



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANTONIO HENRIQUE DA SILVA JÚNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TELHAS SOLARES E PAINÉIS
FOTOVOLTÁICOS: ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS EM SISTEMAS DE
ENERGIA SOLAR**

PAU DOS FERROS – RN

2024

ANTONIO HENRIQUE DA SILVA JÚNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TELHAS SOLARES E PAINÉIS
FOTOVOLTAÍCOS: ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS EM SISTEMAS DE
ENERGIA SOLAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Feros – CMPF, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Adelson Menezes Lima

PAU DOS FERROS - RN

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586a Silva Júnior, Antonio Henrique da.
Análise comparativa entre telhas solares e
painéis fotovoltaicos: aspectos técnicos e
econômicos em sistemas de energia solar / Antonio
Henrique da Silva Júnior. - 2024.
49 f. : il.

Orientador: Adelson Menezes Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. Telhas fotovoltaicas. 2. Eficiência
energética. 3. Energia solar. 4. módulos solares.
I. Lima, Adelson Menezes , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANTONIO HENRIQUE DA SILVA JÚNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TELHAS SOLARES E PAINÉIS
FOTOVOLTÁICOS: ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS EM SISTEMAS DE
ENERGIA SOLAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Ferreiros – CMPF, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel Interdisciplinar em
Engenharia Civil.

DEFENDIDO EM: 25/ 10/ 2024.

BANCA EXAMINADORA

Adelson Menezes Lima, Prof. Dr (UFERSA)

Presidente

Henrique Maciel Queiroz, Eng. (EXTERNO)

Examinador

Samara de Cavalcante Paiva, Eng. (EXTERNO)

Examinador

RESUMO

Este trabalho apresenta um levantamento sobre os diferentes tipos de telhas fotovoltaicas disponíveis no mercado brasileiro, destacando suas características, eficiência energética e comparação com módulos solares tradicionais. Apesar do aumento do uso de energia solar no Brasil, as telhas fotovoltaicas ainda são pouco disseminadas, reforçando a necessidade de estudos mais aprofundados. Durante a pesquisa, foram identificadas dificuldades na obtenção de dados precisos sobre custo, manutenção e outras especificações dos produtos, o que limitou a escolha a um modelo específico para análise comparativa. Os resultados mostraram que, embora as placas solares tradicionais apresentem maior eficiência energética e menor custo, as telhas fotovoltaicas possuem vantagens relacionadas à estética, ergonomia e substituição das telhas de cerâmica. Assim, ambas as tecnologias são importantes na transição para uma matriz energética mais sustentável, com as placas tradicionais sendo, até o momento, a opção mais eficiente para a geração de energia solar.

Palavras-chave: telha fotovoltaica; eficiência energética; energia solar; módulos solares.

ABSTRACT

This study presents a survey of different photovoltaic roof tiles available in the Brazilian market, focusing on their characteristics, energy efficiency, and comparison with traditional solar modules. Despite the growing adoption of solar energy in Brazil, photovoltaic roof tiles are still not widely used, highlighting the need for further research. During the study, difficulties in obtaining precise data on cost, maintenance, and other product specifications were encountered, leading to the selection of a specific model for the final comparative analysis. The results indicated that, although traditional solar panels offer higher energy efficiency and lower costs, photovoltaic roof tiles have advantages in terms of aesthetics, ergonomics, and replacing ceramic tiles. Both technologies play a crucial role in the transition to a more sustainable energy matrix, with traditional panels currently remaining the most efficient option for solar energy production.

Keywords: photovoltaic tile; energy efficiency; solar energy; solar modules.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Atlas Brasileiro de Energia Solar.....	15
Figura 2 - Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	16
Figura 3 - Inversor Solar.....	18
Figura 4 - Geração Junto à Garga.....	19
Figura 5 - Autoconsumo Remoto.	19
Figura 6 - Modelos de telhas fabricadas pela Tesla.....	20
Figura 7 - Modelos catálogo comercial	21
Figura 8 - Ecosolaroof W230	23
Figura 9 - Estrutura da telha HW MQSB V230	24
Figura 10 - Modelo HW-MQSB V230.....	24
Figura 11 - Telha de Grafeno	25
Figura 12 - Eternit Solar Ondulada FF144	26
Figura 13 - Fluxograma das atividades desenvolvidas	29
Figura 14 - Captura de Satélite da Residência situada em Mauriti – CE	30
Figura 15 - Modelo escolhido para o comparativo.....	32
Figura 16 - Software 3.0	34
Figura 17 - Irradiação solar diária/media	34
Figura 18 - Modelos de inversores disponíveis no mercado brasileiro	35
Figura 19 - Inversor grid Growatt	39
Figura 20 - PAYBACK referente a placa solar	41
Figura 21 - PAYBACK referente ao telhado da L8 Energy.....	41
Figura 22 - PAYBACK referente ao telhado da Tégula.....	42
Figura 23 - PAYBACK referente ao telhado da Ecotelhasolar	42
Figura 24 - Gráfico de PAYBLACK dos módulos	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia nos últimos 12 meses	31
Tabela 2 - Informações gerais sobre os modelos abordados	33
Tabela 3 - Consumo real.....	37
Tabela 4 - Resultado obtido dos módulos escolhidos	38
Tabela 5 - Custo de investimento	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivo específico	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Potencial energético solar do brasil	14
3.2	Painel solares fotovoltaico	15
3.3	Sistema <i>on-grid</i>	16
3.4	Inversores	17
3.5	Geração distribuidora	18
3.6	Telha solares	20
3.6.1	Telhas Solares	21
3.6.2	Modelos da Tégula Solar	21
3.6.3	Ecosolarroof W230	22
3.6.4	Telha L8 Energy	23
3.6.5	Modelo HW MQSB V230	24
3.6.6	Telha Grafeno	25
3.6.7	Telha Eternit Solar	26
3.7	Telhas solares x painéis fotovoltaicos	26
3.7.1	Instalação dos Painéis Fotovoltaicos	26
3.7.2	Instalação das Telhas Solares:	27
3.7.3	Custo-Benefício	27
4	METODOLOGIA	29
4.1	Localização da residência	30
4.2	Consumo de energia	30
4.3	Modelos utilizado para o comparativo	31
4.4	Dimensionamento do sistema	33
4.5	IRRADIAÇÃO NA UNIDADE CONSUMIDA	34
4.6	Dimensionamento do inversor	35
5	RESULTADOS	37
5.1	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	37
5.1.1	Painéis Fotovoltaicos	38
5.1.2	Telhas Solares	38
5.2	Dimensionamento do inversor	39
5.3	Levantamento de custo e <i>payback</i>	40

5.4	Generalidade	43
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIA	47

1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de energia elétrica, impulsionada pelo aumento populacional e pelo avanço tecnológico, tem exercido uma pressão significativa sobre o sistema elétrico global. Essa situação tem estimulado a exploração de fontes alternativas e sustentáveis de energia, sendo a energia solar uma das mais promissoras. A geração de eletricidade por meio de módulos fotovoltaicos tem se destacado nesse contexto, devido à sua eficiência e ao seu papel na redução das emissões de gases de efeito estufa (AL-SHAHRI et al., 2021). Assim, foi conduzido um estudo bibliográfico que analisa diversas publicações no setor, com o objetivo de realizar uma comparação técnica entre diferentes tecnologias existentes, como telhados fotovoltaicos e placas solares tradicionais, visando expandir o conhecimento sobre o tema.

No trabalho de Pereira et al. (2023), foi realizada uma análise comparativa entre sistemas de geração de energia com painéis fotovoltaicos tradicionais e a nova tecnologia de telhas fotovoltaicas. Utilizando uma casa modelo em Embu-Guaçu, o estudo levou em consideração fatores de custo-benefício, eficiência e durabilidade ao longo de 30 anos. A conclusão indica que, embora os painéis solares tenham uma instalação inicial mais barata e apresentem maior eficiência, as telhas fotovoltaicas mostraram-se competitivas, oferecendo vantagens estéticas e funcionais, com uma diferença de custo.

Já em Khider e Genaro (2021), foi realizada uma comparação entre sistemas de geração de energia utilizando telhas fotovoltaicas e placas solares em uma residência unifamiliar de médio padrão. O estudo envolveu a análise do consumo energético, o impacto estrutural no telhado e o custo de implantação de cada sistema. Os resultados indicaram que o sistema de telhas fotovoltaicas apresentou uma vantagem econômica em comparação com o de placas solares, tornando-se uma opção viável tanto financeiramente quanto estruturalmente.

De acordo com o trabalho de Silva e Queiroz Junior (2022), foi realizada uma comparação técnica e econômica entre telhas solares e painéis fotovoltaicos. O estudo analisou as duas tecnologias em termos de eficiência energética e custos de instalação, utilizando como base preços disponíveis no mercado brasileiro. Os resultados indicaram que, apesar das telhas solares apresentarem vantagens estéticas e facilidade de integração ao telhado, os painéis fotovoltaicos se destacaram por sua maior eficiência e viabilidade econômica, oferecendo um retorno de investimento mais rápido.

Com base nos trabalhos pesquisados, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre os telhados fotovoltaicos disponíveis no mercado brasileiro, avaliando também suas eficiências.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma análise comparativa entre as telhas solares e os painéis fotovoltaicos

2.2 Objetivo específico

- Análise comparativa entre telhas fotovoltaicas disponíveis no Brasil;
- Eficiência energética das telhas fotovoltaicas em relação às placas fotovoltaicas;
- Análise de investimento e seu retorno;
- Vantagens e desvantagens das telhas fotovoltaicas;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As telhas fotovoltaicas e os painéis fotovoltaicos compartilham a mesma função essencial: a captação de raios solares para a conversão em energia elétrica. Ambas utilizam o efeito fotovoltaico, que ocorre quando as partículas de raios ultravioletas do sol colidem com os átomos presentes no painel, gerando a movimentação dos elétrons presentes nas placas e criando a corrente elétrica através da agitação das partículas (EPE, 2022).

As telhas fotovoltaicas são integradas diretamente na estrutura do telhado e podem oferecer uma solução mais estética, além de economizar espaço, já que substituem as telhas convencionais. De acordo com um catálogo de telhas fotovoltaicas (Tégula Solar, 2023), as telhas são instaladas com ligações em série e, posteriormente, colocadas em paralelo, formando um circuito misto. Esse sistema pode incluir um Dispositivo de Proteção de Surtos (DPS), que identifica pontos de tensões transitórias na rede, aumentando a segurança do sistema (EPE, 2022).

Por outro lado, os painéis fotovoltaicos tradicionais são montados sobre estruturas existentes, o que pode requerer espaço adicional no telhado. A instalação dos painéis fotovoltaicos depende fortemente do posicionamento da casa, considerando o nascer e o pôr do sol para maximizar a captação de energia. O ângulo de inclinação das placas também é crucial, pois varia conforme a estação do ano: ângulos menores produzem mais energia no verão, enquanto ângulos maiores são mais eficientes no inverno. Um ângulo fixo deve ser calculado para otimizar a produção de energia ao longo do ano (EPE, 2022).

