



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS BRILHANTE DOS SANTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO E
TELHA SOLAR FOTOVOLTAICA**

ANGICOS

2023

MATHEUS BRILHANTE DOS SANTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO E
TELHA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Valquiria Melo Souza Correia,
Profa. Dra.

ANGICOS

2023

©Todos os direitos estão reservados à 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 tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237a Santos, Matheus.
Análise comparativa entre painel solar
fotovoltaico e telha solar fotovoltaica / Matheus
Santos. - 2023.
60 f. : il.

Orientadora: Valquiria Correia.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2023.

1. Energia limpa. I. Correia, Valquiria ,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

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.

MATHEUS BRILHANTE DOS SANTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO E
TELHA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em 13/10/2023.

BANCA EXAMINADORA

 Documento assinado digitalmente
VALQUIRIA MELO SOUZA CORREIA
Data: 19/10/2023 16:40:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Valquiria Melo Souza Correia, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Presidente

 Documento assinado digitalmente
MARCILIO LUIS VIANA CORREIA
Data: 19/10/2023 16:36:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcílio Luís Viana Correia, Prof. MS. (UFERSA)

Membro Examinador

 Documento assinado digitalmente
MARCUS VINICIUS SOUSA RODRIGUES
Data: 19/10/2023 15:44:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcus Vinícius Sousa Rodrigues, Prof. Dr. (UNILAB)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida.

Aos meus familiares, por toda a dedicação, apoio e compreensão e por me motivar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

A minha orientadora Prof. Dra. Valquíria Melo Souza Correia, pelo incentivo e auxílio às atividades.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Angicos, por ter me acolhido tão bem ao longo desses anos.

Aos meus amigos e colegas, que contribuíram diretamente e indiretamente, sintam-se todos abraçados e que Deus proteja, ilumine e guie sempre os nossos caminhos.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

Buscar alternativas de energia tornou-se uma necessidade tanto ambiental quanto econômica, levando ao desenvolvimento de tecnologias que possam captar da natureza e converter, como no caso deste estudo, energia solar em energia elétrica, não sobrecarregando o uso de energia gerada por usinas poluentes. Durante vários anos o predomínio da tecnologia fotovoltaica foram as células solares de silício cristalino, no entanto, outros tipos de células foram desenvolvidos, os quais podem competir, tanto em termos de redução de custos de produção, quanto em termos de maior eficiência. Diante de novos produtos no mercado para captar e transformar a energia solar em energia elétrica, recentemente no Brasil passou-se a produzir e comercializar, além de módulos, as telhas fotovoltaicas. Este estudo desenvolveu-se utilizando a metodologia de revisão bibliográfica para dar subsídios a definição e entendimento da geração de energia fotovoltaica, e com apresentação de um estudo de caso, executando a simulação de instalação dos sistemas, que, o objetivo deste estudo é apresentar projeto de viabilidade financeira para captação de energia solar, fazendo um comparativo com a instalação de módulos fotovoltaicas e com a instalação de telhas solares. Para isso realizou-se a simulação da instalação dos sistemas com telha solar, conclui-se que, do ponto de vista econômico, o uso de módulos apresenta uma melhor viabilidade financeira.

Palavras-chave: Energia limpa. Energia renovável. Sistema fotovoltaico. Geração de energia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento de um sistema fotovoltaico.	15
Figura 2 – Ranking de produção de energia fotovoltaica até 2022.....	16
Figura 3 – Usina solar de São Gonçalo no Piauí	17
Figura 4 – Representação das estações do ano e do movimento da terra em torno do Sol	19
Figura 5 – Ilustração de um sistema off-grid.....	20
Figura 6 – Ilustração de um sistema On-grid.	21
Figura 7 – Imagem de alguns módulos fotovoltaicos	23
Figura 8 – Telha solar fotovoltaica Eternit.....	24
Figura 9 – Inversor solar da marca Growatt.....	25
Figura 10 – Medidor bidirecional de energia solar.	26
Figura 11 – Mapa do Brasil	29
Figura 12 – Mapa do estado do Rio Grande do Norte	30
Figura 13 – Mapa da cidade de Caicó.....	31
Figura 14 – Localização da residência pelo Google Maps.....	32
Figura 15 – Mapa da irradiância solar do Brasil.....	33
Figura 16 – Módulo solar da Jinko.	34
Figura 17 – Telha solar Eternit F140 244.....	36
Figura 18 – Verso da telha solar.	36
Figura 19 – Kit de fixação sendo montado para receber as placas solares	39
Figura 20 – Fixação telha Eternit.....	40
Figura 21 – Medidor bidirecional do imóvel.....	41
Figura 22 – Medidor bidirecional do imóvel.....	41

LISTA DE FIGURAS

Quadro 1 – Dados do fabricante	35
Quadro 2 – Dados do fabricante	37
Quadro 3 – Análise financeira painel solar.....	43
Quadro 4 – Análise financeira telha solar.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Orçamento do sistema com painel solar.....	38
Tabela 2 – Orçamento do sistema com telha solar.	38
Tabela 3 – Irradiação Solar anual do município de Caicó-RN.....	40
Tabela 4 – Consumo médio anual do imóvel	40
Tabela 5 – Dados de consumo do imóvel.....	42
Tabela 6 – Comparativo entre Painel solar e Telha solar.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIE Agência Internacional de Energia

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

BNDES Banco Nacional do Desenvolvimento

CA Corrente Alternada

CC Corrente Contínua

FDI Fator de Dimensionamento de Inversores

GW Gigawatts

HSP Horas de Sol Pleno

IRENA Agência Internacional de Energias Renováveis

KW Quilowatt

MMGD Micro e Mini Geração Distribuída

MW Megawatt

TD Taxa de Desempenho

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Cenário Global	15
2.1.2 Cenário Brasileiro	16
2.2 Radiação	18
2.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos	19
2.4 Células fotovoltaicas	21
2.5 Componentes de um sistema fotovoltaico on-grid	22
2.5.1 Módulos	22
2.5.1.1 Painel solar	22
2.5.1.2 Telha solar	23
2.5.2 Inversores	24
2.5.3 String Box e dispositivos de proteção	25
2.5.4 Medidores	26
2.6 Compensação de energia	26
2.7 Medidas para aquisição e dimensionamento da energia solar fotovoltaica	28
3 METODOLOGIA	29
3.1 Estudo de caso	30
3.1.1 Dimensionamento do sistema	32
3.1.2 Irradiância	32
3.1.3 Cálculo dos módulos	33
3.1.4 Características	34
3.1.4.1 Painéis	34
3.1.4.2 Telha	35
3.1.4.3 Inversor	37
3.1.5 Aquisição kit fotovoltaico	38
3.1.5.1 Painel solar	38
3.1.5.2 Telha solar	38

3.1.6 Estrutura de fixação.....	39
3.1.6.1 Pannel solar	39
3.1.6.2 Telha solar	39
3.2 Diagramas unifilar.....	40
4 RESULTADOS	40
4.1 Painéis	42
4.2 Telhas	44
5 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS.....	45
ANEXO A – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO.....	47
ANEXO B – CARACTERÍSTICA DO PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO	48
ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DA TELHA SOLAR FOTOVOLTAICA	50
ANEXO D – DIAGRAMA UNIFILAR.....	52
ANEXO E – TARIFAS COSERN 2023.....	53

1 INTRODUÇÃO

A energia é um dos produtos mais importantes e essenciais para o homem e está relacionada a praticamente todas as suas atividades e necessidades, ela alimenta os sistemas de aquecimento, sistemas de iluminação, transportes, todo tipo de equipamento para fabricação de produtos e sistemas de informação. A forma mais versátil é a eletricidade, que pode ser facilmente transformada, transportada e é produzida a partir de todas as outras formas de energia. A matriz energética é composta por fontes renováveis (hidrelétrica, eólica, solar, geotérmica, dentre outras) e principalmente pelas não renováveis (carvão, petróleo e gás natural).

Como o cenário mundial vem demonstrando há um certo tempo que nossas práticas estão contribuindo em larga escala para haver uma insustentabilidade dos recursos naturais, a aplicação das fontes alternativas e renováveis de energia cresceram demasiadamente nas últimas duas décadas, no caso em particular da geração fotovoltaica, segundo o relatório Renewables de 2019 divulgado pela Agência Internacional de Energia (AIE), que prevê um crescimento mundial de 50% entre 2019 e 2024 para as fontes renováveis (EPBR, 2019).

O impacto ambiental comprovado através do processo de obtenção de energia vem sendo discutido ao redor do mundo há muito tempo, devido à gravidade do problema. Por isso, a busca pela sustentabilidade tornou-se uma grande preocupação empresarial e governamental, exigindo planejamento e inserção de novos recursos de energia renováveis que têm o menor impacto possível no meio ambiente (COPEL, 2020). Devido ao alto custo de obtenção e ao poder de degradação e poluição do meio ambiente das fontes não renováveis e da escassez hídrica que vem assolando as principais regiões que abastecem as hidrelétricas, surgem novas técnicas de obtenção de fontes de energias limpas que não prejudicam o meio ambiente (EPE, 2022).

A geração de energia solar fotovoltaica é a transformação da energia do sol diretamente em eletricidade, esta forma de geração de energia tem grande potencial, as enormes usinas de energia solar que estão sendo desenvolvidas atualmente têm a possibilidade de um dia ser a fonte essencial de energia. A geração distribuída é definida como uma fonte de energia elétrica conectada ao sistema elétrico de distribuição, situado no próprio consumidor. Este sistema proporciona que o cliente, instale em sua casa, comércio ou fábricas, pequenas usinas geradoras de energia renovável para consumo próprio. Quando a produção é maior que o consumo, a energia gerada é inserida na rede de distribuição da concessionária e contabilizada como crédito pelo medidor bidirecional, este medidor registra a energia gerada e a consumida. Caso a

produção seja maior que o consumo da unidade consumidora, o cliente recebe um crédito de energia, que pode ser utilizado na mesma unidade consumidora ou em outra de mesma titularidade (BARBOSA MILTON, 2020). Esta tecnologia está em expansão mundial e no Brasil conta com 602.810 sistemas instalados no país no total, isso corresponde a 6,9 GW de potência operacional. Somente nos primeiros 9 meses e meio de 2021, 2,12 GW, em 260 mil unidades consumidoras, foram adicionados (BARBOSA MILTON, 2020).

Para este estudo, foi realizada pesquisa bibliográfica, fundamentada no sistema fotovoltaico (benefícios, custos, vantagens e desvantagens da implantação dessa geração de energia), onde irá abranger uma análise comparativa entre telha solar e painel solar.

