valor para 0,8 kWp. Assim, podemos determinar o número de módulos pela equação (14).

$$Np = \frac{800}{550} = 2 \text{ módulos} \quad (14)$$

Da mesma maneira, considerando a área de um módulo fotovoltaico igual a 2 m^2 , a área ocupada pelos módulos seria de 4 m^2 , o que indica que a área do telhado calculada anteriormente é suficiente para instalação do sistema, correspondendo a 40% da área calculada para o sistema fotovoltaico convencional.

8.6.1.2 Cálculo do Volume de Armazenamento e da Área Coletora

Admitindo-se uma vazão de 6 L/min e utilizando-se dos dados da Tabela 7, podemos calcular o volume de armazenamento por meio da equação (15), conforme definido pela equação (3).

$$V = 6 \times 10 \times 4 \times 1,5 = 360L \quad (15)$$

Como padrão existente no mercado, os reservatórios térmicos costumam ser comercializados com o volume de 400 L . Desta forma, este será o valor de volume de armazenamento considerado no projeto.

Para o cálculo da área coletora, será considerada a temperatura média ambiente de Aracruz, que possui o valor de $23,4 \text{ }^\circ\text{C}$, e uma temperatura desejada de 50°C . Além disso, o rendimento térmico dos coletores será arbitrado em 60%. Assim, a área coletora pode ser obtida através das equações (16) e (17), conforme definido pelas equações (4) e (5). Os demais valores presentes na equação (17) são referentes a conversão de unidades.

$$Q = 400 \times 1 \times (50 - 23,4) = 10.640 \text{ kcal} \quad (16)$$

$$S = \frac{10.640 \times 1,16}{4,84 \times 0,6 \times 1000} = 4,25 \text{ m}^2 \quad (17)$$

A partir do resultado da equação (17) e considerando-se que a área média de coletores solares é de 2 m^2 , o número de coletores suficiente para atender a residência será igual a 2.

8.6.2 Análise Econômica

8.6.2.1 Custos

A Tabela 10 apresenta o orçamento disponibilizado pela empresa Alternativa Solar, considerando o que foi exposto anteriormente. Como posto anteriormente, considerando a área

coletora, a aplicação de dois coletores solares atenderia a residência, no espaço disponível da área do telhado.

Tabela 10 - Orçamento para o sistema fotovoltaico híbrido

Item	Descrição	Quantidade	R\$
1	Microinversor 3.000 – 220V BI – 2 MPPT	1	
2	Comunicador para gerenciamento (Incluso)	1	6.500
3	Painel solar 550 W - Monocristalino	2	
4	Monitoramento da geração do sistema	12 meses	
5	Kit de Estrutura Retrato Fibrocimento e Cabeamentos CC	1	1.000
6	Projeto e Aprovação na Concessionária	1	500
7	Serviços de Instalação e Configuração e Limpeza	1	2.000
8	Reservatório Térmico 400 L	1	3.500
9	Coletor Solar Vertical – 2 x 1M	2	3.100
10	Kit Instalação SAS – Válvulas, Tubos e Conexões	1	1.200
11	Mão de Obra SAS	1	500
Total do Investimento		R\$	18.300

Fonte: Produção da própria autora.

8.6.2.2 VPL, TIR, TMA e Payback

Analogamente à forma feita para o sistema fotovoltaico convencional, na Figura 33, são apresentados os fluxos de caixa levando em conta os custos iniciais para implantação do sistema, como obtido na seção anterior. No entanto, a vida útil média dos sistemas de aquecimento de água é de 20 anos. Dessa forma, para a análise econômica do sistema híbrido, este será o período considerado. Além disso, para o valor anual economizado, considera-se o mesmo valor utilizado para a análise do sistema fotovoltaico convencional.