O contexto histórico da energia no Brasil mostra uma evolução significativa em resposta a crises energéticas passadas, como os choques do petróleo na década de 1970 e o racionamento de energia elétrica de 2001. Essas crises impulsionaram o país a buscar autossuficiência energética (AL-SHAHRI et al., 2021). Hoje, o Programa Nacional de Energia 2050 visa transformar o Brasil em um grande produtor de energia renovável, enfrentando desafios tecnológicos, socioambientais e regulatórios (AL-SHAHRI et al., 2021).

3.1 Potencial energético solar do Brasil

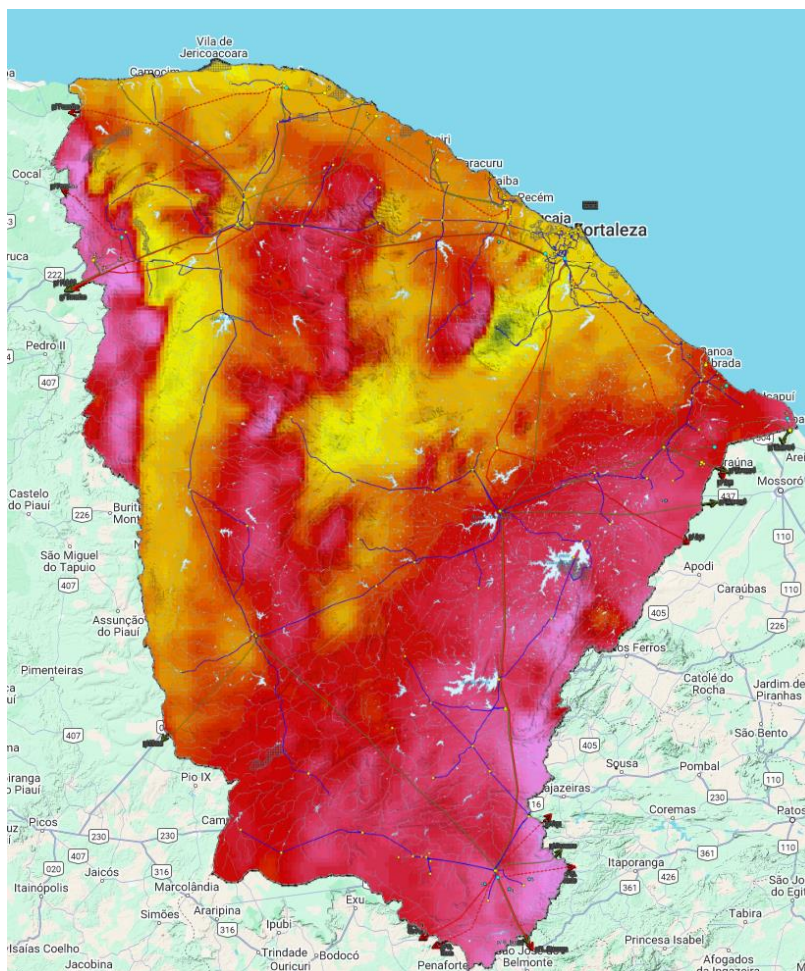
O Brasil se destaca no cenário global por contar com uma matriz energética majoritariamente renovável, consolidando sua posição de liderança no uso de fontes limpas e sustentáveis. A energia limpa é obtida a partir de recursos renováveis que não liberam poluentes na atmosfera, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais. No país, as principais fontes de energia limpa são a hidrelétrica, responsável por grande parte da geração, além da eólica e do solar, que têm registrado crescimento significativo nos últimos anos, ampliando a diversificação da matriz energética brasileira. (CEMIG, 2024).

O potencial do Brasil para a energia solar fotovoltaica é enorme. Apenas os telhados das casas brasileiras poderiam gerar cerca de 164 GW de energia, o que supera a matriz elétrica atual instalada no país, que é de 160 GW (Castro, 2012). Nos últimos seis anos, consumidores residenciais, empresariais e produtores rurais começaram a adotar sistemas de mini e microgeração solar fotovoltaica. Estes sistemas permitem uma redução significativa nos gastos com energia e garantem autonomia energética com retorno de investimento entre cinco e sete anos. Após este período, o consumo tem custo praticamente zero durante 18 a 25 anos, dados da EPE.

A tecnologia solar fotovoltaica tornou-se ainda mais segura para investir após a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) aprovar a Resolução Normativa 687 em 2015, que atualizou a Resolução Normativa 482 de 2012. Posteriormente, o Marco Legal da Geração Distribuída foi sancionado pela Lei nº 14.300 em 2022, regulamentando tarifas e ampliando os incentivos à geração distribuída. Essas atualizações têm incentivado a adesão à geração de energia solar, tornando o investimento ainda mais atrativo e seguro (ANEEL, 2015; Brasil, 2022).

O *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, publicado em agosto de 2024 pelo Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), representa um recurso valioso para a pesquisa e o empreendedorismo no setor de energia solar no Brasil. Utilizando 17 anos de dados satelitais validados por mais de 500 estações de medição em superfície, o Atlas oferece estimativas detalhadas de irradiação solar para todo o território nacional, consolidando-se como referência confiável sobre o potencial solar brasileiro (INPE, 2024), como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Atlas Brasileiro de Energia Solar



Fonte: Adaptado da plataforma Atlas (2024)

3.2 Paineis solares fotovoltaicos

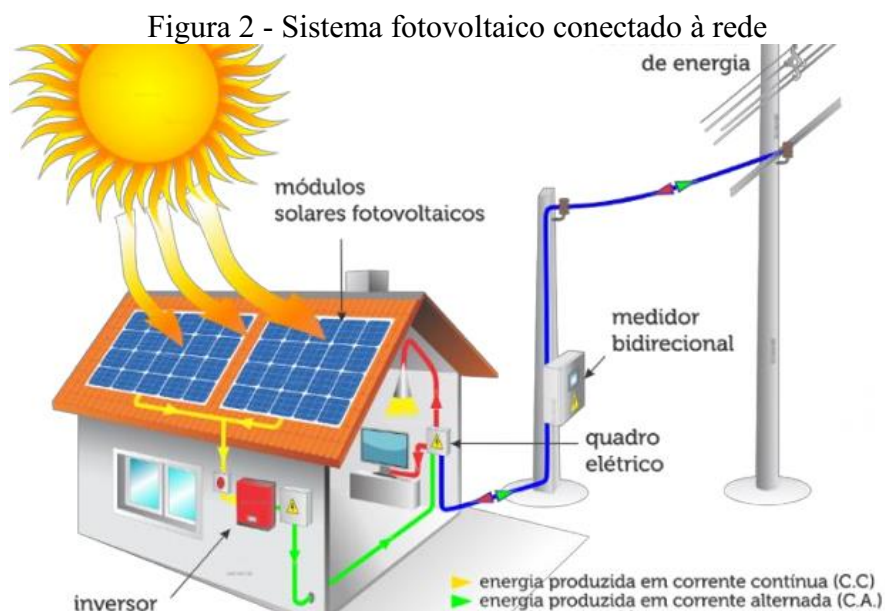
Os painéis solares, representam elementos essenciais nos sistemas de energia solar. Compostos por células fotovoltaicas, esses painéis são estruturas que convertem a luz solar em eletricidade, utilizando materiais semicondutores. Atualmente, o silício é o material mais amplamente empregado na fabricação dessas células, podendo ser encontrado em diferentes formas, como monocristalino, policristalino ou amorfo. A escolha entre essas formas depende das características de tensão e corrente necessárias para o projeto do painel. No mercado, há uma diversidade de marcas e modelos disponíveis, incluindo nomes proeminentes como DAH, Canadian, Jinko, BYD e Intelbras. Essa variedade proporciona opções aos consumidores, permitindo a seleção do painel mais adequado às necessidades específicas de cada projeto de energia solar.

3.3 Sistema *on-grid*

O sistema fotovoltaico conectado à rede, também chamado de sistema *on-grid*, opera em conjunto com a rede elétrica da concessionária, possibilitando que o excesso de energia gerada seja transferido para a rede de distribuição. Esse excedente é convertido em créditos energéticos, que podem ser utilizados para reduzir o valor das faturas futuras, gerando economia para o consumidor e incentivando o uso sustentável de energia (ANEEL, 2022).

Uma das principais vantagens desse sistema é a ausência de necessidade de baterias para armazenamento, o que diminui significativamente os custos de implementação e manutenção. A energia gerada durante o dia é consumida diretamente, e a energia adicional é injetada na rede. À noite ou em períodos nublados, quando a produção é insuficiente, a unidade consumidora utiliza a energia da rede, equilibrando a demanda sem a necessidade de sistemas complexos de armazenamento.

Esse sistema é particularmente vantajoso em áreas com cobertura estável de rede elétrica e é uma escolha popular entre residências e empresas que buscam reduzir a dependência das concessionárias de energia sem incorrer nos custos adicionais associados aos sistemas com baterias (ANEEL, 2022). Essa flexibilidade e custo-benefício tornam o sistema *on-grid* uma das opções mais adotadas no mercado de geração distribuída, assim como demonstrado na Figura 2.



Fonte: José Pimentel (2021)

Sistema *on-grid* é composto por quatro componentes principais:

- Gerador solar: Constituído por painéis fotovoltaicos que geram energia por meio do efeito fotovoltaico. Os painéis podem ser conectados em série ou em paralelo, dependendo do projeto.
- Inversor: Responsável por converter a corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada com a frequência adequada para a rede de distribuição.
- Medidor Bidirecional: Capaz de medir o fluxo de energia em ambas as direções, permitindo a medição do consumo do cliente e da energia injetada na rede de distribuição.
- Proteção CC e CA: Dispositivo que protege o sistema fotovoltaico tanto no lado de corrente contínua quanto no lado de corrente alternada, geralmente composto por fusíveis, disjuntores, chaves e DPS.

3.4 Inversores

O inversor é um dos principais componentes de um sistema de geração de energia solar, pois é o dispositivo elétrico capaz de converter um sinal elétrico em corrente contínua (CAVALCANTE et al., 2022) em um sinal elétrico em corrente alternada (CAVALCANTE et al., 2022). Esta conversão é crucial, uma vez que a maioria dos aparelhos elétricos e a própria rede elétrica utilizam corrente alternada para funcionar.

Uma das principais características dos inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede é a capacidade de se interligar à rede da concessionária, sincronizando sua frequência em 60Hz, que é a utilizada no Brasil. Isso garante que a energia gerada pelos painéis solares possa ser integrada de maneira eficiente e segura ao sistema elétrico existente. Além disso, os inversores possuem a característica de se desconectar da rede quando ela deixa de fornecer energia, seja devido a desligamentos para reparos ou falhas na rede. Esta função é essencial para a segurança tanto do sistema quanto dos trabalhadores que possam estar realizando manutenção na rede, (Silva, 2022).