1.1 Objetivos

Os objetivos serão descritos a seguir.

1.1.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é fazer uma análise comparativa entre telha solar e painel solar de um sistema fotovoltaico residencial como alternativa à geração de energia.

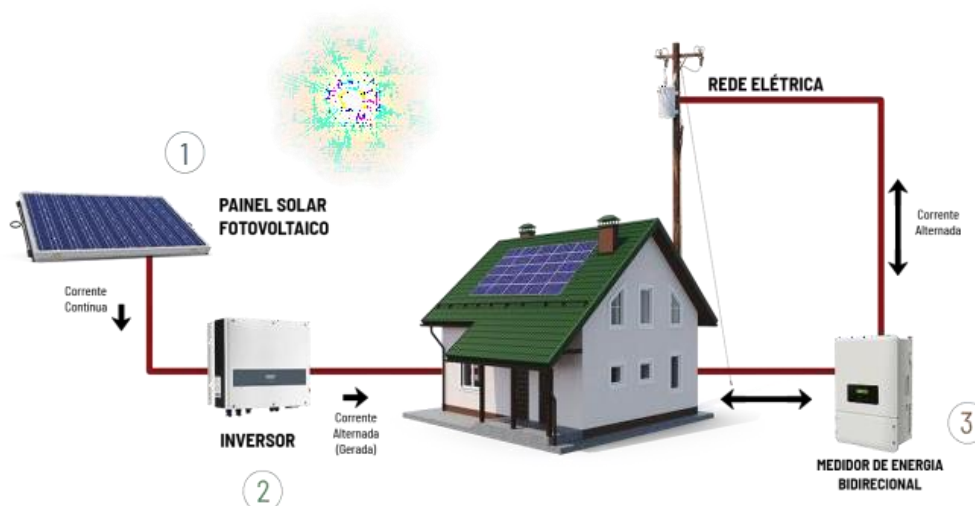
1.1.2 Objetivos específicos

- Tratar dos conceitos básicos da energia fotovoltaica;
- Descrever as etapas de um projeto do sistema fotovoltaico,
- Realizar um estudo de caso, comparando um dimensionamento de um sistema utilizando painéis solares já executado e o mesmo sistema sendo substituído por telhas solares, onde irá abranger análises técnicas e financeiras de cada projeto, detalhando o retorno do investimento e analisando qual sistema será mais viável ao consumidor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A energia solar fotovoltaica é provida de vários painéis solares fotovoltaicos para gerar energia elétrica através da incidência dos raios do sol como se pode ver na figura 1. Estes painéis são compostos por células solares que captam a radiação dos raios solares. As células solares utilizam o efeito fotovoltaico para absorver a radiação e gerar assim energia elétrica, a energia elétrica gerada passa pelo inversor e em seguida vai para as linhas de transmissão.

Figura 1 – Funcionamento de um sistema fotovoltaico.



Fonte: Efeito solar (2020).

Neste capítulo irá ser apresentado um pouco do cenário global, cenário brasileiro, assim também como o que é a radiação, os tipos de sistemas fotovoltaicos e como é composto cada um deles, os tipos de células fotovoltaicas e também irá abranger os componentes para instalação de um sistema, as normas da ANEEL e por fim quais medidas devem ser tomadas para aquisição e dimensionamento de um projeto fotovoltaico.

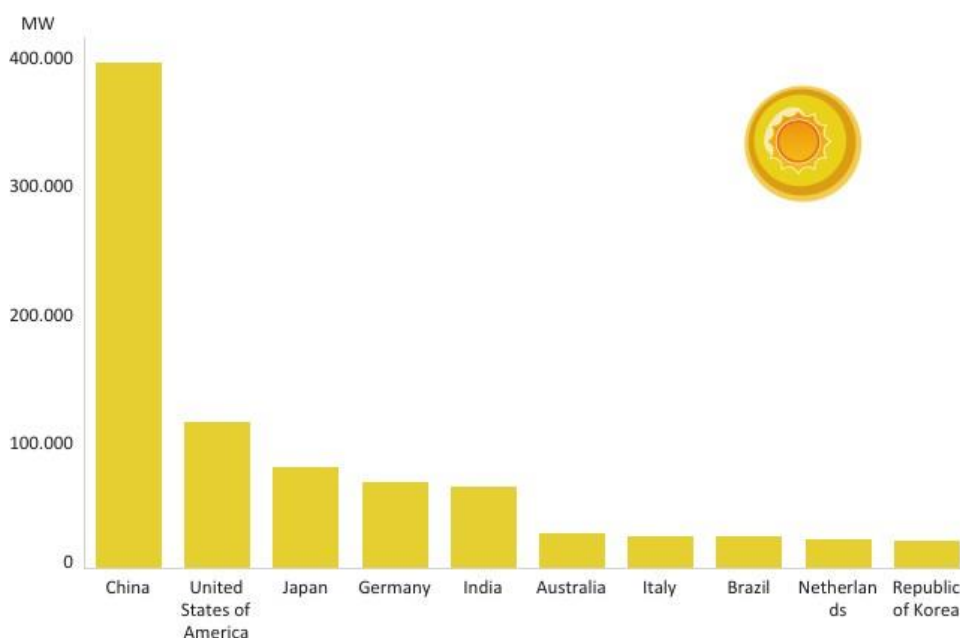
2.1 Cenário Global

A descoberta da tecnologia fotovoltaica deu-se a partir da pesquisa de um físico francês chamado Alexandre Edmond Becquerel, em 1839, que descobriu o efeito fotovoltaico, porém os primeiros dispositivos denominados como células solares ou células fotovoltaicas que eram fabricados em selênio, só foram desenvolvidos em 1883 por um inventor de Nova York Charles Fritts. Em 1950, nos Estados Unidos, foram fabricadas as primeiras células fotovoltaicas,

produzidas a partir de lâminas de silício cristalino, atingindo uma eficiência na conversão de energia solar em elétrica, o que é relativamente alta para a época, ou seja, 6%, com potência de 5 mW e área de 2cm² (PINHO; GALDINO, 2014).

De acordo com o levantamento publicado pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2023), até o ano de 2022 a China lidera no ranking de maior produtor de energia fotovoltaica do mundo, com 400.000 Gigawatts, distanciando dos Estados Unidos, que é segundo colocado, onde o Brasil aparece em oitava colocação, com 23.000 GW. A Figura 2 mostra o ranking dos 10 países de maior geração de energia fotovoltaica.

Figura 2 – Ranking de produção de energia fotovoltaica até 2022.



Fonte: IRENA (2023).

2.1.2 Cenário Brasileiro

No Brasil, a principal fonte de geração de energia elétrica é a hidráulica, em seguida encontra-se a geração térmica (ANEEL, 2016). Como fontes alternativas e renováveis dessa energia observa-se o crescimento do uso da biomassa, dos ventos e da proliferação de pequenas centrais hidroelétricas, todas impulsionadas por programas governamentais de incentivo a Geração Distribuída (FRAUNHOFER, 2013). Ademais, há perspectivas de expansão do parque de geração de energia solar fotovoltaica, cujo estudo é objeto do presente trabalho.

O Brasil destaca-se no setor energético devido a alguns fatores, dentre eles estão as características e localização geográfica do país: tropical, litorâneo, propício a sol e vento, ideal

para a produção de energia solar e eólica. Segundo Ben, (2019), 46% do consumo de energia do país é proveniente de fontes renováveis, enquanto em todo o mundo é de apenas 14%. O Brasil segue como um dos principais produtores de energia renováveis, porém precisa aperfeiçoar continuamente sua capacidade de atender as necessidades (ENERGIA BRASIL, 2022).

No Brasil, existe uma resolução normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) Nº 482/2012 que respalda a micro e mini geração distribuída – MMGD, no qual o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade (ANEEL, 2022).

Os Bancos aderiram a uma linha de crédito específica para o setor de energias renováveis, sendo que o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, dispôs de financiamento para aquisição e comercialização de sistemas de geração de energia solar e eólica, dentre outras modalidades de geração, com ênfase no tocante a eficiência energética ou que contribua para reduzir a emissão de gases de efeito estufa, com taxas de juros a partir de 0,9% ou 1,4% ao ano e prazo de até 16 anos, incluindo o período de carência de até 8 anos (BNDES, 2022).

A Figura 3 mostra a maior usina solar do Brasil e da América do Sul, que está localizada na cidade de São Gonçalo do Gurguéia, no Piauí. Possui capacidade de geração de 475 MW, onde a obra se iniciou em outubro de 2018 e foi conectada a rede em janeiro de 2020, conta com 2,2 milhões de painéis solares, em uma área de 12, 000, 000 m².

Figura 3 – Usina solar de São Gonçalo no Piauí.



Fonte: Tok solar energia sustentável (2022).

2.2 Radiação

Segundo ANEEL (2016), “a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende além das condições atmosféricas, também da latitude, estações do ano, hora do dia, condições do céu”. Sobre esses aspectos, conforme Lima (2003), essas influências estão definidas da seguinte forma:

Latitude: à proporção que a latitude aumenta, a área da superfície terrestre que a mesma radiação atinge é maior, resultando em uma menor concentração.

Estações do ano: o movimento de translação da Terra em torno do sol, responsável pelas estações do ano, descreve uma órbita elíptica plana. O eixo de rotação da Terra em volta de si mesmo não coincide com o eixo da elipse, possuindo uma defasagem, dessa forma, por um período do ano, o planeta expõe mais o hemisfério Sul à luz solar e por outro período ele expõe mais o hemisfério Norte.

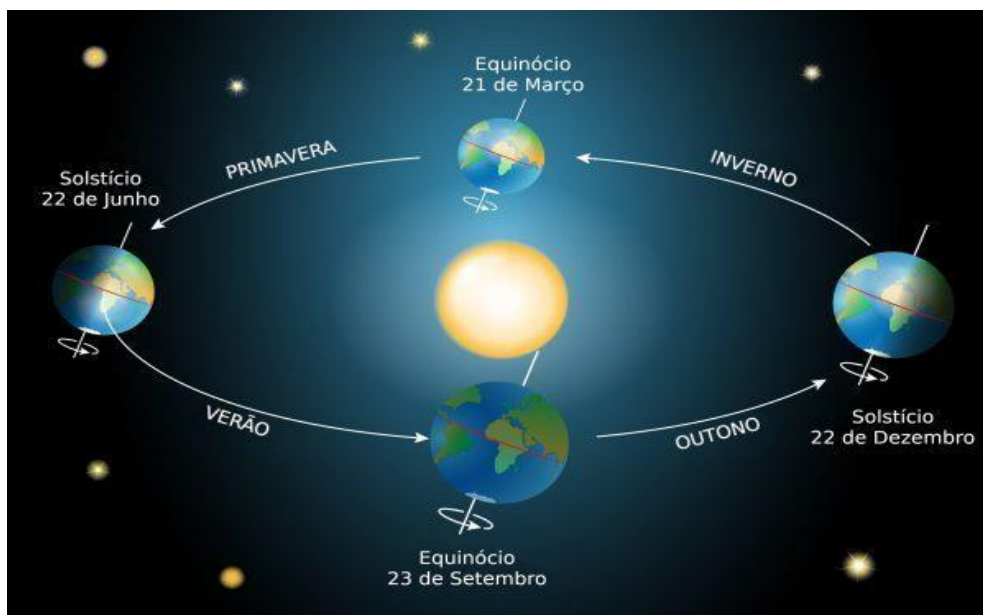
Hora do dia: a cada hora do dia, os raios solares atingem uma dada superfície sob diferentes ângulos.