Figura 33 - Fluxo de caixa para o Sistema Híbrido

Ano	Investimento	Ganhos Anuais	Taxa de Desconto	Valor Presente	Fluxo de Caixa Acumulado
0	18.300,00				-18.300,00
1		2.280,92	3,16%	2.211,05	-16.088,95
2		2.280,92	3,16%	2.143,32	-13.945,63
3		2.280,92	3,16%	2.077,67	-11.867,96
4		2.280,92	3,16%	2.014,02	-9.853,94
5		2.280,92	3,16%	1.952,33	-7.901,60
6		2.280,92	3,16%	1.892,53	-6.009,08
7		2.280,92	3,16%	1.834,55	-4.174,52
8		2.280,92	3,16%	1.778,36	-2.396,16
9		2.280,92	3,16%	1.723,88	-672,28
10		2.280,92	3,16%	1.671,08	998,80
11		2.280,92	3,16%	1.619,89	2.618,69
12		2.280,92	3,16%	1.570,27	4.188,96
13		2.280,92	3,16%	1.522,17	5.711,12
14		2.280,92	3,16%	1.475,54	7.186,67
15		2.280,92	3,16%	1.430,34	8.617,01
16		2.280,92	3,16%	1.386,53	10.003,54
17		2.280,92	3,16%	1.344,06	11.347,59
18		2.280,92	3,16%	1.302,88	12.650,48
19		2.280,92	3,16%	1.262,97	13.913,45
20		2.280,92	3,16%	1.224,29	15.137,74

Fonte: Produção da própria autora.

Através do fluxo de caixa obtido, resultaram-se os valores referentes aos parâmetros econômicos, como pode ser visto na Tabela 11.

Tabela 11 - Valor de VPL, TIR e Payback para o Sistema Híbrido

VPL	R\$ 15.137,74
TIR	10,89%
Payback	9,40 anos

Fonte: Produção da própria autora.

Analisando a Tabela 11, pode-se perceber que o sistema retornou um VPL positivo, no entanto, o valor de TIR obtido foi menor que a TMA. Além disso, pela Figura 33, o fluxo de caixa torna-se positivo entre o nono e o décimo ano, resultando em um tempo de retorno de investimento de 9,40 anos, o equivalente a aproximadamente 9 anos e 5 meses.

8.7 Comparação e Análise dos Resultados Obtidos

Analisando os resultados obtidos para o sistema fotovoltaico convencional e para o sistema com aplicação conjunta dos sistemas fotovoltaico e de aquecimento de água, pode-se perceber que o primeiro retornou um custo menor, além de valores econômicos que melhor representam a

sua viabilidade de implantação. Dessa forma, o sistema escolhido como mais viável, com aplicação para este estudo de caso, foi o sistema fotovoltaico convencional.

9 CONCLUSÕES

As fontes alternativas de energia surgem como fatores contribuintes para a geração e aproveitamento de energia de forma sustentável, limpa e renovável, apresentando-se como uma solução para a diminuição da dependência de recursos hídricos e da utilização de combustíveis fósseis para a geração de energia, sendo que os últimos apresentam impactos ambientais negativos elevados. Associado a esses fatores, há ainda a crescente demanda de energia elétrica e dos serviços que envolvem esse processo, o que culmina também no aumento de custos para os consumidores.

Nesse cenário, há a necessidade de possibilidades alternativas para a geração de energia, e o Sol, principal fonte de luz e vida na Terra, apresenta-se como um dos principais meios para este fim. A implementação de sistemas, como o fotovoltaico e os sistemas de aquecimento de água, que se utilizam do recurso solar, traz retornos positivos não só para o ambiente, mas também para os consumidores, uma vez que esses sistemas trazem a redução de custos com o consumo de energia.

O presente trabalho teve como objetivo principal a realização do estudo de viabilidade técnica e econômica de implantação de dois sistemas de aproveitamento da energia solar, de forma comparativa, a fim de determinar a solução mais viável. O primeiro sistema consistiu em um sistema fotovoltaico convencional, e o segundo na aplicação conjunta de um sistema fotovoltaico e um sistema de aquecimento de água em substituição ao chuveiro elétrico da resistência de estudo.

De posse dos principais conceitos envolvidos no funcionamento dos sistemas e na posterior aplicação do estudo de caso, o sistema fotovoltaico convencional mostrou-se a solução mais viável, com um *payback* de aproximadamente 7 anos e um VPL positivo de R\$24.819,10, além de uma TIR de 15,64%, maior que a TMA definida. Assim, os objetivos gerais e específicos deste trabalho foram atingidos.