No mercado brasileiro, existe uma ampla variedade de marcas e modelos de inversores disponíveis comercialmente, como WEG, Fronius, Growatt, ABB, Solis, entre outros. Esta diversidade permite que consumidores e empresas escolham a opção que melhor se adapta às suas necessidades específicas de geração de energia solar demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Inversor Solar



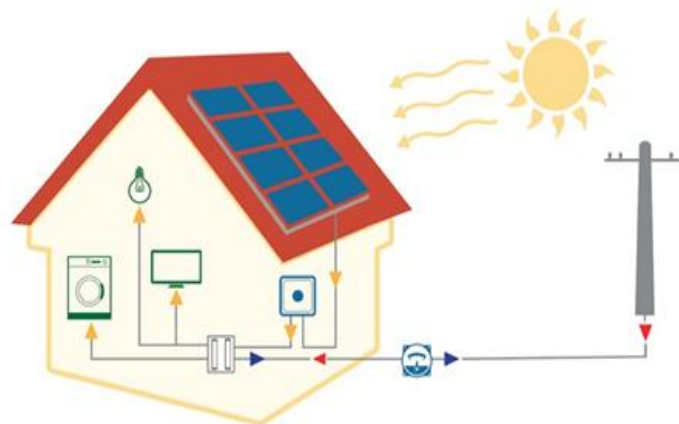
Fonte: Mecatron Solar (2024)

3.5 Geração distribuída

A Geração Distribuída (GD) tem se consolidado como uma solução sustentável e eficaz para a produção de energia elétrica no próprio local de consumo, trazendo benefícios tanto para consumidores quanto para o sistema elétrico nacional. Desde a Resolução Normativa 482/2012, aprimorada pela Resolução 687/2015, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamentou a GD no Brasil, permitindo que a energia elétrica gerada possa ser compensada em créditos e utilizada pela unidade geradora ou por unidades consumidoras associadas, com validade de até cinco anos. Essa medida proporciona flexibilidade ao consumidor e incentiva a adesão a sistemas de geração próprios (ANEEL, 2015).

A modalidade mais comum de GD é a geração junto à carga, onde a geração de energia ocorre no mesmo local do consumo. Nesse caso, a unidade consumidora (UC) e o sistema de geração compartilham o mesmo ponto de conexão, e os créditos de energia gerados são direcionados exclusivamente à unidade consumidora cadastrada no projeto. Isso inclui sistemas fotovoltaicos instalados em residências, edifícios comerciais e pequenas indústrias, que utilizam painéis solares ou telhas solares para suprir as demandas de consumo local. A Figura 4 ilustra essa modalidade, (Fernandes e Oliveira, 2023).

Figura 4 - Geração Junto à Garga

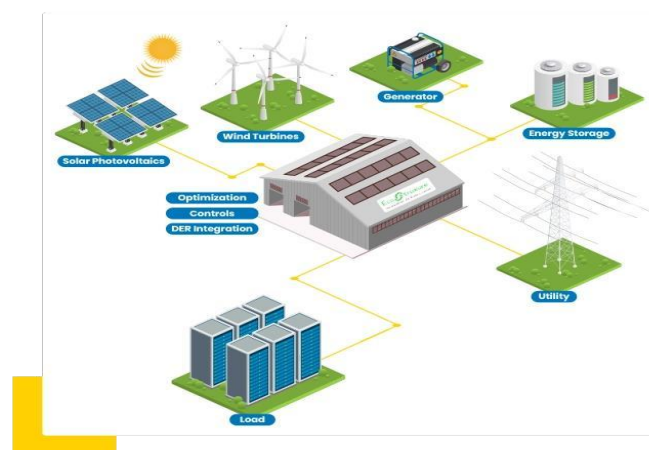


Fonte: Absolar (2022)

O autoconsumo remoto é uma modalidade que permite aos consumidores com mais de uma unidade consumidora em seu nome a adoção de um sistema de GD, sem a necessidade de instalar o sistema de geração no mesmo local de consumo. Nesse arranjo, o sistema de geração pode ser instalado em um terreno diferente, desde que o ponto de conexão pertença ao mesmo titular e esteja dentro da mesma área de concessão, (Fernandes e Oliveira, 2023).

Um consumidor que possui múltiplos comércios pode optar por instalar uma Central Geradora Hidrelétrica (CGH), Pequena Central Hidrelétrica (PCH) ou uma Usina Fotovoltaica (UFV) para gerar energia. Assim, o local da instalação do sistema de geração não será o mesmo do consumo. No local da instalação, será cadastrada uma unidade consumidora (UC) com o mesmo CPF ou CNPJ do consumidor. Um exemplo de aplicação deste tipo de consumidor pode ser visto na Figura 5, (Silva, 2022).

Figura 5 - Autoconsumo Remoto.

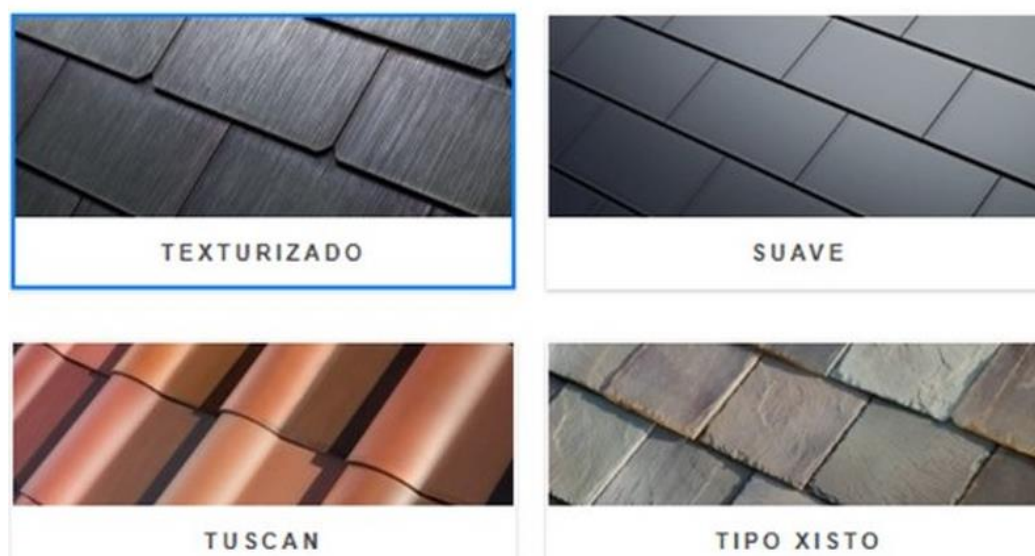


Fonte: Microgrids (2023)

3.6 Telha solares

A primeira telha solar criada no mundo foi apresentada em 2016 pelo Elon Musk, fundador da empresa Tesla. As telhas só começaram a serem fabricadas para comercialização pela Tesla em sua fábrica de Buffalo, em Nova York, após alguns anos e durante este tempo, foram realizados diversos testes, conforme pode ser visto na Figura 6 (TECMUNDO, 2018).

Figura 6 - Modelos de telhas fabricadas pela Tesla



Fonte: Tecmundo (2021)

A introdução das telhas solares representa um avanço significativo no setor de energias renováveis, oferecendo uma alternativa estética e funcional aos painéis solares convencionais. Desenvolvidas pela Tesla, essas telhas combinam alta eficiência energética com um design discreto e sofisticado, integrando-se perfeitamente às construções e atendendo à demanda crescente por soluções sustentáveis e visualmente agradáveis (Tesla, 2023).

Fabricadas em vidro temperado de alta resistência, as telhas solares da Tesla têm uma vida útil estimada em mais de 30 anos, tornando-se uma opção durável e confiável para a geração de energia solar tanto em residências quanto em empresas. Sua instalação também pode valorizar significativamente os imóveis, pois, além do apelo estético, elas atendem à preferência crescente do mercado por tecnologias verdes que contribuem para a redução da pegada de carbono. Além disso, essas telhas solares têm a capacidade de otimizar o consumo de energia local e, quando combinadas com sistemas de armazenamento, como o Tesla Powerwall, permitem o uso de energia solar mesmo em períodos sem luz solar, como à noite ou em dias

nublados. Isso representa um avanço na autonomia energética e na sustentabilidade, ao mesmo tempo em que atende à expectativa de consumidores cada vez mais comprometidos com o meio ambiente (Tesla, 2023).

3.6.1 Telhas Solares

As telhas solares vêm se destacando como uma solução inovadora e sustentável para geração de energia. O modelo BIG-F11 é uma das primeiras telhas solares de concreto fabricadas no Brasil com design semelhante às telhas convencionais. Essas telhas são feitas de concreto e incorporam células solares de silício monocristalino (TÉGULA SOLAR, 2020).

Existem dois tipos de acabamentos disponíveis para essas telhas. O acabamento clássico possui a textura tradicional do concreto e envelhece naturalmente. Já o acabamento resinado inclui uma fina camada de resina, que proporciona alta durabilidade, evita a formação de manchas e mantém o telhado limpo por mais tempo (TÉGULA SOLAR, 2020).

A inovação das telhas solares não está apenas em sua funcionalidade, mas também em sua capacidade de integrar a geração de energia de maneira estética e eficiente nas construções modernas. Combinando sustentabilidade e design, essas telhas oferecem uma alternativa viável e atraente para a geração de energia limpa e renovável, contribuindo para a redução da pegada de carbono e promovendo um futuro mais sustentável (TÉGULA SOLAR, 2020).

3.6.2 Modelos da Tégula Solar

A Tégula Solar apresentou a primeira telha fotovoltaica de concreto brasileira, capaz de transformar a radiação solar em energia elétrica. Essas telhas inovadoras integram-se perfeitamente com os telhados compostos pelas telhas tradicionais de concreto da Tégula, juntamente com seus acessórios e complementos, na figura 7.

Figura 7 - Modelos catálogo comercial





Fonte: Tégula solar (2024)

Na versão mais recente, os conectores e cabos estão integrados diretamente nas telhas, facilitando ainda mais o processo de instalação e aumentando a segurança. Cada telha conta com fotovoltaicas de silício monocristalino, garantindo não apenas eficiência na geração de energia, mas também uma estética harmoniosa para o telhado. Versáteis, as telhas fotovoltaicas podem ser aplicadas tanto em projetos novos quanto em ampliações e reformas, adaptando-se a telhados já existentes que utilizam os modelos da Tégula.