Condições do céu: as quantidades de nuvens que recobrem o céu interferem na radiação que atinge a superfície terrestre.

Condições atmosféricas: dias enfumaçados, nublados ou poluídos alteram a radiação disponível. Porém, segundo Hudson Markell (1985), esse fator exerce reduzida influência porque a radiação que atinge a superfície terrestre é formada por radiação direta e difusa. Segundo os autores citados acima, em dias claros, 10% da radiação que chega à superfície terrestre é difusa. Contudo, em dias nublados, a radiação difusa é, frequentemente, toda radiação disponível.

Na Figura 4 podemos analisar as etapas das estações do ano em relação ao movimento da terra em torno do sol.

Figura 4 – Representação das estações do ano e do movimento da terra em torno do Sol.



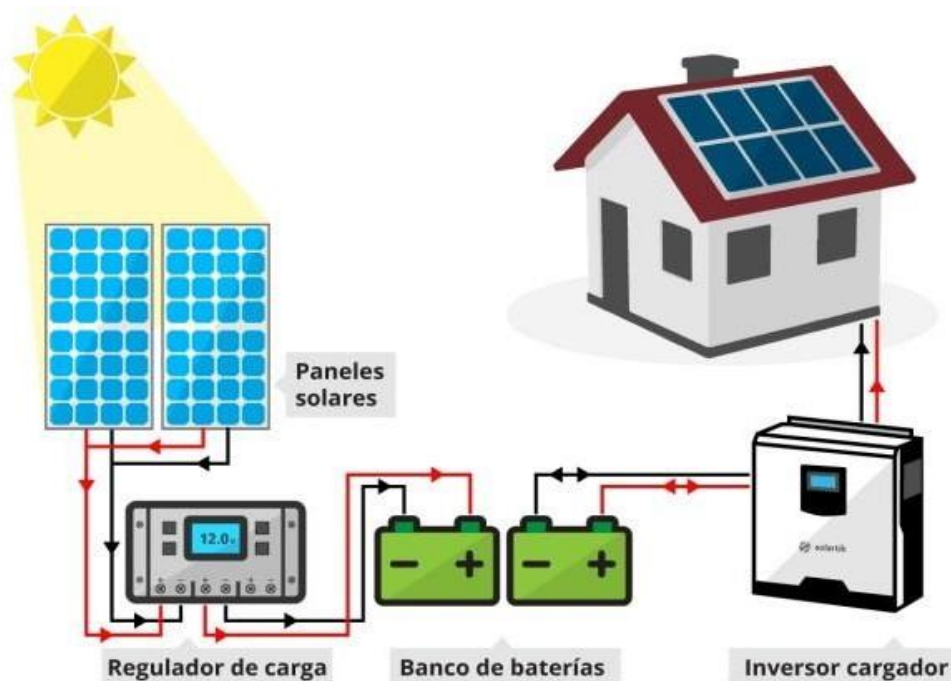
Fonte: Infoescola (2022).

2.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos consistem em três tipos, o Off-grid, On-grid e o Híbrido.

Off-grid: sistemas autônomos que trabalham de forma independente da rede de distribuição de energia elétrica. Eles se sustentam por meio de baterias que armazenam a energia elétrica gerada pelo sistema. É ideal para locais mais afastados que não são abastecidos pelas concessionárias de energia. Neste caso o inconveniente ainda é o alto custo das baterias e a baixa durabilidade. Na Figura 5 podemos analisar detalhadamente o funcionamento desse sistema.

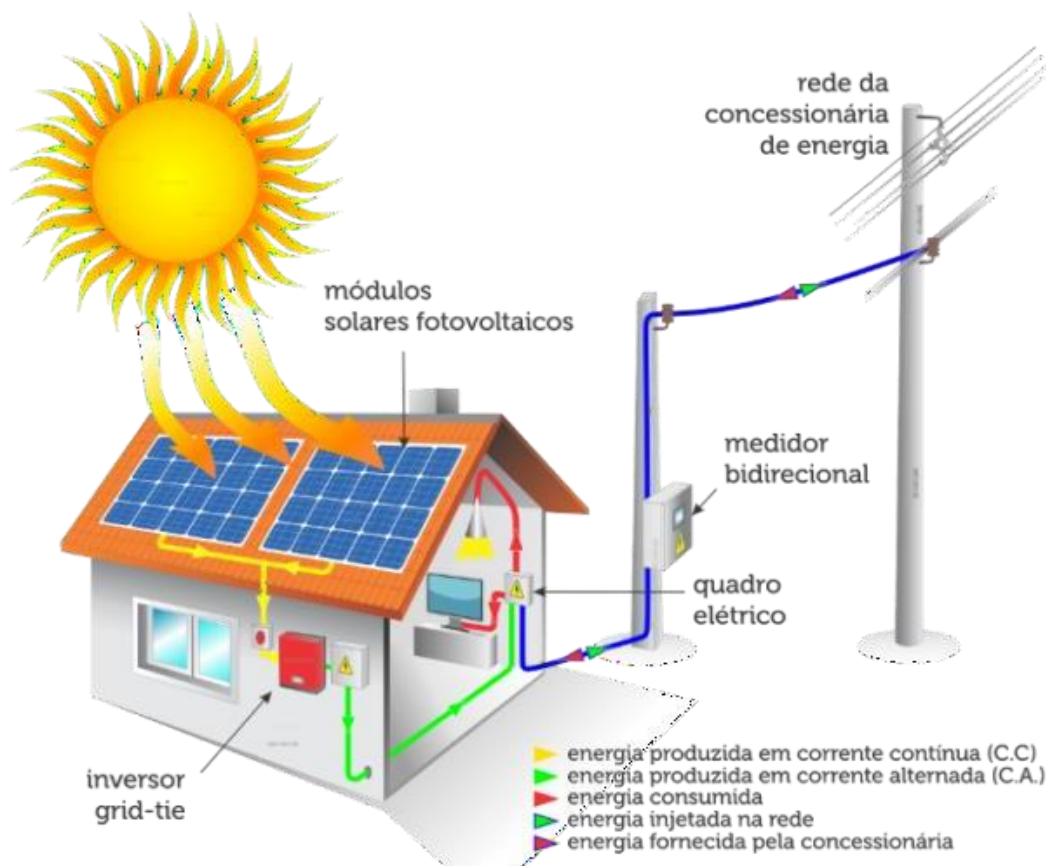
Figura 5 – Ilustração de um sistema off-grid.



Fonte: Solartik (2020).

On-grid: são sistemas que funcionam conectados à rede de distribuição de energia elétrica. São mais eficientes, porque dispensam o uso das baterias e dos controladores de carga. Como não há um dispositivo de armazenamento, toda a energia excedente produzida é enviada de volta à rede convencional, convertendo o excedente em créditos, que podem ser usados nos momentos em que a demanda é maior do que a produção. Na Figura 6 podemos analisar detalhadamente o funcionamento desse sistema.

Figura 6 – Ilustração de um sistema On-grid.



Fonte: Tesla engenharia elétrica (2020).

Híbrido: a operação é simultânea entre on-grid e off-grid. O trabalho conectado à rede acontece enquanto as baterias estão carregando e vice-versa. O papel da bateria não é armazenar toda a energia que será consumida durante a noite, mas sim funcionar como um sistema de backup, sendo acionado em caso de queda da rede.

2.4 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas podem ser fabricadas em diferentes tipos de materiais e formas. Independentemente de suas peculiaridades, todas possuem a mesma tarefa que é a de converter energia solar em elétrica. O material de fabricação mais usual dessas células é o silício (Si), que possui propriedades semicondutoras. Atualmente, há 3 tipos de células fotovoltaicas dominantes no mercado mundial: silício monocristalino, silício policristalino e silício amorfo. (AFEWORK et al., 2018).

Célula de silício monocristalino: é um dos materiais semicondutores mais disponíveis para a fabricação de células fotovoltaicas. Sua eficiência gira em torno de 14 a 18% e o método

mais comum de fabricação das células monocristalinas, primeiramente é extraído o cristal do dióxido de silício que depois é derretido em um caldeirão, onde também é purificado.

Célula de silício policristalinas: é relativamente mais barato em comparação com o das monocristalinas. A eficiência dessas células é menor, porém o baixo custo por watt de energia acaba compensando (PATEL, 2006). Elas são feitas com pequenos grãos de cristais que são moldados em um formato cúbico de lingote de silício fundido. Sendo assim, são fatiadas e montadas com método similar ao das de silício monocristalino, porém com menos rigorosidade no processo (AFEWORK et al., 2018).

Células de silício amorfo: apresentam alto grau de desordem na estrutura e são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. “A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação” (CEPEL, 2016).

2.5 Componentes de um sistema fotovoltaico on-grid

O projeto completo de um sistema fotovoltaico consiste em vários itens que incluem os módulos solares, estrutura metálica para fixação dos módulos, inversor para converter CC-CA, fusíveis e disjuntores, cabeamento elétrico, caixas de conexão, medidores.

2.5.1 Módulos

2.5.1.1 Painel solar

O painel solar fotovoltaico é composto por 36 a 72 células solares produzidas normalmente por silício e é utilizado para a captação da luz do sol, com a função de converter a luz solar em energia elétrica fotovoltaica. Módulos solares apresentam em média 20 V (Volts) de tensão em circuito aberto nos seus terminais, para que se atinjam valores maiores os módulos são montados em arranjos, conectados em série, paralelos ou ambos. O número de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua (CC), enquanto que a ligação em paralelo dos painéis ou os então conhecidos strings (conjunto de módulos ligados em série), irá determinar a corrente do sistema solar (RÜTHER, 2004).