No entanto, é válido também destacar que, embora para o estudo de caso aplicado o sistema híbrido não foi a solução mais viável, ela ainda é uma forma válida de aproveitamento da energia. Apesar do crescimento mostrado na utilização dos aquecedores solares, a aplicação

desta tecnologia ainda hoje é limitada, faltando visibilidade e divulgação. Os chuveiros elétricos possuem um consumo elevado de energia, e mesmo considerando valores médios de potência e dos hábitos de consumo, este representou 59% do consumo mensal total de energia da residência de estudo. Os benefícios que esta aplicação pode trazer são evidentes. A inserção do sistema de aquecimento de água resultou em uma redução de 40% do número de módulos fotovoltaicos necessários para suprir o consumo de energia restante da casa, o que também reduz a 40% a área do telhado utilizada em relação ao sistema fotovoltaico, além de reduzir o peso devido aos módulos fotovoltaicos na estrutura da residência. Dessa forma, o presente trabalho também contribuiu no sentido da conscientização e apresentação de diferentes formas de aplicação do aproveitamento do recurso solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACEEL. **90% dos brasileiros gostaria de poder gerar a sua própria energia.** Disponível em: <<https://abraceel.com.br/clipping/2020/09/90-dos-brasileiros-gostaria-de-poder-gerar-a-sua-propria-energia/>>. Acesso em: 3 ago. 2022.

ABRASOL. **A tecnologia – Abrasol.** Disponível em: <<https://abrasol.org.br/a-tecnologia/>>. Acesso em: 5 ago. 2022.

ABRASOL. **Boletim I Junho I nº28/2022 – Abrasol.** Disponível em: <<https://abrasol.org.br/boletim-i-junho-i-no28-2022/>>. Acesso em: 4 ago. 2022a.

ABRASOL. **Pesquisa de Produção e Vendas de 2022 (Ano Base 2021).** Disponível em: <<https://abrasol.org.br/wp-content/uploads/2022/05/Pesquisa-de-Producao-e-Vendas-de-2022-ano-base-2021.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2022b.

ABSOLAR. **ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 3 ago. 2022a.

ABSOLAR. **ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/geracao-de-energia-solar-em-residencias-deve-dobrar-ate-o-fim-do-ano-preve-associacao-do-setor/>>. Acesso em: 3 ago. 2022b.

ABSOLAR. **ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/gerar-a-propria-energia-e-o-desejo-de-92-dos-brasileiros-aponta-pesquisa/>>. Acesso em: 3 ago. 2022c.

ALMEIDA SANTOS, F.; ALBERTO SOUZA, C. DE. **Energia Solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG.** . [S.l: s.n.], 2015.

ANEEL. Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL) - Resolução Normativa Nº 1000/2021. **Agência Nacional De Energia Elétrica**, p. 1–142, 2021.

ANEEL. Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL) - Resolução Normativa N° 482/2012. **Agência Nacional De Energia Elétrica**, 2012a.

ANEEL. Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL) - Resolução Normativa N° 517/2012. **Agência Nacional De Energia Elétrica**, 2012b.

ANEEL. Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL) - Resolução Normativa N° 687/201. **Agência Nacional De Energia Elétrica**, p. 18, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2022.

BEZERRA, A. M. Vamos calcular um aquecedor solar de água? v. d, p. 1–5, 2011.

BLUESOL. **Lei da Energia Solar: Entenda Tudo (Sem “Juridiquês”)**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/lei-da-energia-solar/>>. Acesso em: 23 jun. 2023.

_____. Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica. [s.d.]. Disponível em: <<https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdução-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>.

BRANDÃO, S. C.; PINTO, F. R. Energia Solar. **Compêndio Amazônico: Noções sobre Meio Ambiente**, p. 77–81, 2021.

BRASIL, E.; CIVILIS, V. Introdução ao sistema de aquecimento solar. **São Paulo. Virtual Laser**, 2010.

Célula Fotovoltaica: Tudo que Você Precisa Saber. Disponível em: <<https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 4 ago. 2022.

CRESESB. Tutorial Solar. 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>.

EDP. **Aneel define tarifa de energia da EDP no Espírito Santo**. Disponível em: <<https://www.edp.com.br/noticias/artigo/aneel-define-tarifa-de-energia-da-edp-no-espirito->

santo/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ELETROBRAS. Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPH). Disponível em:<https://eletrobras.com/pt/SiteAssets/Paginas/PPH2019/RESUMO_EXECUTIVO_BRASIL_BR.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2022.