Além de oferecer flexibilidade, praticidade e durabilidade, as telhas mantêm uma perfeita integração visual com o telhado. O sistema *On-Grid* da Tégula Solar, composto por telhas fotovoltaicas e um Inversor *Grid Tie*, conecta-se à rede elétrica para converter a energia solar em eletricidade e gerar créditos, permitindo uma economia de até 95% na conta de energia.

3.6.3 Ecosolarroof W230

As telhas fotovoltaicas representam uma inovação significativa na área de energias renováveis, combinando a funcionalidade de um painel solar com a aparência estética de uma telha tradicional. Um exemplo notável dessa tecnologia é a Ecosolarroof W230, desenvolvida no Brasil. De acordo com Silva (2015), essas telhas são feitas de fibra de vidro incorporada com células solares de silício monocristalino. Esse material não apenas permite a geração de energia elétrica a partir da luz solar, mas também oferece benefícios térmicos, evitando que os ambientes onde são instaladas fiquem abafados.

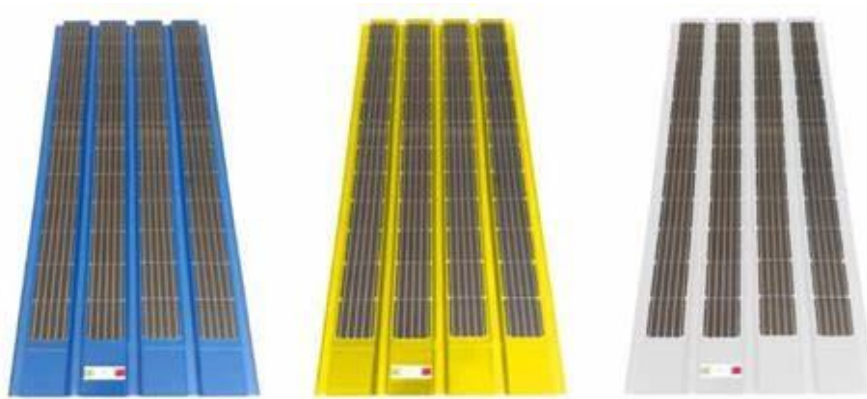
Durante o desenvolvimento das telhas solares Ecosolarroof W230, a equipe responsável inicialmente buscou na China estratégias para aumentar a produtividade e reduzir custos de produção. Contudo, a pandemia de COVID-19 em 2020 tornou essa abordagem inviável,

levando à decisão de estabelecer uma fábrica no Brasil para a produção das telhas. Essa mudança possibilitou maior autonomia e reduziu a dependência de importações, fortalecendo a cadeia produtiva local (Silva, 2020).

Um dos principais diferenciais das telhas Ecosolaroof W230 é sua alta durabilidade. Equipadas com um protetor contra raios ultravioleta (UV), as telhas mantêm sua produtividade ao longo do tempo, pois o protetor permite a passagem da luz solar necessária para a geração de energia, mas bloqueia os raios UV prejudiciais, que podem desgastar os materiais. Esse recurso também contribui para o conforto térmico, mantendo o ambiente mais fresco ao evitar o aquecimento excessivo causado pela exposição solar direta.

Essa inovação reforça o compromisso com a sustentabilidade e oferece uma alternativa que une eficiência energética e durabilidade, atendendo tanto ao mercado residencial quanto ao comercial, conforme ilustrado na figura 8. Esse diferencial, somado à produção nacional, torna as telhas solares Ecosolaroof W230 uma escolha atrativa para consumidores que buscam reduzir custos e minimizar impactos ambientais (Silva, 2020). Conforme na Figura 8.

Figura 8 - Ecosolaroof W230



Fonte: Portal Marcos Santos (2019)

3.6.4 Telha L8 Energy

Um dos modelos notáveis no mercado é o HW-MQSB-V230, que, apesar de ser importado, é amplamente comercializado no país. Este modelo é composto por várias camadas que conferem durabilidade e eficiência, (ecotelhasolar, 2024)

A composição das telhas solares HW-MQSB-V230 inclui duas camadas de vidros temperados, que oferecem proteção mecânica. Além disso, a camada final é revestida com uma película de isolamento térmica, o que contribui para a eficiência energética do produto. Entre as camadas de vidro, há duas camadas de filme EVA, que atuam como proteção antiabrasiva. Por fim, uma camada de filme fino de alta eficiência é adicionada, aumentando a resistência interna

da telha. Isso significa que, mesmo em caso de rompimento, a estrutura da telha não é completamente comprometida (Vendramel, 2020), de acordo com a Figura 9.

Figura 9 - Estrutura da telha HW MQSB V230

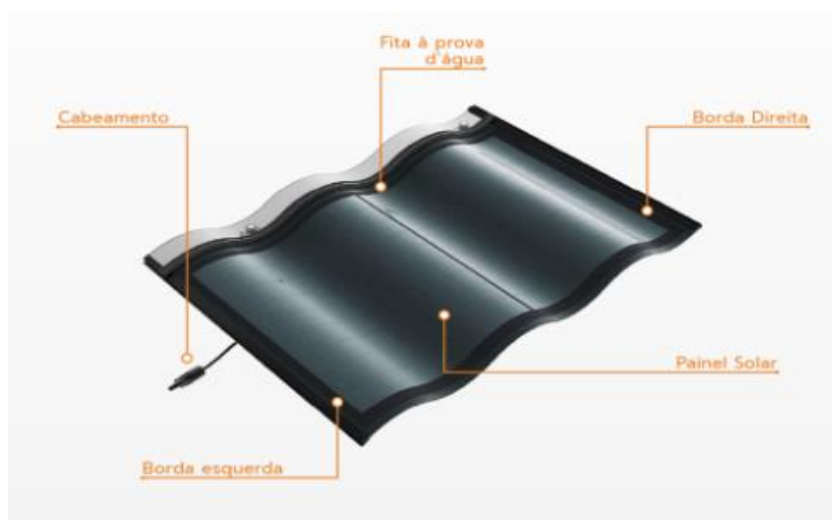


Fonte: VENDRAMEL (2020)

3.6.5 Modelo HW MQSB V230

As placas acopladas nas telhas normalmente são de silício monocristalino, o que lhes confere uma alta eficiência na conversão de energia solar em eletricidade. Além disso, no modelo HW-MQSB-V230 da Figura 10, é implantado o filme fino com tecnologia GICS, que possibilita que a célula fotovoltaica seja mais flexível, além de possuir um comportamento melhor em baixas irradiâncias. (L8 Energy, 2023)

Figura 10 - Modelo HW-MQSB V230.



Fonte: L8 ENERGY (2024)

As telhas solares com tecnologia GICS são particularmente vantajosas em regiões com variações significativas de luz solar, garantindo um desempenho mais consistente ao longo do dia e em diferentes condições climáticas.

3.6.6 Telha Grafeno

As telhas solares fabricadas no Brasil, utilizando plásticos reciclados e grafeno, representam uma inovação promissora no mercado de energia sustentável. Este projeto inovador está atualmente na fase de certificação do Inmetro e será submetido a testes em diferentes condições climáticas para viabilizar sua comercialização (PORTAL SOLAR, 2021).

A composição dessas telhas é baseada em polietileno de alta densidade, um material conhecido por suas propriedades impermeáveis, atóxicas, resistentes a altas temperaturas e ecológicas (PORTAL SOLAR, 2021). Além disso, o grafeno, um material extremamente fino e resistente, é utilizado. Este material é composto por uma camada bidimensional de átomos de carbono organizados em estruturas hexagonais, com a espessura de um único átomo. O grafeno é extraído de camadas superficiais de grafite, um mineral maleável e abundante na Terra (TECMUNDO, 2021). Uma das grandes vantagens das telhas de grafeno é a sua capacidade de absorver energia solar mesmo em dias nublados e chuvosos, sem comprometer sua eficiência fotovoltaica (PORTAL SOLAR, 2021). Este tipo de inovação pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 - Telha de Grafeno



Fonte Telite (2022)

3.6.7 Telha Eternit Solar

A telha Eternit Solar Ondulada-FF144 2, combina fibrocimento e módulos fotovoltaicos, gerando energia elétrica a partir da luz solar. Possui dimensões compatíveis com o padrão fibrocimento ondulado (2,44 m x 1,10 m) e utiliza a mesma estrutura de suporte. Além disso, pode ser instalada junto a telhas convencionais de igual ondulação, garantindo integração eficiente e estética uniforme, assim como mostrado na Figura 12 (Eternit,2023).

Figura 12 - Eternit Solar Ondulada FF144



Fonte: Eternit Solar (2024)

3.7 Telhas solares x painéis fotovoltaicos

Além de catalogar os modelos de telhas fotovoltaicas disponíveis no mercado brasileiro, este estudo visa realizar um comparativo entre a eficiência energética dos módulos fotovoltaicos tradicionais e dos telhados solares integrados. A análise busca avaliar as características de cada tecnologia, como capacidade de geração, durabilidade e adaptação às condições climáticas, para identificar vantagens e limitações de cada uma (Freitas, 2022). Com base nessa comparação, é possível recomendar o melhor custo-benefício para instalações residenciais, considerando o retorno financeiro e os benefícios ambientais para o consumidor (Silva e Souza, 2023).

3.7.1 Instalação dos Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos podem ser instalados em qualquer local da residência, desde que seja realizado o cálculo da área e da quantidade de placas necessária para suprir o consumo de energia. É possível instalar os painéis diretamente nos telhados ou em outras áreas

apropriadas. Para um sistema *On-Grid*, onde a geração de energia é conectada diretamente à rede elétrica, os principais componentes são os módulos fotovoltaicos, o inversor fotovoltaico (ou vários micros inversores), e o *string box*, que atua na proteção dos módulos e funciona como uma chave liga/desliga para reparos. Adicionalmente, trilhos e outros componentes são usados para fixar os módulos sobre os telhados, ou para dar a altura adequada quando os painéis são instalados no solo. Finalmente, cabos e conectores são utilizados para realizar a ligação elétrica entre os equipamentos (BlueSol, 2019).

3.7.2 Instalação das Telhas Solares:

As telhas solares, por sua vez, oferecem uma integração mais estética ao *design* da residência, substituindo as telhas convencionais por telhas que geram energia elétrica. A instalação das telhas solares pode ser mais complexa, pois envolve a substituição das telhas existentes e a necessidade de um projeto específico para garantir a eficiência e a segurança do sistema. Assim como nos painéis solares, as telhas solares também requerem inversores para converter a corrente contínua em corrente alternada, e um sistema de proteção similar à *string box* para a segurança do sistema, (Carvalho e Souza, 2022).