Uma das principais áreas de inovação nos painéis solares é o aumento da eficiência na conversão de energia solar em eletricidade. Novos materiais e designs estão sendo

desenvolvidos para capturar uma quantidade maior de luz solar e converter mais eficientemente em energia elétrica, isso significa que os painéis solares modernos podem gerar mais eletricidade a partir da mesma quantidade de luz solar, melhorando o desempenho geral dos sistemas solares. A Figura 7 representa a imagem de um painel fotovoltaico.

Como a tecnologia de filme fino, painéis solares bifaciais, Perovskitas.

Figura 7 – Imagem de alguns módulos fotovoltaicos.



Fonte: Solar Power Energy (2021).

2.5.1.2 Telha solar

A telha solar tem a função 2 em 1: fazer parte da cobertura do imóvel, além de gerar energia elétrica, com a finalidade produzir energia a partir da radiação solar de modo prático, resistente e flexível.

Seu funcionamento ocorre no momento em que a luz solar entra em contato com a telha que tem placa fotovoltaica, perdendo uma partícula de elétron. Assim, o elétron liberado percorre o circuito elétrico até encontrar outros já armazenados, gerando corrente elétrica. Por essa razão, a escolha do telhado fotovoltaico ainda é uma das opções mais vantajosas em relação à alta resistência, visto que a corrente máxima nunca ultrapassa 1,5 A nas ligações em série e 9 A nas ligações em paralelo, podendo suportar até 3500 W.

A telha fotovoltaica é uma telha feita de fibra de vidro integrada à tecnologia fotovoltaica monocristalina. Além de ser projetada para suportar diversas condições ambientais, ela não polui, é sustentável e ainda proporciona um design para a construção. O formato dela é semelhante ao da “telha sanduíche”, caracterizada por ter duas chapas metálicas e um material

isolante no meio, facilitando a instalação e a adequação ao telhado, por ter surgido em 2005 as telhas fotovoltaicas estão em fase de ascensão. Esse é um tipo de equipamento que tem geração de energia solar e segue o formato de telhas comuns, ao contrário das placas, as telhas solares são mais flexíveis e podem ser encaixadas no telhado com mais facilidade.

A eficiência energética da telha solar também é bem próxima à dos painéis solares: de acordo com Portal Solar, no Brasil a telha pode alcançar uma média de 10% a 20%, enquanto um painel tem em torno de 16% e 22% de eficiência. A Figura 8 representa a instalação de algumas telhas solares.

Figura 8 – Telha solar fotovoltaica Eternit.



Fonte: Jornal DCI (2020).

2.5.2 Inversores

A energia gerada pelos módulos solares é em corrente contínua, sendo assim para que o sistema seja conectado à rede de distribuição de energia é necessário o uso de um inversor, ou conversor CC-CA. Com esse equipamento é possível garantir que a energia gerada siga os requisitos para a conexão com a rede pública, como frequência, conteúdo de harmônicos, forma de onda e etc. Os dois tipos de inversores mais comuns são os comutados pela própria rede, em que a sincronização do inversor é feita pelo sinal da rede, e os auto comutados, em que se faz necessário um circuito eletrônico no inversor para controlar o seu sinal com o da rede

(RÜTHER, 2004). A Figura 9 ilustra um inversor da Growatt, bastante comercializado no Brasil.

Figura 9 – Inversor solar da marca Growatt.



Fonte: Growatt (2023).

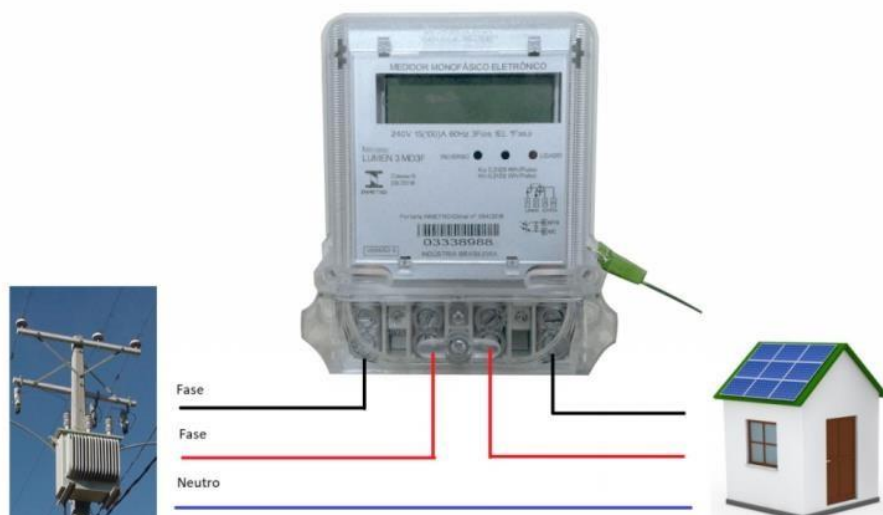
2.5.3 String Box e dispositivos de proteção

O Dispositivo de Proteção contra Sobretenção (DPS) é um equipamento que tem como função proteger em casos de surtos ocasionados por descargas atmosféricas. O DPS em corrente contínua fica posicionado na String Box CC e é conectado em paralelo com a chave seccionadora e com os cabos positivo e negativo provenientes do arranjo. A outra conexão do DPS é ligada ao cabo de aterramento sistema. O painel de proteção (string box) é a caixa onde estão posicionados a chave seccionadora e o DPS. O dimensionamento do DPS considera a tensão de operação do arranjo dos módulos e a tensão de operação do inversor. Sendo que a tensão do DPS deve ser maior para permitir a operação nominal do sistema. A corrente máxima de descarga também é um fator de proteção a ser considerado, sendo que quanto maior a corrente de descarga maior também será o valor agregado ao produto.

2.5.4 Medidores

Nas instalações solares on-grid, sistemas de microgeração conectados à rede pública de energia elétrica, a interface com a companhia de energia deve ser feita por meio de um medidor bidirecional. Quando o sistema fotovoltaico gera mais energia que a instalação precisa e injeta esse excedente na rede, o medidor contabiliza esse valor e beneficia o consumidor. Quando o contrário acontece, instalação consumidora consumindo mais energia do que a gerada, o medidor funciona contabilizando de modo a cobrar o proprietário pelo uso da eletricidade da companhia (RÜTHER, 2004). Caso ele produza a mesma quantidade de energia que consome, não paga nada (exceto as taxas fixas cobradas pela companhia, como conexão, distribuição, etc.). Já se a produção excede o seu consumo, essas sobras são transferidas para o próximo mês como forma de crédito (GROUP, 2017). A Figura 10 mostra um medidor bidirecional fornecido pela concessionária após a instalação do sistema fotovoltaico.

Figura 10 – Medidor bidirecional de energia solar.



Fonte: Soft engenharia solar (2021).

2.6 Compensação de energia

Embora recém-iniciado no Brasil, o governo conta com diversos incentivos para o uso da energia solar fotovoltaica, como condições diferenciadas de financiamento para compra de kits de geração de energia. Para regulamentar o setor, a ANEEL lançou a resolução normativa 482 em 2012, estabelecendo condições gerais para a conexão de sistemas de microgeração e pequena geração à rede de distribuição (ANEEL, 2012).

No decorrer dos anos, foram necessários ajustes nas condições de conexão visando incentivar a utilização da geração distribuída. Posterior à REN 482/2012, foi divulgada em 2015 a REN ANEEL 687, a qual regulamenta a utilização de créditos de energia gerados a partir da injeção de energia elétrica nas redes de distribuição e também os empreendimentos 9 de múltiplas unidades geradoras (ANEEL, 2015).

Com o aumento significativo do número de unidades consumidoras injetando energia elétrica na rede de distribuição, os custos incorridos pela concessionária ou permissionária pela necessidade de manutenção começaram a ser debatidos. Acomoda-se uma nova geração de recursos conectados a ele na rede. Assim, a Lei nº 14.300/2022 estabelece os encargos pela parte da tarifa relativa ao uso da infraestrutura da rede de distribuição de energia elétrica (BRASIL, 2022).

A microgeração distribuída refere-se às centrais de geração de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW. Por outro lado, a geração distribuída de pequena escala refere-se à usinas com capacidade instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 3 MW, de fontes não despacháveis (capazes de armazenar energia), e usinas com capacidade instalada inferior a 5 MW. Fontes despachadas (onde a energia não pode ser armazenada), pode ser acionado a qualquer momento durante o armazenamento (ANEEL, 2015).

Além do marco legal do micro e minigeração, a Lei introduziu algumas alterações no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), criado pela Resolução 482 e lançou o Programa de Energia Renovável Social (PERS). A lei também estabelece que a Aneel é responsável por fornecer formulários padrão para solicitação dos consumidores de micro, minigeração distribuída e todas as informações necessárias para a formulação de projetos solares (BRASIL, 2022).

Este sistema aplica-se aos créditos de energia. Tais créditos funcionam da seguinte forma: se o sistema de energia solar produzir energia em excesso, ou seja, a mais do que a usina consome, essa energia é "emprestada" à distribuidora e devolvida com o crédito. O consumidor pode, assim, compensar o consumo de energia elétrica das unidades consumidoras participantes do sistema com dinheiro. Esses créditos não cobrados anteriormente foram tributados por lei. Isso se deve à necessidade de arcar com custos de infraestrutura e investimentos na rede pública de energia, como a Linha B (valor das linhas de transmissão da distribuidora até as localidades). Além disso, o sistema considera características ambientais, técnicas e sociais no cálculo da compensação energética. No entanto, essas regras da Lei 14.300 se aplicam apenas a clientes

que optarem pela energia solar após janeiro de 2023. Para clientes que já a possuíam, as regras se aplicam apenas a partir de 2045 (BRASIL, 2022).

Segundo Aneel (2022), a REN 1059/2023 prevê que a transição para este sistema tributário será gradual e aumentará o imposto a cada ano:

- I – 15% (quinze por cento) a partir de 2023; 10
- II – 30% (trinta por cento) a partir de 2024;
- III – 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;
- IV – 60% (sessenta por cento) a partir de 2026;
- V – 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;
- VI – 90% (noventa por cento) a partir de 2028.

A lei aprovada prevê assim um sistema de compensação energética de 25 anos para os projetos já instalados. E ainda, projetos solicitados em até 12 meses após a aprovação, exceto pela regra transitória, que equipara os investimentos já contemplados. Portanto, todas as taxas definidas pela ANEEL serão cobradas apenas em 2029 (BRASIL, 2022).