EPE. PDE 2031 - PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA. Disponível em:<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>>. Acesso em: 4 ago. 2022.

FERNANDES, F. M. F. Modelos Físico-Matemáticos de Estruturas Estelares. 2001.

G1. Como funciona um sistema de geração de energia solar? Disponível em:<<https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/enerluz/energia-solar-energia-do-futuro/noticia/2021/09/27/como-funciona-um-sistema-de-geracao-de-energia-solar.ghtml>>. Acesso em: 4 ago. 2022.

GALDINO, M. et al. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. Revista da DIRENG. [S.l: s.n.], 2009

GAZOLI, J. R.; VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012.

GENZLER, J. Estudo comparativo de topologias de inversores para a conexão de painéis fotovoltaicos com a rede elétrica sem o uso de transformador. . [S.l: s.n.], 2015.

QUANTA GERAÇÃO. Energia Solar: 4 Fatores que Impactam na Geração. Disponível em: <<https://quantageracao.com.br/energia-solar-4-fatores-que-impactam-na-geracao/>>. Acesso em: 4 ago. 2022.

GOV. Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em:<<https://www.gov.br/inpe/pt-br/area-conhecimento/posgraduacao/cst/laboratorios/laboratorio->

de-modelagem-e-estudos-de-recursos-renovaveis-de-energia-labren>. Acesso em: 30 jun. 2023.

GREENER. **Análise do Marco Legal da Geração Distribuída**. Disponível em: <<https://energiasroraima.com.br/wp-content/uploads/2022/04/Analise-Completa-Marco-Legal-da-GD-Lei-14.300-de-2022.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2023.

GREENER. **Análise do Marco Legal da Geração Distribuída - Revisão 2023**. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/landing-page-analise-do-marco-legal-da-geracao-distribuida-2023>>. Acesso em: 23.jun. 2023.

Horace de Saussure and His Hot Boxes of the 1700's. Disponível em: <<http://solarcooking.org/saussure.htm>>. Acesso em: 5 ago. 2022.

JÚNIOR, L. L. A. da S. **Desenvolvimento de projeto orientativo para a instalação de um sistema fotovoltaico on-grid: Estudo de caso de um sistema fotovoltaico residencial na cidade de Manaus**. . [S.l: s.n.], 2022.

KALOGIROU, S. A. Solar thermal collectors and applications. **Progress in energy and combustion science**, v. 30, n. 3, p. 231–295, 2004.

LABREN. **LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia**. Disponível em: <<http://labren.ccst.inpe.br/>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

MAGARREIRO, C.; FREITAS, S.; CENTENO BRITO, M. Para os físicos e amigos da física: Radiação e energia solar. 2016. Disponível em: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>>. Acesso em: 4 ago. 2022.

MALVINO, A. P.; BATES, D. J. **Eletrônica-Vol. 2: 8ª Edição**. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2016.

NASA. **Overview | Sun – NASA Solar System Exploration**. Disponível em: <<https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/overview/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

NASA. **Photojournal**. Disponível em: <<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA18143>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

O crescimento da energia solar no Brasil. Disponível em: <<https://www.estruturaenergiasolar.com.br/o-crescimento-da-energia-solar-no-brasil>>. Acesso em: 3 ago. 2022.

ÓRIGO. A história da energia solar no Brasil. Disponível em: <<https://www.origoenergia.com.br/blog/energia/a-historia-da-energia-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 3 ago. 2022.

PIMENTEL, J. P. **Análise do Marco Legal da Geração Distribuída**. . [S.l: s.n.], 2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CRESESB. [S.l: s.n.], 2014

PLANALTO. **LEI Nº 14.300/2022**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm>. Acesso em: 26 jun. 2023.

SÁLES, I. C. F. de. **Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia**. . [S.l: s.n.], 2008.

SOLETROL. **O Que é e Como Funciona o Aquecedor Solar de Água Soletrol**. Disponível em: <<https://www.soletrol.com.br/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

UFRGS. **O Sol**. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm#intro>>. Acesso em: 20 jun. 2023.