3.7.3 Custo-Benefício

A avaliação do custo-benefício entre telhas solares e painéis fotovoltaicos envolve diversos fatores, como o custo inicial, a eficiência na geração de energia, a durabilidade e a estética. Em geral, os painéis solares apresentam um custo inicial mais baixo e são mais fáceis de instalar em estruturas já existentes, o que os torna uma escolha popular para projetos de retrofit (Mendes, 2021). Por outro lado, as telhas solares oferecem uma integração visual superior e podem agregar valor estético à residência, sendo uma opção vantajosa em novas construções ou grandes reformas, onde a harmonia arquitetônica é prioritária (Carvalho e Souza, 2022). Dessa forma, a escolha entre telhas solares e painéis fotovoltaicos depende tanto das preferências estéticas quanto do orçamento e do objetivo de cada projeto.

O princípio de funcionamento das telhas solares é basicamente igual ao dos painéis solares, uma vez que o *kit* de instalação é o mesmo. As células solares são acopladas diretamente nas telhas, e as conexões são feitas através de conectores macho e fêmea, que são ligados aos inversores para a conversão da corrente elétrica (PORTAL SOLAR; 2021). Algumas telhas solares são feitas de concreto, semelhante às telhas convencionais.

A principal diferença entre as telhas solares e os painéis solares está na estrutura de cobertura das residências. As telhas solares permitem que o próprio telhado gere energia,

enquanto os painéis solares precisam ser instalados sobre o telhado existente. Isso torna as telhas solares mais práticas e de fácil instalação. No entanto, optar por telhas solares requer a substituição de todo o telhado para uma instalação correta. Uma alternativa para reduzir custos, se disponível comercialmente, seria a telha de grafeno, que pode ser sobreposta ao telhado construído (PORTAL SOLAR; 2021).

Outro ponto crucial é a inclinação e os ângulos ideais para a captação da luz solar. Nos painéis fotovoltaicos, esses aspectos podem ser ajustados com o uso de suportes para as placas solares, enquanto nas telhas solares isso precisa ser considerado no projeto estrutural da construção (PORTAL SOLAR; 2021).

Em resumo, a diferença mais perceptível está no *design*. Os painéis solares são instalados sobre telhados ou lajes com o objetivo de gerar energia, enquanto as telhas solares, além de gerar energia, são usadas para cobrir o imóvel. No que diz respeito ao rendimento, as telhas solares apresentam um desempenho melhor, já que sua composição inclui vidro temperado, resultando em apenas 2% de perda da luz recebida. A instalação das telhas solares é mais rápida e fácil, podendo reduzir o tempo de instalação em até 60%. No entanto, exige modificação na estrutura da construção. Já os painéis solares possuem uma estrutura metálica que permite sua instalação em diversos locais, inclusive em sistemas flutuantes projetados para painéis fotovoltaicos (DICA SOLAR; 2020).

A grande diferença entre esses sistemas de geração fotovoltaica está no custo dos equipamentos. As telhas solares, por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, têm um custo muito elevado, podendo ultrapassar 500 reais por unidade. Em comparação, as tradicionais instalações fotovoltaicas com painéis solares são mais acessíveis ao consumidor (DICA SOLAR; 2020).

4 METODOLOGIA

Este capítulo tem como propósito apresentar a metodologia adotada na comparação entre módulos fotovoltaicos tradicionais e telhados fotovoltaicos. O processo de análise dos sistemas fotovoltaicos envolve diversas fases essenciais.

Entre essas etapas, destacam-se: a avaliação do potencial solar disponível, o cálculo da demanda energética a ser suprida, a seleção dos módulos, a definição da capacidade do inversor e a escolha do local e da orientação de instalação dos módulos, entre outras. No entanto, uma análise detalhada do recurso solar não é imprescindível, uma vez que já existem diversos bancos de dados disponíveis que podem ser aproveitados. Além disso, não se torna necessário um exame tão rigoroso do recurso solar, considerando que a energia também pode ser fornecida pela rede elétrica em casos de falhas no sistema fotovoltaico.

Um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) é constituído basicamente por três componentes principais: o painel fotovoltaico, o inversor de frequência e as conexões e suportes necessários. O fluxograma das etapas a serem desenvolvidas em um projeto que utiliza módulos fotovoltaicos é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma das atividades desenvolvidas



Fonte: Autoria própria

4.1 Localização da residência

Para o comparativo foi escolhido uma residência unifamiliar situada na cidade de Mauriti/CE. A residência em questão está localizada no bairro Dom Bosco. A Figura 14 mostra a localização casa.

Figura 14 - Captura de Satélite da Residência situada em Mauriti – CE



Fonte: Google Maps 2024

4.2 Consumo de energia

Após definido a localização de onde seria feito o estudo, foi realizado o consumo da residência a qual habitam 3 pessoas. Foi utilizado o consumo mensal fornecido pela Enel em kWh, desta forma, calculou-se a média encontrada referente ao mês de janeiro à dezembro de 2023, assim como na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo de energia nos últimos 12 meses

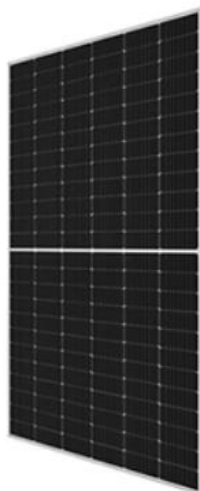
Consumo ao longo de 2023		
Mês	Consumo	Ano
Jan	284	2023
Fev	259	2023
Mar	265	2023
Abr	320	2023
Mai	286	2023
Jun	260	2023
Jul	301	2023
Ago	274	2023
Set	254	2023
Out	278	2023
Nov	245	2023
Dez	292	2023
MÉDIA	276,5	Ano

Fonte: Autoria própria (2024)

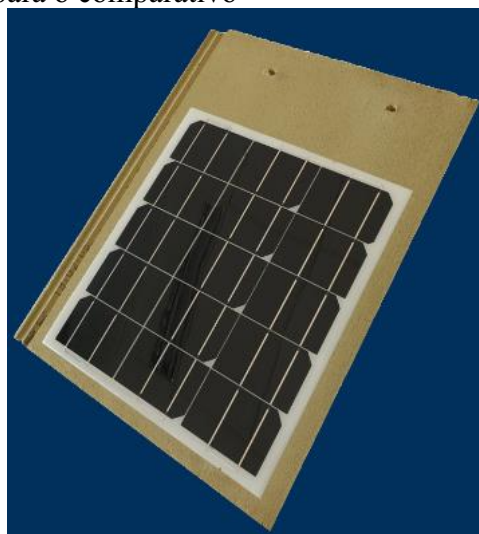
4.3 Modelos utilizado para o comparativo

Os critérios para a seleção dos modelos neste comparativo foram baseados na facilidade de encontrar os produtos no mercado brasileiro e no acesso a informações claras sobre eles, garantindo uma análise simples e objetiva. Serão avaliados um modelo tradicional de placa fotovoltaica e quatro modelos de telhas solares, listado na Figura 15. No entanto, foi encontrado dificuldade em encontrar alguns dados das telhas solares, devido às restrições de algumas empresas, que foi o caso do grupo Eternit, a mesma responsável pela fabricação e comercialização da Térgula.

Figura 15 - Modelo escolhido para o comparativo



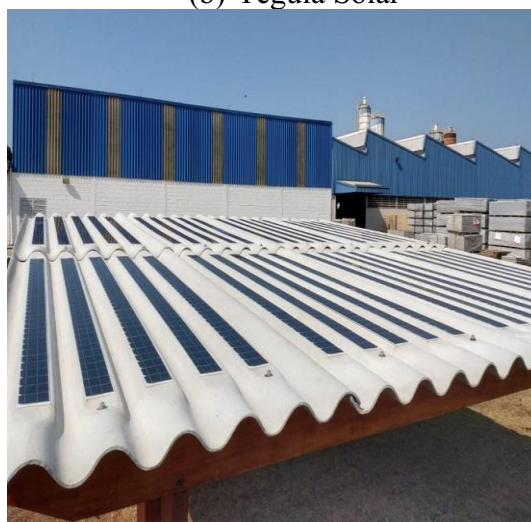
(a) Placa Solar Trina Solar



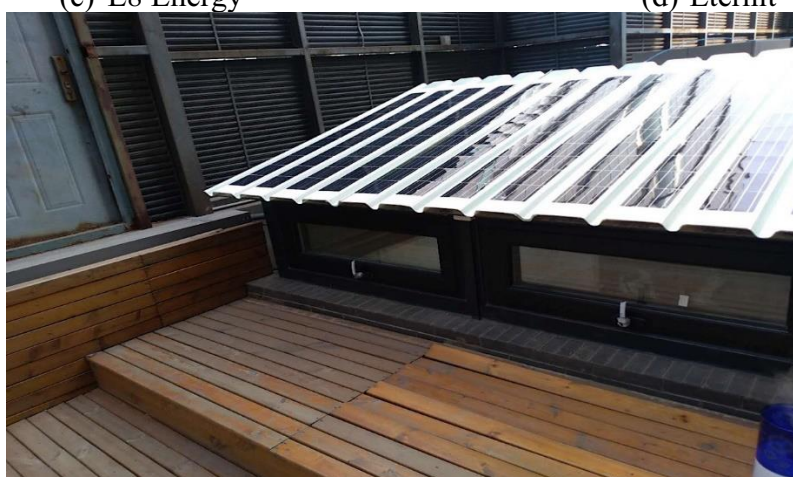
(b) Tégula Solar



(c) L8 Energy



(d) Eternit



(e) Ecotelhasolar

Além disso, na Tabela 2, será apresentado suas características, material, preço, eficiência energética.

Tabela 2 - Informações gerais sobre os modelos comparados

COMPARATIVO			
Modelo	Material	Preço	Cap. Produção W
Placa Solar Trina Solar	EVA/POE	750,00	510
Tégula Solar	Concreto	101,56	15
L8 Energy	Vidro	63,00	30
Eternit	Fibrocimento	*****	137,16
Ecotelhasolar	Plástico	600,00	200

Fonte: Autoria própria (2024)

Devido algumas restrições das empresas, elas não disponibilizam os preços por unidade dos seus produtos, mesmo fazendo simulações de um projeto completo, demonstraram dificuldade de clareza em suas informações.

4.4 Dimensionamento do sistema

A aplicação de equações matemáticas é essencial para comparar sistemas fotovoltaicos com diferentes tecnologias e potências nominais. Por meio de índices específicos, é possível avaliar se o sistema está operando de maneira eficiente ou se precisa ser ajustado para melhorar o desempenho (BENEDITO, 2009). O dimensionamento de um gerador fotovoltaico consiste em determinar a potência de pico que ele precisa fornecer. Para garantir uma definição otimizada dessa potência, é essencial calcular o consumo médio diário da residência com base nas faturas mensais disponibilizadas pela concessionária, conforme discutido anteriormente no tópico 4.2. Assim, a potência de pico do painel fotovoltaico (P_{fv}) é estabelecida por meio da equação, conforme o trabalho (PRECOMA, 2022).

$$P_{fv} = \frac{C}{T_{exp} * PR} \quad (1)$$

P_{fv} – representa a potência do modulo fotovoltaico, dado em hWp;

T_{exp} – irradiação do sistema estudado;

C – Energia gerada;

PR – Eficiência do sistema, considerando as perdas;

A taxa de desempenho, como o próprio nome indica, mede a eficiência do sistema fotovoltaico (SF). Ela é definida pela razão entre o desempenho real do sistema e seu desempenho máximo teórico. De acordo com o CRESESB (2014, p. 329), para sistemas bem ventilados e sem sombreamento, é possível alcançar uma taxa de desempenho (PR) entre 70%

e 80% nas condições de radiação solar brasileiras. No entanto, para fins de cálculo, será considerado um PR médio de 75% para todos os módulos.