2.7 Medidas para aquisição e dimensionamento da energia solar fotovoltaica

O consumidor irá contratar uma empresa da área de energias renováveis para fazer o projeto e estimar qual a demanda para suprir a necessidade do cliente, em seguida irá determinar quantos e quais módulos serão usados, qual inversor será instalado e só após entra com a solicitação de acesso com o requerimento formulado pelo acessante conforme mostrado no Anexo A, formulário específico para cada caso deve ser protocolado na distribuidora, com os documentos necessários. No qual a distribuidora tem um prazo de 15 dias para fornecer a autorização para execução desse projeto com o material citado.

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é utilizado a média de consumo de energia elétrica dos últimos 12 meses de uma residência. Com os dados da insolação e com o potencial de geração dos painéis solares, é possível determinar a energia gerada pelos painéis, analisando o consumo diário e a compensação de energia. É indispensável saber quanto de energia será produzido, para planejar um sistema que supre totalmente a demanda, em seguida estimou-se a melhor localização para instalação dos painéis, dado que a residência já está construída, logo, é necessária uma análise para chegar ao posicionamento ideal dos painéis, o qual deverá apresentar inclinação de acordo com a latitude da residência.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida com base na análise de documentos e bibliografia especializada. Adotou-se uma abordagem metodológica qualitativa e exploratória, realizando um estudo de caso que utilizou a simulação da instalação de painéis e telhas fotovoltaicas como instrumento de pesquisa. O levantamento dos custos dos materiais do projeto foi personalizado de acordo com as necessidades específicas do cliente, garantindo que atendesse plenamente às demandas de sua residência.

Para isso, foram adotados os preços dos materiais e equipamentos fornecidos pelos fabricantes e fornecedores situados no Brasil, a Figura 11 representa o mapa do país. No que diz respeito à metragem do cabeamento, esta foi calculada de acordo com a instalação do projeto que utilizava os painéis solares, uma vez que o projeto já havia sido executado na residência. No entanto, parte do cabeamento foi removida na projeção do sistema com telha solar, uma vez que esta configuração requer menos material.

Figura 11 – Mapa do Brasil.



Fonte: Infoescola (2015).

O custo de instalação foi estipulado com base em uma empresa especializada em sistemas solares fotovoltaicos que atua na região do Seridó Potiguar.

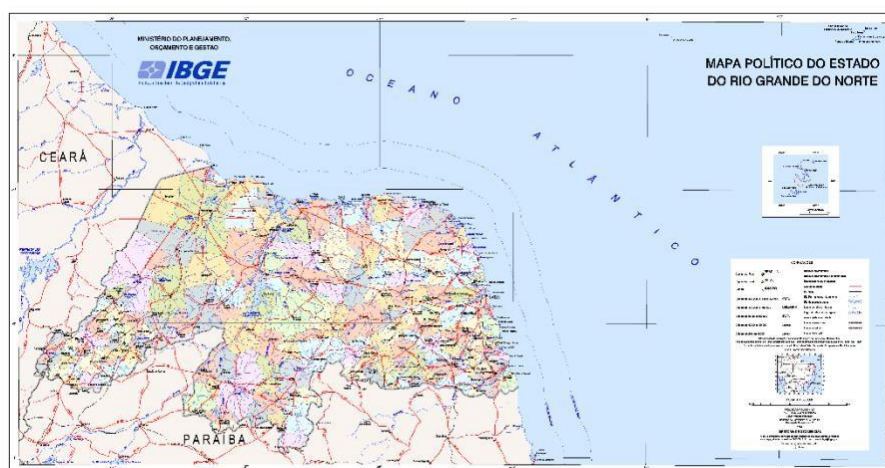
Na presente pesquisa, foram empregados métodos de análise de dados que incluíram o uso de planilhas eletrônicas e gráficos. Através dessas ferramentas, conseguimos avaliar a

viabilidade deste projeto em termos de geração de energia, bem como calcular o período necessário para que o investidor obtivesse o retorno financeiro esperado.

3.1 Estudo de caso

O estudo de caso consistirá na análise da viabilidade econômica da instalação de telhas solares em comparação com módulos solares fotovoltaicos em um projeto de energia solar fotovoltaica On-Grid. Para aprofundar o conhecimento, uma colaboração foi estabelecida com uma empresa sediada na cidade de Caicó, é um município brasileiro pertencente ao estado do Rio Grande do Norte, na Figura 12 ilustra o mapa do estado. Principal cidade da região do Seridó, localiza-se na zona central do estado, distante 282 km da capital estadual, Natal. Seu território ocupa uma área de 1.228,584 km², o equivalente a 2,33% da superfície estadual, posicionando-o como o quinto município com maior extensão do Rio Grande do Norte. Sua população em 2022, de acordo com estimativas do IBGE, era de 61 146 habitantes, o que a coloca como a oitava cidade mais populosa do estado, sendo a segunda mais populosa do interior do Rio Grande do Norte, com uma densidade populacional de 49,7 habitantes por quilômetro quadrado.

Figura 12 – Mapa do estado do Rio Grande do Norte.



Fonte: IBGE (2009).

O clima de Caicó é semiárido, com temperatura média compensada anual de 28 °C e índice pluviométrico de 630 milímetros (mm) anuais, concentrados de janeiro a maio. As precipitações ocorrem sob a forma de chuva, o tempo de insolação é de aproximadamente 2 800 horas/ano. Segundo dados da estação meteorológica oficial do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET, 2023) no município, que funciona no campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), desde março de 1995, a menor temperatura registrada em Caicó foi de 16,3 °C em 16 de março de 2008 e a maior atingiu 40,4 °C em 25 de setembro de 2023. Máximas iguais ou superiores a 40 °C também ocorreram nos dias 3 de dezembro de 2019 (40,3 °C), 7 de dezembro de 2019 (40,1 °C), 18 de janeiro de 2003 (40 °C) e 28 de janeiro de 2007 (40 °C). A Figura 13 ilustra a localização da cidade de Caicó, onde ocupa todo território demarcado de vermelho.

Figura 13 – Mapa da cidade de Caicó.



Fonte: Wikipédia (2020).

Neste estudo, várias etapas de um projeto fotovoltaico serão destacadas, incluindo o dimensionamento e os materiais utilizados, com ênfase em suas características distintivas, utilizando como base um projeto já executado em uma residência localizada na Avenida Coronel Martiniano, 305, centro de Caicó, a Figura 14 mostra a visão da residência pelo satélite do Google Maps.

Figura 14 – Localização da residência pelo Google Maps.



Av. Cel. Martiniano, 305

Fonte: Google Maps (2023).

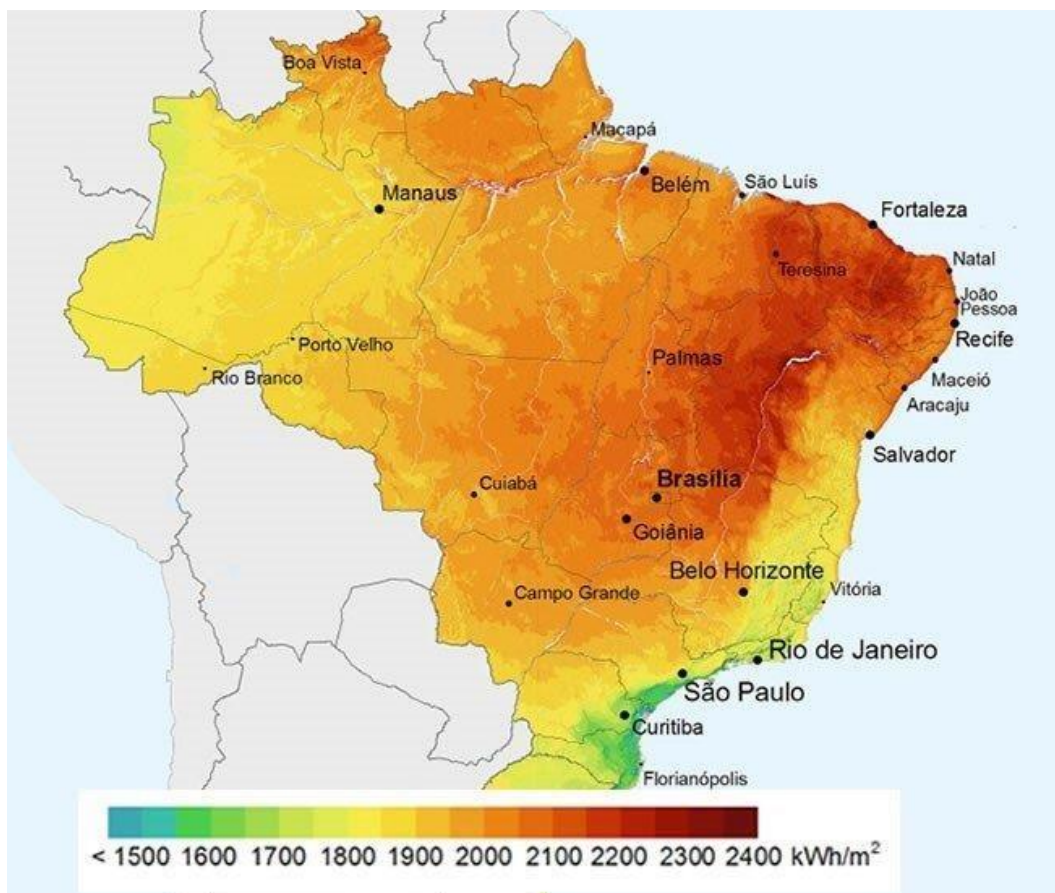
3.1.1 Dimensionamento do sistema

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é utilizado a média de consumo de energia elétrica dos últimos 12 meses de uma residência localizada na cidade de Caicó, interior do Rio Grande do Norte. Com os dados da insolação e com o potencial de geração dos módulos solares, é possível determinar a energia gerada pelos módulos, analisando o consumo diário e a compensação de energia. É indispensável saber quanto de energia será produzido, para planejar um sistema que supre totalmente a demanda.

3.1.2 Irradiância

A cidade na qual foi desenvolvido esse projeto fica situada no nordeste brasileiro. De acordo com Almeida e Almeida (2022), o Nordeste possui um grande potencial de produção de energia fotovoltaica, em virtude da elevada disponibilidade e regularidade da irradiância solar. Tal fenômeno acontece por conta dessa região estar localizada próxima a linha do equador. A alta incidência solar do Nordeste pode ser comprovada por meio do mapa da irradiação solar do Brasil, retirado do site Portal energia, ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Mapa da irradiância solar do Brasil.



Fonte: Portal energia (2023).

Para obter os dados da irradiação solar do município de Caicó, foi utilizada dados da CRESESB. O site em questão informa os valores da irradiação de cada mês do ano, bem como a média entre os meses.