A quantidade de módulos (N) necessária para compor o painel FV é definida pela equação (2), conforme o trabalho (PRECOMA, 2022).

$$N = \frac{P_{fv}}{p} \quad (2)$$

N - Número de módulos

P_{fv} – potência do pico (kWp)

P – Potência individual do módulo (w)

4.5 IRRADIAÇÃO NA UNIDADE CONSUMIDA

Para obter a irradiação na unidade consumida será utilizado o Software SunData 3.0, demonstrada na figura 16.

Figura 16 - Software 3.0

The screenshot shows the SunData 3.0 interface. It has input fields for Latitude and Longitude, a dropdown for direction (Sul, Oeste), and radio buttons for Norte (North) settings: 'graus decimais (00.00°)' and 'graus, minutos e segundos (00°00'00")'. There are also 'Buscar' and 'Limpar' buttons.

Fonte: Cresesb (2024)

Agora que foi aplicado a latitude e longitude, foi possível encontrar a irradiação solar no plano horizontal da Figura 17.

Figura 17 - Irradiação solar diária/media

Estação: Mauriti
Município: Mauriti , CE - BRASIL
Latitude: 7,401° S
Longitude: 38,749° O
Distância do ponto de ref. (7,384944° S; 38,772972° O):3,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
☒	Plano Horizontal	0° N	6,05	5,97	6,00	5,71	5,09	4,80	5,09	5,87	6,56	6,57	6,67	6,27	5,89
☒	Ângulo igual a latitude	7° N	5,80	5,82	6,00	5,87	5,35	5,11	5,40	6,10	6,64	6,45	6,40	5,97	5,91
☒	Maior média anual	6° N	5,84	5,85	6,00	5,85	5,32	5,07	5,36	6,07	6,63	6,47	6,44	6,02	5,91
☒	Maior mínimo mensal	15° N	5,44	5,59	5,91	5,97	5,58	5,40	5,68	6,29	6,63	6,24	6,02	5,55	5,86

Fonte: Cresesb (2024)

4.6 Dimensionamento do inversor

O dimensionamento do inversor está diretamente ligado à seleção dos módulos fotovoltaicos, isto é, às suas características elétricas. Assim como a potência pico do módulo escolhido, no trabalho de (Eudes, pag 33, 2012), e (Cresesb, 2024). É dito que existe duas formas de se dimensionar um inversor, seja ele se pela quantidade de *Módstring*, que é a quantidade de telhas fotovoltaicas que o inversor é capaz de suportar ou com base na potência pico encontrada na residência, diante disso, será adotado a segundo forma. Desta forma, o inversor dever atender a capacidade total das placas ou telhas dimensionada pela equação (1). Desta forma, podemos escolher alguns dos inversores disponíveis no mercado dá como apresentado Figura 18.

Figura 18 - Modelos de inversores disponíveis no mercado brasileiro





Fonte: Energia total (2024)

Na escolha do inversor também deve ser considerado uma taxa de segurança de 20%, para que seja atendida sem sobrecarregar o inversor. Além disso, o tipo de fornecimento que a distribuidora oferece para a residência, deve ser levado em consideração durante a escolha modelo, na residência, na residência escolhida o serviço é monofásico, com uma tarifa mínima correspondente de 30 kWh. Considerando o consumo médio mensal e a tarifa mínima, foi determinada a demanda energética mensal da residência em kWh/mês, além disso, o inverso escolhido será adotado para todos os modelos do comparativo.

5 RESULTADOS

Serão apresentados os dados coletados por meio da metodologia de análise, junto aos resultados obtidos e a interpretação dos índices discutidos anteriormente. A comparação entre painéis fotovoltaicos e telhas solares é destacada, evidenciando diferenças em eficiência, custo e aplicabilidade em diferentes cenários. Além disso, são analisados aspectos práticos, como facilidade de instalação e integração estética, oferecendo uma visão abrangente das vantagens e limitações de cada tecnologia, contribuindo para uma escolha mais embasada para futuros projetos energéticos.

5.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O próximo passo consiste na apresentação do dimensionamento detalhado do sistema fotovoltaico, onde serão expostas as quantidades necessárias de painéis solares e telhas, além de uma análise dos valores de investimento em cada tecnologia utilizada. O dimensionamento adequado é fundamental para garantir a eficiência do sistema, maximizando a captação de energia solar e evitando desperdícios. Um planejamento preciso evita sobrecargas estruturais no telhado e otimiza a distribuição das placas solares, garantindo que o sistema atinja o máximo potencial de geração de energia, com segurança e durabilidade.

A partir do consumo médio mensal, foi obtido o valor de 276,75 kWh para o ano de 2023, assim como foi mostrado no tópico 4.2. Considerando que a ligação da residência opera em 220V, aplica-se uma taxa mínima de consumo de 30 kWh, conforme estipulado pela Resolução Normativa 414 de 2010 da ANEEL. Assim, o consumo efetivo para os cálculos passa a ser de 246,75 kWh. Para realizar os cálculos com base no consumo diário, é necessário dividir esse valor pelo número de dias do mês, demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Consumo real

Consumo real	
Consumo médio	276,75 kW/mês
Taxa mínima	30 kWh
Consumo diário	8,25 kWh/dia

Fonte: Autoria própria (2024)

Agora que foi encontrado o consumo diário real da residência, iremos precisar encontrar potência pico do sistema fotovoltaico, para isso, será utilizado o consumo diário dado anteriormente pela Tabela 3, assim como a irradiação média no tópico 4.4. Além disso, foi considerado uma taxa de eficiência de 75%, conforme estabelecido no tópico 4.4 e de acordo com CRESESB (2014, p. 329). Desta forma, o Pfv foi:

$$P_{fv} = 1,86 \text{ kW}$$

5.1.1 Painéis Fotovoltaicos

Para o comparativo optou-se por utilizar módulos de 510 W no sistema, substituindo os valores na equação 2 do tópico 4.4 serão necessários 4 módulos fotovoltaicos, com uma potência de pico total de 1,86 kWp. Cada painel ocupa uma área aproximada de 2,40 m², totalizando cerca de 9,60 m² de espaço necessário para a instalação completa. Com o valor da potência de pico dos painéis já calculado, utilizando uma eficiência de 75% foi possível determinar a energia gerada pelo sistema.

5.1.2 Telhas Solares

Para o dimensionamento das telhas solares, foi utilizado potência no pico de 1,86 kWp e substituindo a equação 2 do tópico 4.4. Além disso, vai ser considerado um aproveitamento de 75% de sua eficiência energética. Reutilizaremos esses dados para as demais telhas do comparativo; assim, os resultados estarão ilustrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado obtido dos módulos escolhidos

Comparativo das telhas				
Telha fotovoltaica	Tamanho m²	Potência w	Número de telhas necessária	Capacidade de produção mês kW
Eternit	2,44	144	15	286,65
L8 Energy	0,36	30	63	252
Tégula Solar	0,14	15	127	252,73
Ecotelhasolar	2,15	200	11	292,05

Fonte: Autoria própria (2024)

A forma como os módulos serão arranjados será definido a seguir no tópico 5.2.

5.2 Dimensionamento do inversor

Para a escolha do inversor, assim como mencionado no tópico 4.6, iremos considerar a nova potência pico encontrada pelo modulo fotovoltaico e atendendo a margem de segurança de 20% informado pela CRESESB. Além disso, a potência máxima de entrada do inversor fornecida pela (Minhacasasolar, 2024), mais a potência máxima do modulo fotovoltaico escolhido para determinação da potência nominal do inverso, será adotado as informações obtidas no tópico 4.6 Portanto, será utilizado um inversor do tipo monofásico do tipo o *grid* do fabricante Growatt modelo MIN3000TL-X, com potência nominal de 3 kw devido, o fator de segurança ser o mais próximo dos dados obtidos. Desta forma, como foi mencionado no tópico 4.6, o inversor escolhido será adotado para todos os sistemas fotovoltaicos escolhido para o comparativo, atendendo assim o fator de segurança, assim como a demanda do sistema. O inversor pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 - Inversor grid Growatt



Fonte: Casa solar (2024)

5.3 Levantamento de custo e *payback*

Para o levantamento de custo, não será considerado alguns fatores como frete, suportes para telhado, disjuntores ou mão de obra. Por se tratar de vários modelos e a finalidade do trabalho não ser o processo de instalação, não se viu necessário se aprofundar nestes dados. Desta forma, foi considerado somente o preço unitário registrado no tópico 4.3. Assim como o inversor escolhido no tópico 5.2 a Tabela 5 vai constar o preço de geral de cada modelo com base na quantidade de módulos necessário para atender a residência, assim como no tópico 5.1.2.

Tabela 5 - Custo de investimento

CUSTO DE INVESTIMENTO				
Modulos/telhas	Quantidade de modulos	Inversor	Valor (uni)	Total
		R\$	R\$	R\$
placa solar	4	3.000,00	750,00	6.000,00
		R\$	R\$	R\$
Tégula	114	3.000,00	101,56	14.577,84
		R\$		
Eternit	12	3.000,00	*****	****
		R\$	R\$	R\$
L8 Energy	57	3.000,00	63,00	6.591,00
		R\$	R\$	R\$
Ecotelhasolar	9	3.000,00	600,00	8.400,00

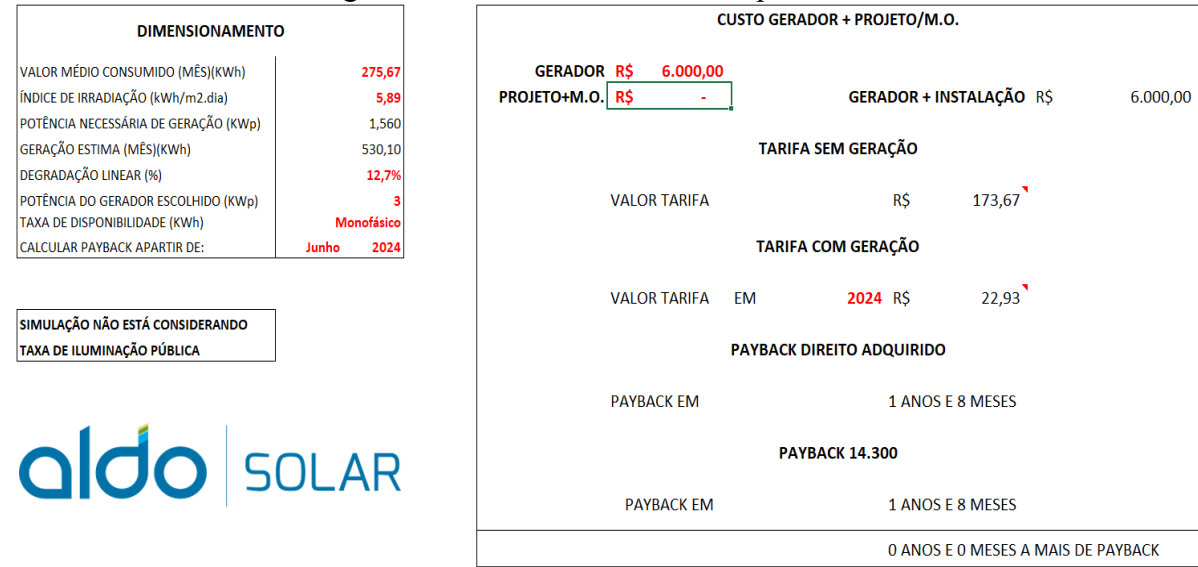
Fonte: Autoria própria (2024)

Devido a algumas dificuldades impostas por algumas empresas, não foi possível obter todos os valores necessários para o comparativo, como foi o caso do grupo Eternit.