3.1.3 Cálculo dos módulos

Para calcular a potência do sistema fotovoltaico, foi utilizada a Fórmula 1:

$$Potência\ gerada = Energia\ compensação / Dias \times HSP \times TD\ (\%) \quad (1)$$

Nessa fórmula, a variável Dias será considerada como 30 (trinta), equivalente a um mês. HSP terá o valor obtido na seção irradiância. TD (%) significa Taxa de Desempenho, que é definida como sendo a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho

máximo teórico possível. Segundo o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (PINHO E GALDINO, 2014), esse valor está entre 70% e 80%.

3.1.4 Características

3.1.4.1 Painéis

O painel solar utilizado será o da marca Jinko Solar, modelo JKM470N-7RL3, de silício monocristalino, com potência nominal de 470 Wp. A escolha por esse módulo foi feita pela grande disponibilidade no mercado e custo. Todas características desse módulo são apresentadas no anexo B. A Figura 16 mostra o painel solar utilizado na análise comparativa.

Figura 16 – Módulo solar da Jinko.



Fonte: Acervo próprio (2023).

Esse painel possui uma garantia de 12 anos contra defeitos e uma garantia de 30 anos para perda de eficiência excessiva, o valor de mercado estimado para cada unidade é em torno de R\$ 900,00 reais por cada placa, para manutenção é ideal que seja feito limpeza nas placas a cada 6 meses e verificação do sistema e sua geração anualmente outro fator importante é que seja comprado cerca de 8% dos painéis a cada 10 anos por causa da perda de eficiência, que é

em torno de 0,8% ao ano. O Quadro 1 ilustra alguns dados do painel solar fornecido pelo fabricante.

Quadro 1 – Dados do fabricante.

Potência MPP	470 x
Tensão no Ponto Máximo de Potência	43,20 v
Corrente no Ponto Máximo de Potência	10,80 A
Tensão em Circuito Aberto	52,10 V
Corrente de Curto Circuito ICC	11,6 A
Eficiência	20,90%
Tensão Máxima do Sistema	1.500 V
Dimensões	(2182x1029x40) mm
Peso	26 kg

Fonte: Jinko Solar (2023)

A área de ocupação do sistema com painéis solares vai de acordo com a área da placa multiplicado pela quantidade.

$$\text{Área do painel} = 2,18 \times 1,2 = 2,61\text{m}^2$$

$$\text{Área de ocupação do sistema} = 2,61\text{m}^2 \times 23 \text{ painéis} = 60\text{m}^2$$

3.1.4.2 Telha

A telha escolhida será a Eternit Solar Ondulada-F140 2.44 é uma telha de fibrocimento com módulos fotovoltaicos que produz energia elétrica a partir da luz solar. Compatível em dimensões e montagem com o padrão fibrocimento, utiliza a mesma estrutura de suporte e permite a montagem com telhas comuns de mesma ondulação, todas as características dessa telha será apresentada no anexo C. As Figuras 17 e 18 mostra as telhas utilizadas na análise comparativa.

Figura 17 – Telha solar Eternit F140 244.



Fonte: Eternit solar (2023).

Figura 18 – Verso da telha solar.



Fonte: Eternit solar (2023).

Essa telha possui uma garantia de 10 anos e com vida útil em média de 25 anos, com um valor de mercado estimado em R\$ 450,00, como manutenção é ideal limpeza a cada 6 meses. A telha solar pode ser utilizada como telhado, substituindo as telhas convencionais, é fixada da mesma forma da telha de Eternit comum. O quadro 2 detalha algumas especificações da telha fornecida pelo fabricante.

Quadro 2 – Dados do fabricante.

Potência MPP	142,2 w
Tensão no ponto máximo de potência	19,05 V
Corrente no ponto máximo de potência	7,17 A
Tensão em Circuito Aberto	23,63 V
Corrente de Curto Circuito ICC	7,77 A
Eficiência	5,30%
Dimensões	2,44m x 1,10m
Peso	32,5 kg

Fonte: Eternit (2023).

Área de ocupação em m² utilizando a telha solar:

$$\text{Área da telha} = 2,44 \times 1,10 = 2,68 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de ocupação do sistema} = 2,68 \text{ m}^2 \times 75 = 201 \text{ m}^2$$

3.1.4.3 Inversor

O inversor adotado será utilizado para os dois tipos de comparações, a com painel solar e a com telha solar, de acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (PINHO E GALDINO, 2014), o inversor deve ser dimensionado através do seguinte cálculo:

$$FDI = \text{Potência nominal CA} / \text{Potência gerada} \quad (2)$$

Segundo a mesma fonte, o FDI, que significa Fator de Dimensionamento de Inversores, é um valor que representa a relação entre a potência nominal CA do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico. O manual recomenda que esse número esteja entre 0,75 e 0,85, com um limite superior de 1,05. Normalmente, a potência nominal do inversor é menor do que a do gerador fotovoltaico, pois, mesmo em condições ideais de irradiação solar, a potência do gerador raramente atinge valores próximos à sua potência nominal.

No caso do projeto dimensionado neste trabalho o modelo de inversor escolhido foi o MIN10000TL-X, fabricado pela empresa Growatt.

3.1.5 Aquisição kit fotovoltaico

3.1.5.1 Painel solar

A aquisição do kit fotovoltaico para este projeto foi realizada através da empresa Nordeste Solar, uma empresa localizada na cidade de Caicó-RN. Com base nas especificações técnicas do inversor e dos módulos fotovoltaicos, foi elaborado um orçamento detalhado para este projeto. O preço final contempla não apenas a montagem do sistema, mas também todos os materiais necessários para a instalação e todos os componentes do gerador fotovoltaico. A Tabela 3 a seguir apresenta o orçamento completo:

Tabela 1 – Orçamento do sistema com painel solar.

Orçamento	
23 painéis fotovoltaicos	R\$ 20.700,00
1 inversor	R\$ 10.500,00
Materiais CA	R\$ 1.300,00
Instalação do sistema	R\$ 5.500,00
<u>Impostos + outros</u>	<u>R\$ 2.000,00</u>
<u>TOTAL</u>	<u>R\$ 40.000,00</u>

Fonte: Nordeste solar (2023).

3.1.5.2 Telha solar

O dimensionamento desse projeto utilizando telha solar foi realizado através do site da Eternit, onde foi estimulado o valor das telhas solares em grande quantidade, onde será utilizado alguns itens do projeto anterior, como o inversor e cabeamento. A tabela 4 apresenta o orçamento utilizando a telha solar no sistema.

Tabela 2 – Orçamento do sistema com telha solar.

Orçamento	
75 telhas fotovoltaicas	R\$ 33.750
1 inversor	R\$ 10.500
Materiais CA	R\$ 1.300
Instalação do sistema	R\$ 5.500
<u>Impostos + frete</u>	<u>R\$ 4.550</u>
<u>TOTAL</u>	<u>R\$ 55.600</u>

Fonte: Eternit (2023).

3.1.6 Estrutura de fixação

3.1.6.1 Painel solar

Os painéis são montados em suportes de aço galvanizado aderentes a cobertura, todos terão a mesma exposição. O sistema de fixação da estrutura deverá resistir a rajadas de vento, com velocidade de até 120 km / h. A Figura 19 mostra a montagem do kit de fixação para recebimento dos painéis.

Figura 19 – Kit de fixação sendo montado para receber as placas solares.



Fonte: Acervo próprio (2023).

3.1.6.2 Telha solar

As telhas fotovoltaicas podem ser utilizadas em diversas situações, devido à sua modularidade com os telhados já existentes e que possuem telhas de fibrocimento, bem como para novos projetos e futuras ampliações. Além disso, garantem praticidade, flexibilidade e resistência, sem abrir mão de uma completa harmonização com o telhado. Portanto, sempre deve ter 3 apoios para a telha fotovoltaica, sendo indicado o apoio intermediário no centro da telha para melhor distribuição do peso, não é necessário fazer fixação no apoio intermediário. A Figura 20 ilustra a fixação da telha solar ao telhado.

Figura 20 – Fixação telha Eternit.



Fonte: Google (2023).

3.2 Diagramas unifilar

Conforme foi estudado, quando o consumidor der entrada na concessionária, além do formulário devidamente preenchido (anexo A), geralmente arquivam junto o diagrama unifilar da residência, com suas características, como apresentado no anexo E.

O diagrama unifilar é uma representação gráfica do circuito elétrico, o qual retrata tanto os aspectos do circuito elétrico quanto o caminhamento físico da instalação. O anexo D ilustra a instalação do projeto com o medidor bidirecional (fornecido pela concessionária após toda a instalação), inversor e módulos solares. As Figuras 21 e 22 mostram os medidores bidirecionais já instalados ao imóvel que adquiriu o sistema solar fotovoltaico.

Figura 21 – Medidor bidirecional do imóvel.



Fonte: Acervo próprio (2023).

Figura 22 – Medidor bidirecional do imóvel.



Fonte: Acervo próprio (2023).

4 RESULTADOS

Após análise dos dados da CRESESB, justificou-se que a localidade de Caicó possui uma ótima irradiação solar. Para dimensionar a geração mensal, é necessário obter o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Esse valor expressa o intervalo de horas em que a irradiância solar permanece constante e igual a 1 kW/m² ao longo do dia (FERREIRA, 2019). A irradiação média de Caicó-RN, segundo dados da CRESESB (Tabela 1), é de 5,9 kWh/m², o cálculo do número de HSP para caso em questão está demonstrado abaixo:

$$HSP = 5,9 \text{ (kWh/m}^2\text{)} / 1 \text{ (kW/m}^2\text{)} = 5,9 \text{ (h/dia)}$$

Tabela 3 – Irradiação Solar anual do município de Caicó-RN.

Mês	Irradiação (kWh/m²)
Janeiro	6,16
Fevereiro	6,20
Março	6,14
Abril	5,80
Maio	5,20
Junho	4,77
Julho	5,05
Agosto	5,81
Setembro	6,38
Outubro	6,56
Novembro	6,55
Dezembro	6,30
Média	5,90

Fonte: Autoria própria, elaborada a partir da CRESEB (2022).

O proprietário do imóvel cedeu os dados de consumo de eletricidade da unidade consumidora, em kWh. Para dimensionar esse projeto, foi considerado o consumo entre os meses de janeiro de 2022 e dezembro de 2022 (Tabela 2). Como pode ser visto na Tabela 2, a média anual de consumo desse cliente é de 1.490 kWh. Para dimensionar a potência do sistema fotovoltaico a ser instalado, foi utilizado o valor de 1.500 kWh.

Tabela 4 – Consumo médio anual do imóvel.

Mês	Consumo (kW)
Janeiro	1.340

Fevereiro	1.639
Março	1.357
Abril	1.289
Mai	1.235
Junho	1.033
Julho	1.354
Agosto	1.560
Setembro	1.640
Outubro	1.754
Novembro	1.800
Dezembro	1.890
Média	1.490

Fonte: Autoria própria (2023).

Para calcular a potência do sistema fotovoltaico, foi utilizada a Fórmula 1, já apresentada na metodologia, para os cálculos desse projeto, será considerada uma TD de 80%. A Energia de Compensação, numerador da equação, é o mesmo que Consumo mensal estimado, ou seja, 1500 kWh.

Aplicando esses valores na equação, obteve-se o resultado da potência que deve ser gerada:

$$Potência\ gerada = 1500\ kWh / 30 \times 5,9 \times 0,8 = 10,59\ kWp$$

Depois de dimensionar a potência do sistema, deve-se determinar o número de módulos fotovoltaicos a serem instalados. Com esse intuito, divide-se o valor da potência encontrado na equação anterior pela potência unitária do módulo, em kW.

Painéis:

$$Número\ painéis = Potência\ gerada / Potência\ do\ painel$$

$$10,59\ kWp / 0,470\ kW = 22,53\ (adotando\ 23\ painéis)$$

Telhas:

$$10,59\ kWp / 0,142\ kW = 74,57\ (adotando\ 75\ telhas)$$

Para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos em questão foi conduzido tendo em conta uma ampla variedade de parâmetros e variáveis, abrangendo desde a determinação da

demanda de energia até a seleção dos componentes apropriados. Ao longo de todo o processo, foram minuciosamente examinadas as particularidades do local de instalação e as condições climáticas. Com base nos dados de consumo da unidade consumidora e na irradiação solar mensal, foi elaborada a Tabela 5.

Tabela 5 – Dados de consumo do imóvel.

Meses	Irradiância	Consumo (kWh)	Geração (kWh)
Janeiro	6,16	1.340	1.566
Fevereiro	6,2	1.639	1.576
Março	6,14	1.357	1.561
Abril	5,8	1.289	1.474
Maio	5,2	1.235	1.322
Junho	4,77	1.033	1.213
Julho	5,05	1.354	1.284
Agosto	5,81	1.560	1.477
Setembro	6,38	1.640	1.622
Outubro	6,56	1.754	1.668
Novembro	6,55	1.800	1.665
Dezembro	6,3	1.890	1.602
Média	5,9	1.490	1.503

Fonte: Acervo próprio (2023).

A geração média anual obtida foi de 1.503 kWh, o que supera a média de consumo da unidade consumidora estabelecida em 1.490 kWh. Esse resultado indica que o cliente estará pagando mensalmente apenas a tarifa correspondente à unidade. Assim, fica evidente que o projeto é viável em termos de geração e é capaz de atender à demanda energética do cliente. Além disso, um aspecto importante analisado nesta pesquisa foi o tempo de retorno do investimento no sistema fotovoltaico conectado à rede.

Com esse propósito, foi criado duas tabelas que representa um cenário correspondente a 25 anos de garantia de desempenho desse modelo de painéis e telhas, levando em conta que o cliente utilizou capital próprio para adquirir o sistema. Para esse cálculo, considerou-se o custo atual da tarifa de energia elétrica, que é de R\$ 0,91 por kWh, e uma inflação anual de 4,45%. Vale ressaltar que este último valor é estimado e pode sofrer alterações ao longo do tempo, dependendo das condições econômicas do país.

4.1 Painéis

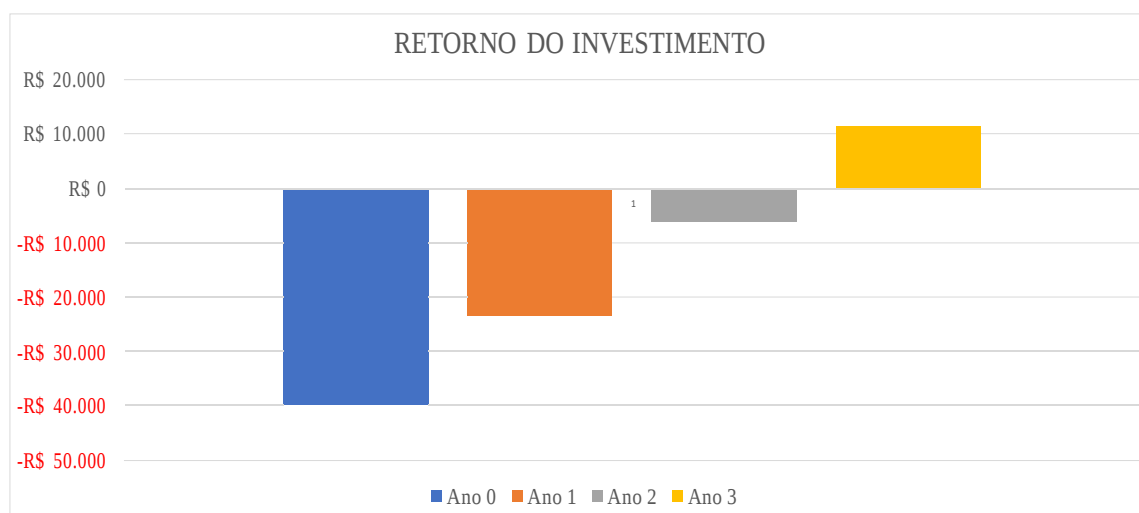
Analisando a Tabela 8, pode-se concluir que após o segundo ano de instalação, o cliente terá economizado uma quantia igual à quantia desembolsada para a aquisição do projeto. Retornando o investimento a partir do terceiro ano, tendo em vista que o valor de aquisição do sistema foi de 40 mil reais. O Quadro 3 representa o tempo de retorno do investimento do sistema.

Quadro 3 – Análise financeira painel solar.

Ano	Rendimento anual dos módulos	Geração anual do sistema	Reajuste anual da tarifa	Valor do kW com o ajuste	Geração anual	Playback simples
1	99,20%	18.213 kW	4,45%	R\$ 0,91	R\$ 16.573	R\$ 23.427
2	98,40%	18.067 kW	4,45%	R\$ 0,95	R\$ 17.163	R\$ 6.264
3	97,60%	17.922 kW	4,45%	R\$ 0,99	R\$ 17.742	R\$ 11.478
4	96,80%	17.779 kW	4,45%	R\$ 1,03	R\$ 18.312	R\$ 29.790
5	96,00%	17.637 kW	4,45%	R\$ 1,08	R\$ 19.047	R\$ 48.837
6	95,20%	17.496 kW	4,45%	R\$ 1,12	R\$ 19.595	R\$ 68.432
7	94,40%	17.356 kW	4,45%	R\$ 1,17	R\$ 20.306	R\$ 88.738
8	93,60%	17.217 kW	4,45%	R\$ 1,23	R\$ 21.176	R\$ 110.044
9	92,80%	17.079 kW	4,45%	R\$ 1,28	R\$ 21.861	R\$ 131.905
10	92,00%	16.942 kW	4,45%	R\$ 1,34	R\$ 22.702	R\$ 154.607
11	91,20%	16.807 kW	4,45%	R\$ 1,40	R\$ 23.529	R\$ 178.136
12	90,40%	16.672 kW	4,45%	R\$ 1,46	R\$ 24.341	R\$ 202.477
13	89,60%	16.539 kW	4,45%	R\$ 1,53	R\$ 25.304	R\$ 227.781
14	88,80%	16.407 kW	4,45%	R\$ 1,59	R\$ 26.087	R\$ 253.868
15	88,00%	16.276 kW	4,45%	R\$ 1,67	R\$ 27.180	R\$ 281.048
16	87,20%	16.145 kW	4,45%	R\$ 1,74	R\$ 28.092	R\$ 309.140
17	86,40%	16.016 kW	4,45%	R\$ 1,82	R\$ 29.149	R\$ 338.289
18	85,60%	15.888 kW	4,45%	R\$ 1,90	R\$ 30.187	R\$ 368.476
19	84,80%	15.761 kW	4,45%	R\$ 1,98	R\$ 30.957	R\$ 399.433
20	84,00%	15.675 kW	4,45%	R\$ 2,07	R\$ 32.364	R\$ 431.797
21	83,00%	15.510 kW	4,45%	R\$ 2,16	R\$33.501	R\$ 465.289
22	83,20%	15.386 kW	4,45%	R\$ 2,25	R\$34.618	R\$ 499.916
23	82,60%	15.263 kW	4,45%	R\$ 2,35	R\$ 35.868	R\$ 535.784
24	81,80%	15.140 kW	4,45%	R\$ 2,46	R\$ 37.244	R\$ 573.028
25	81,00%	15.019 kW	4,45%	R\$ 2,57	R\$38.598	R\$ 611.626

Fonte: Acervo próprio (2023).

Gráfico 1 – Retorno investimento Paine solar.



Fonte: Acervo próprio (2023).

4.2 Telhas

Modificando o projeto de painéis para telha, obteve um custo de projeto estimado em R\$ 55.600,00, onde o retorno do investimento só irá ser compensado a partir do quarto ano, como pode analisar na Quadro 4 e Gráfico 2.

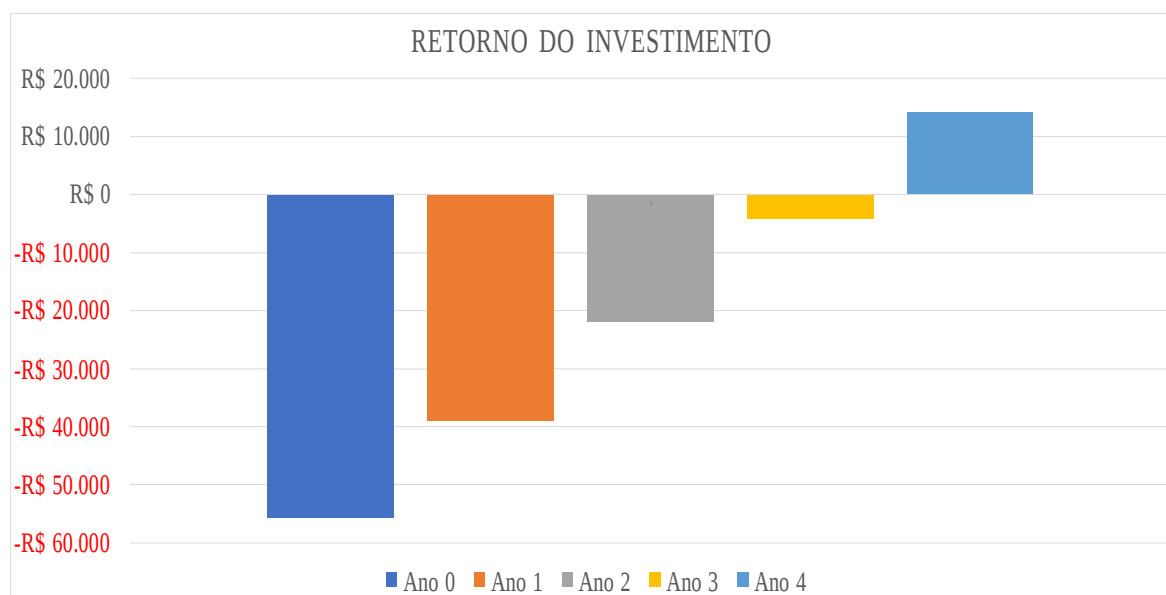
Quadro 4 – Análise financeira telha solar.