A tabela 5 expõe os custos associados a cada sistema de geração de energia, comparando os gastos e economias envolvidos na implantação de telhas solares e painéis solares. Foram realizados cálculos detalhados para avaliar o desempenho financeiro de ambos os sistemas. Com base nos dados obtidos, observou-se que, embora o sistema tradicional de painéis solares demonstre maior eficiência energética, a diferença de custo entre os dois sistemas é relativamente pequena. É importante ressaltar, que no comparativo não foi levado em consideração custos como mão de obra, reforço estrutural, frete ou demais despesas. Vale ressaltar que o telhado fotovoltaico apresenta uma vantagem estrutural e arquitetônica em relação às placas tradicionais, especialmente pelo modelo selecionado entre as opções de telhas. Sendo um modelo leve e altamente eficiente em termos energéticos, sua instalação é fácil e simples, além de substituir uma boa parte das telhas tradicionais de cerâmica. Por fim, embora

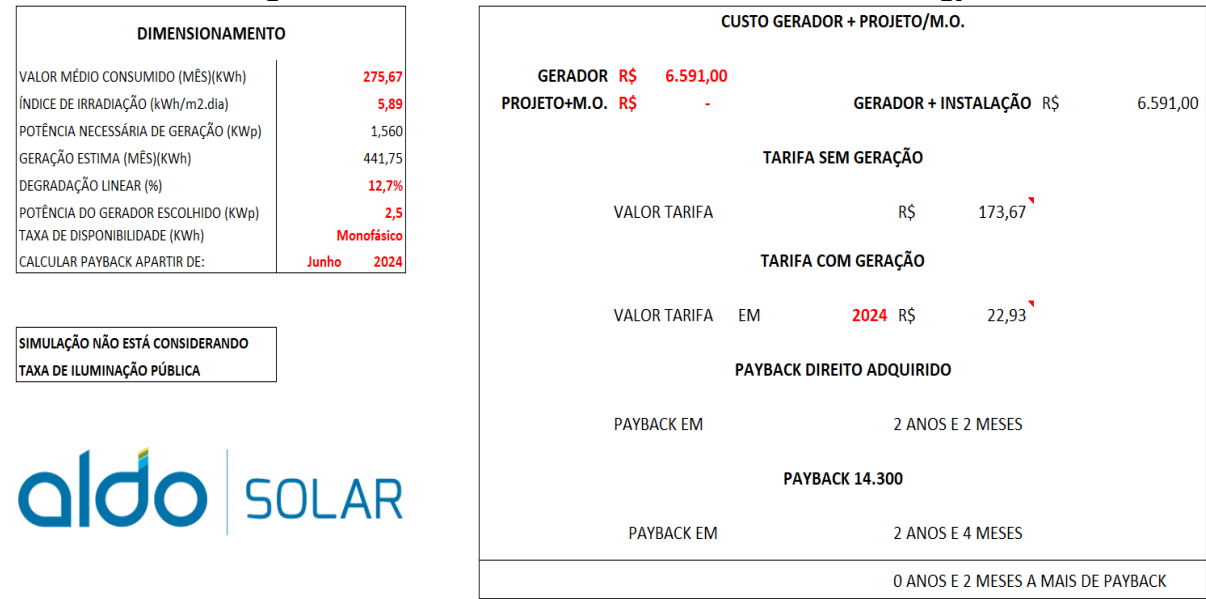
todas essas vantagens, os módulos tradicionais ainda são a melhor escolha quando se trata de custo-benefício, tendo em mente a facilidade de encontrar inúmeros modelos no mercado, além da ausência de complicações técnicas e comunicativas entre as empresas de telhas fotovoltaicas que insiste em tornar o processo mais cansativo e desgastante para o consumidor final. Por tanto, para finalizar o comparativo, na figura 20 a 24. Vai ser mostrado o playeback obtido entre os modelos escolhidos para o comparativo final.

Figura 20 - PAYBACK referente a placa solar



Fonte: Simulador Aldo Solar (2024)

Figura 21 - PAYBACK referente ao telhado da L8 Energy



Fonte: Simulador Aldo Solar (2024)

Figura 22 - PAYBACK referente ao telhado da Tégula

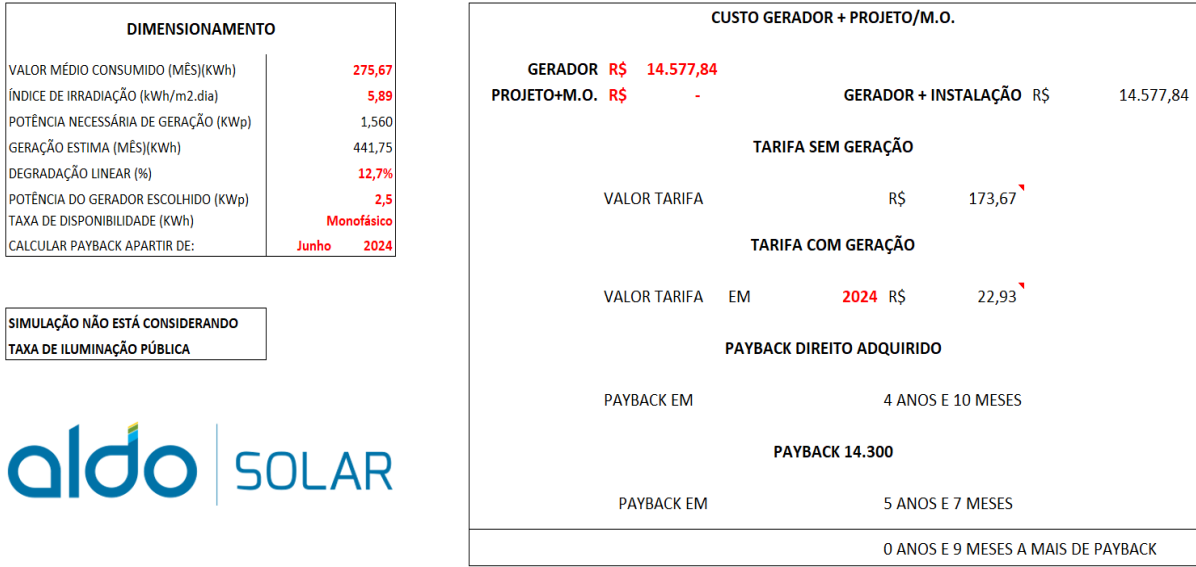
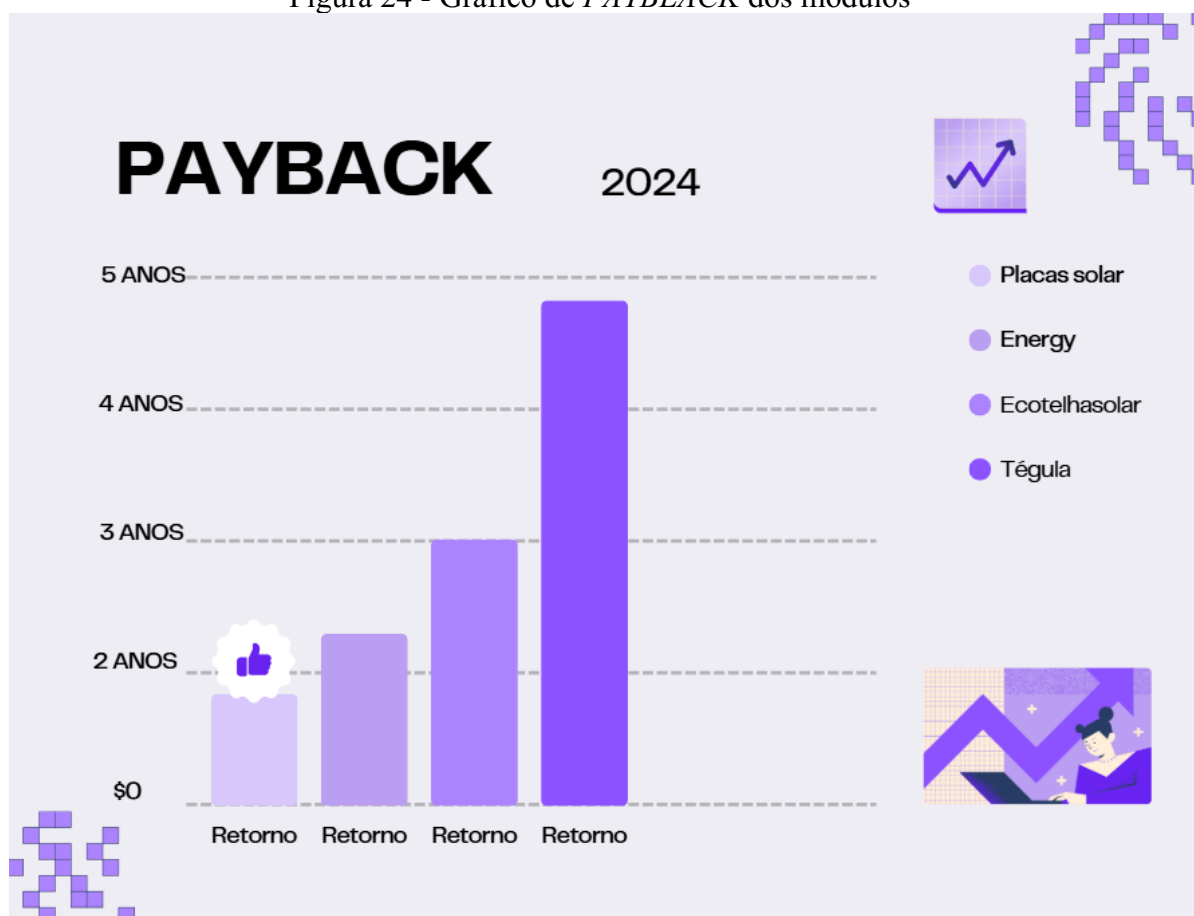


Figura 24 - Gráfico de *PAYBLACK* dos módulos

Fonte: Autoria própria (2024)

Infelizmente para o cálculo do *payback* não foi possível considerar o modelo da Eternit, como foi mencionado anteriormente, a empresa dificultou o acesso as informações de preço do seu produto, prejudicado um pouco o resultado desse estudo.

5.4 Generalidade

As telhas fotovoltaicas de concreto, fibrocimento e plástico possuem características distintas que influenciam na escolha do modelo ideal para cada projeto. A Tégula, por exemplo, utiliza concreto como material principal, o que confere à telha um excelente isolamento térmico, proporcionando conforto ao ambiente interno (Tecnobloco, 2024). No entanto, devido ao peso elevado, esse modelo pode exigir reforço estrutural na construção, aumentando a complexidade e o custo da instalação.

Por outro lado, a Eternit utiliza fibrocimento, resultando em um produto mais leve e de fácil instalação. Embora essa característica seja vantajosa, o modelo perde em eficiência térmica em comparação às telhas de concreto, especialmente por possuir uma superfície maior que

permite maior transferência de calor, como indicado pelo fabricante. Em termos de durabilidade, a telha da Eternit também pode ser menos resistente ao longo do tempo, especialmente quando comparada a alternativas mais robustas. A Ecotelhasolar adota um material plástico na fabricação de suas telhas solares. Esse tipo de material oferece maior leveza e facilidade na instalação, mas apresenta desvantagem em termos de isolamento térmico. Para mitigar esse problema, a fabricante incorporou uma camada de isolamento, o que, segundo eles, melhora em até 90% o conforto interno, garantindo que o calor seja menos transferido para os ambientes, (Ecotelhasolar, 2024). Além disso, no modelo da L8 Energy, tem seu material de construção composto por dupla camada de vidro, se trata de um modelo leve, em comparação aos seus concorrentes, com fácil instalação, além de um conforto térmico bom, (L8 Group,2024).

Assim, cada tipo de telha apresenta vantagens e limitações. A telha de concreto oferece maior durabilidade e melhor isolamento térmico, mas demanda reforço estrutural. A telha de fibrocimento se destaca pela leveza e facilidade de instalação, mas possui menor desempenho térmico. Já o modelo de plástico é leve e prático, mas requer isolamento adicional para garantir conforto térmico adequado. A escolha entre essas opções dependerá das prioridades e necessidades específicas do projeto, como custo, estética e eficiência energética.

6 CONCLUSÃO

A energia solar é uma fonte limpa e renovável que desempenha um papel essencial na transição para uma matriz energética mais sustentável. Seu uso reduz a emissão de gases de efeito estufa e diminui a dependência de combustíveis fósseis, contribuindo para a preservação do meio ambiente e o combate às mudanças climáticas.

Dentro desse contexto, tanto as placas fotovoltaicas tradicionais quanto as telhas fotovoltaicas surgem como alternativas eficientes para a geração de energia. As placas tradicionais são amplamente difundidas e apresentam alta eficiência em grandes áreas, enquanto as telhas fotovoltaicas integram-se de forma mais discreta à arquitetura, sendo ideais para projetos onde estética e funcionalidade precisam coexistir. Ambas as tecnologias representam um passo importante rumo à independência energética e à democratização do acesso a energias renováveis.

Para este trabalho, o critério de escolha dos telhados fotovoltaicos foi sua disponibilidade no mercado brasileiro, priorizando modelos com bom custo-benefício e informações técnicas mais acessíveis. Além disso, elaborou-se um comparativo entre os módulos solares tradicionais e as telhas fotovoltaicas, a fim de avaliar a eficiência energética de cada tecnologia. Durante a análise, foram utilizados estudos de outros autores que contribuíram para a consistência do comparativo desenvolvido. A análise também incluiu o cálculo do *payback*, com o intuito de entender melhor a eficiência financeira dos telhados fotovoltaicos em relação às placas solares e o tempo necessário para retorno do investimento inicial.

No entanto, dificuldades na obtenção de dados precisos sobre preço, manutenção e custo de frete dos modelos estudados levaram à decisão de focar apenas em um dos modelos para o comparativo final. Os resultados indicaram que os módulos tradicionais ainda se destacam em termos de custo e geração de energia. No entanto, isso não implica que os telhados fotovoltaicos sejam inferiores, uma vez que aspectos como substituição das telhas de cerâmica, estética e ergonomia não foram considerados na comparação. Embora as telhas fotovoltaicas tenham apresentado avanços importantes nos últimos anos, as placas solares permanecem como a opção mais eficiente para a geração de energia solar.

Este estudo visa servir como referência para futuras pesquisas sobre tecnologias fotovoltaicas aplicadas a telhados. Entre os possíveis temas de investigação estão a análise da instalação de sistemas solares integrados em construções novas, a comparação entre os principais modelos disponíveis no mercado brasileiro e, ainda, um estudo aprofundado que

avaliar a eficiência e viabilidade de diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos para coberturas residenciais, tomando como base os resultados aqui obtidos.

REFERÊNCIA

AL-SHAHRI, O. A. et al. Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, v. 284, p. 125465, 15 fev. 2021.

AL-SHARAFI, A. et al. Techno-economic analysis and optimization of solar and wind energy systems for power generation and hydrogen production in Saudi Arabia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 33–49, 1 mar. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa 687. Brasília, 2015

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Marco Legal da Geração Distribuída.

CAVALCANTE, M. DE A. et al. Os impactos da tecnologia de energia solar On-Grid e Off-Grid para o meio ambiente e seus aspectos positivos. **E-Acadêmica**, v. 3, n. 3, p. e6433382, 11 dez. 2022.

CARVALHO, L. *Eficiência Energética e Estética: Comparação entre Telhas Fotovoltaicas e Módulos Tradicionais*. Belo Horizonte: Energia Inteligente, 2022.

CREATIVE COMMONS et al. – Avaliação de Impacto na prática, segunda edição. Washington, DC: Banco Interamericano de Desenvolvimento e Banco Mundial. Disponível em: <le/10986/25030/9781464808890.pdf>. Acesso em: novembro, 2020.

DIENSTMANN, 2009. Artigo Energia Solar. Projeto de diplomação, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Publicado em 2009.

EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-126/topico-94/Relat%C3%B3rio%20Final%202016.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário estatístico de energia elétrica 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%2022.pdf>> Acesso em: 7 out. 2023.

ECOTELHASOLAR. Descrição técnica de telhas solares com isolamento térmico. Disponível em: <<https://www.ecotelhasolar.com>>. Acesso em: 20 out. 2024.

ETERNIT. Catálogo de telhas fotovoltaicas em fibrocimento. Disponível em: <<https://www.etrnit.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2024.

FREITAS, A. *Análise da Eficiência Energética de Telhas Solares no Brasil*. São Paulo: Editora Sustentável, 2022.

FERNANDES, M., & Oliveira, R. *Segurança em Sistemas Fotovoltaicos: A Importância da Desconexão Automática*. São Paulo: Tecnologia Solar, 2023.

GIL, A. C. (2008). **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas.

L8 GROUP. Telha solar. Disponível em: <<https://l8group.net/telha-solar/>>. Acesso em: 9 out. 2024.

MARCO ANTONIO GALDINO; PINHO, João. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. ResearchGate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265851263_Manual_de_Engenharia_para_Sistemas_Fotovoltaicos>. Acesso em: 14 jul. 2024.

MENDES, R. *Custos e Benefícios na Escolha de Telhas Solares versus Painéis Fotovoltaicos*. São Paulo: Editora Solar Tech, 2021.

NOVOECOPRO. Potencial energético brasileiro - Energia limpa - Ecopro Sustentável. Ecopro Sustentável. Disponível em: <<https://ecoprosustentavel.com.br/noticias/potencial-energetico-brasileiro/>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

NOVO SISTEMA FACILITA CONSULTA SOBRE POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR. Inpe.br. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5087>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PIMENTEL, José. Sistema fotovoltaico conectado à rede. Jornal do Sindicato BSB. Disponível em: <<https://jornaldosindicobsb.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede/>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PORTAL SOLAR. O que é energia solar? Tudo o que você precisa saber. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar.html>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

PRECOMA, Aparecido Akcel; MARQUES, Caroline Aparecida Bispo. Comparativo entre rendimento e custo-benefício de telhas solares e painéis fotovoltaicos convencionais em instalações residenciais. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

SILVA, M., Souza, L. *Comparativo de Tecnologias Fotovoltaicas: Telhas Solares e Módulos Tradicionais*. Rio de Janeiro: Energia Solar Brasil, 2023.

SILVA, Charles Virgílio. Telha fotovoltaica • como funciona. Youtube, 25 fev. 2015. 1 vídeo (11:56 min). Publicado pelo canal Entre Pra Morar. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IEuxtjoAd_8&list=TLGG5hOjQbZuMnwxODA1MjAyMg&t=325s>. Acesso em: 18 maio. 2022.

TECNOBLOCO. Materiais de construção e desempenho térmico das telhas. 2024. Disponível em: <<https://www.tecnobloco.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2024.

TECMUNDO. Tesla finalmente começa a fabricar telhas de energia solar. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/mercado/126094-tesla-fabrica-telhas-energia-solar.htm/>>. Acesso em: 18 maio. 2022.

TEGULA SOLAR. Instalação Telhas Solares. Disponível em: <<https://www.tegulasolar.com.br/>>. Acesso em: 02 maio 2022.

TELHADO SOLAR, AS TELHAS FOTOVOLTAICAS DA TESLA. Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/telhado-solar-as-telhas-fotovoltaicas-da-tesla>>. Acesso em: 16 jul. 2024.

VENDRAMEL, Francisco. Palestra Telha Solar - com Francisco Vendramel - L8 Energy. Youtube, 28 maio 2020. 1 vídeo (1h01 min). Publicado pelo canal Engenharia de Energia UP. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=LOuJ4P-1TEA>>. Acesso em: 19 maio. 2022.

VIEIRA, S., Zouain, D. M. (2005). *Pesquisa Qualitativa em Administração*. Rio de Janeiro: FGV Editora.

WORLD GREENHOUSE GAS EMISSIONS: 2018. World Resources Institute. Disponível em: <<https://www.wri.org/data/world-greenhouse-gas-emissions-2018>>. Acesso em: 14 jul. 2024.