Ano	Rendimento anual dos módulos	Geração anual do sistema	Reajuste anual da tarifa	Valor do kW com o ajuste	Geração anual	Playback simples
1	99,20%	18.213 kW	4,45%	R\$ 0,91	R\$ 16.573	R\$ 39.027
2	98,40%	18.067 kW	4,45%	R\$ 0,95	R\$ 17.163	R\$ 21.864
3	97,60%	17.922 kW	4,45%	R\$ 0,99	R\$ 17.742	R\$ 4.122
4	96,80%	17.779 kW	4,45%	R\$ 1,03	R\$ 18.312	R\$ 14.190
5	96,00%	17.637 kW	4,45%	R\$ 1,08	R\$ 19.047	R\$ 33.237
6	95,20%	17.496 kW	4,45%	R\$ 1,12	R\$ 19.595	R\$ 52.832
7	94,40%	17.356 kW	4,45%	R\$ 1,17	R\$ 20.306	R\$ 73.138
8	93,60%	17.217 kW	4,45%	R\$ 1,23	R\$ 21.176	R\$ 94.314
9	92,80%	17.079 kW	4,45%	R\$ 1,28	R\$ 21.861	R\$ 116.175
10	92,00%	16.942 kW	4,45%	R\$ 1,34	R\$ 22.702	R\$ 131.877
11	91,20%	16.807 kW	4,45%	R\$ 1,40	R\$ 23.529	R\$ 162.406
12	90,40%	16.672 kW	4,45%	R\$ 1,46	R\$ 24.341	R\$ 186.747
13	89,60%	16.539 kW	4,45%	R\$ 1,53	R\$ 25.304	R\$ 212.051
14	88,80%	16.407 kW	4,45%	R\$ 1,59	R\$ 26.087	R\$ 238.138
15	88,00%	16.276 kW	4,45%	R\$ 1,67	R\$ 27.180	R\$ 265.318
16	87,20%	16.145 kW	4,45%	R\$ 1,74	R\$ 28.092	R\$ 293.410

17	86,40%	16.016 kW	4,45%	R\$ 1,82	R\$ 29.149	R\$ 322.559
18	85,60%	15.888 kW	4,45%	R\$ 1,90	R\$ 30.187	R\$ 352.746
19	84,80%	15.761 kW	4,45%	R\$ 1,98	R\$ 30.957	R\$ 383.703
20	84,00%	15.675 kW	4,45%	R\$ 2,07	R\$ 32.364	R\$ 416.067
21	83,00%	15.510 kW	4,45%	R\$ 2,16	R\$33.501	R\$ 449.568
22	83,20%	15.386 kW	4,45%	R\$ 2,25	R\$34.618	R\$ 484.186
23	82,60%	15.263 kW	4,45%	R\$ 2,35	R\$ 35.868	R\$ 520.054
24	81,80%	15.140 kW	4,45%	R\$ 2,46	R\$ 37.244	R\$ 557.298
25	81,00%	15.019 kW	4,45%	R\$ 2,57	R\$38.598	R\$ 595.896

Fonte: Acervo próprio (2023).

Gráfico 2 – Retorno investimento telha solar.



Fonte: Acervo próprio (2023).

Consequentemente, pode-se concluir que esse sistema fotovoltaico é exequível economicamente, pois ele recupera seu investimento inicial em um curto período e proporciona lucros significativos ao proprietário ao longo de sua vida útil. Mesmo com os dois sistemas sendo rentável ao investidor, o melhor custo de instalação se dar aos painéis solares, as telhas por serem algo que foi lançado depois, vem em constante evolução, porém ainda é algo de grande tamanho proporcional e de baixa geração de energia comparado aos painéis, tendo em vista que seria necessário o triplo da área dos painéis para que pudesse gerar a mesma potência que eles, sem contar que seria um investimento de R\$ 15.600 a mais que os painéis.

Tabela 6 – Comparativo entre Pannel solar e Telha solar.

	Telha solar Eternit	Pannel solar Jinko
Peso por unidade	32,5 Kg	26 kg
Potência Nominal	142,2 Wp	470 Wp
Área em m ² por unidade	2,68 m ²	2,61 m ²
Valor por unidade	R\$ 450,00	R\$ 900,00
Garantia por defeito de fábrica	10 anos	12 anos
Eficiência	5,3 %	20,9%
Composição da célula	Silício Monocristalino	Silício Monocristalino

Fonte: Acervo próprio (2023).

Algumas vantagens da telha solar é a resistência, capaz de resistir ao granizo e ventos fortes como de um furacão, além de sua estética ao telhado, sendo facilmente instaladas, onde os painéis requerem um pouco mais de trabalho, onde é preciso fixar uma armação na estrutura já existente para a instalação dos painéis. Uma das desvantagens dos painéis além do custo ser um pouco alto ainda no mercado, é a questão da dimensão, pois tem um tamanho basicamente igual ao do pannel solar, porém só entrega um terço da potência do mesmo, tornando assim uma vantagem do pannel em relação a telha.

5 CONCLUSÕES

Este estudo oferece uma perspectiva que combina economia financeira com responsabilidade socioambiental. No cenário atual global, o setor de energia busca fontes alternativas e, dentre elas, os sistemas solares fotovoltaicos destacam-se pela sua facilidade de instalação. Portanto, é fundamental contar com profissionais bem treinados, capazes de avaliar o sistema tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

Com base nas tecnologias disponíveis no mercado e nos cálculos deste projeto, fica evidente sua viabilidade financeira. Os módulos solares se destacam como a opção mais rentável. No entanto, vale ressaltar que sua instalação pode apresentar desafios, uma vez que requer reforços estruturais devido ao peso do sistema. Por outro lado, as telhas solares oferecem uma abordagem mais simples, substituindo as telhas convencionais sem causar sobrecarga estrutural.

Ao analisar o funcionamento do sistema fotovoltaico, percebe-se que a geração de energia solar não está ligada à emissão de poluentes, não esgota recursos e pode ser aplicada em áreas remotas. Além disso, sua manutenção é descomplicada.

Este estudo utilizou métodos analíticos, como planilhas e gráficos, para avaliar minuciosamente a viabilidade do sistema fotovoltaico em questão. Os resultados demonstram que a implementação desse sistema é capaz de atender eficazmente à demanda energética do investidor e é economicamente viável, representando uma alternativa eficaz para a redução de custos.

Por fim, este trabalho pode ser valioso para profissionais e entusiastas da área que buscam projetos mais eficientes e sustentáveis, promovendo a disseminação e adoção da energia solar fotovoltaica como uma fonte confiável e acessível de eletricidade. Além disso, para mim, esse estudo é significativo, pois consolidou conhecimentos adquiridos ao longo da minha formação, contribuindo para o meu aprendizado.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília, 2002. 243 p.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração distribuída**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>> Acesso em: 15 mar. 2023.

BARBOSA, M. de A. **Tecnologia e Fontes Alternativas de Energia**. Curitiba: Contentus, 2020. p. 19-21.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 6 jan. 2022. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm> Acesso em: 15 jun. 2023.

BRITO, B. M.; ARAUJO, E. P. **Obtenção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos-análise de tipos, modelos, eficiência e estudos de caso**. 2019. 33p. Relatório final (Iniciação Científica) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.uhumanas.uniceub.br/pic/article/view/6359>> Acesso em: 03 abr. 2023

BNDES SETORIAL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Financiamento**. Rio de Janeiro, 1995. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/22564?mode=full>> Acesso em: 20 mar. 2023

COPEL. **Pura energia**. 202-. Disponível em: <<https://www.copel.com/site/>> Acesso em: 10 mar. 2023.

CRESESB. **Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.Brito**. 202-. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>> Acesso em: 15 ago. 2023

ENERGIA BRASIL. **7 Incentivos governamentais para quem usa energia solar**. 2022. Disponível em: <<https://portalenergiabrasil.com.br/category/noticias/>> Acesso em: 12 mar. 2023.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Mudanças climáticas e Transição energética**. 200-. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>> Acesso em: 14 mar. 2023.

Eternit solar. **Telha Fotovoltaica**. 2023. Disponível em: <<https://www.eternit.com.br/eternitsolar/>> Acesso em: 16 jul. 2023

FRAUNHOFER ISE. **World Record Solar Cell with 44.7% Efficiency**. Freiburg, 2013. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2013/world-record-solar-cell-with-44-7-efficiency.html>> Acesso em: 14 mar 2023.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil**. Disponível em: <portal.inmet.gov.br> Acesso em: 22 abr. 2023.

IRENA. Agência Internacional de Energias Renováveis. **Country Rankings**. 2023. Disponível em: <<https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>> Acesso em: 15 abr. 2023.

JINKO Solar. **Tiger Mono-facial 450-470 Watt** [manual]. Disponível em: <[https://www.jinkosolar.com/uploads/TR%20JKM450-470M-7RL3-\(V\)-C1-EN.pdf](https://www.jinkosolar.com/uploads/TR%20JKM450-470M-7RL3-(V)-C1-EN.pdf)> Acesso em: 20 jun. 2023.

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. 2003. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-03032004-153752/publico/Juliana.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2023.

PATEL, M. R. **Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation**. Boca Raton, CRC Press, 2006, 2 ed. 473 p.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (Org.). **Manual de engenharia par a sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014, 530 p.

ROSA, A. C. do P.; FASSARELLA, R. N.; COSMO, R. de P. Sistemas conectados grid-tie atrelados a sfv alocados a realidade de redes inteligentes no brasil. **Revista esfera tecnológica**, Vitória, v. 6, n. 2, p. 79 – 98, 2022. Disponível em: <<https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2022/02/revista-esfera-tecnologia-v06-n02-artigo04.pdf>> Acesso em: 25 abr. 2023.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis, Editora UFSC/LABSOLAR, 2004, 118p.

**ANEXO II - FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA
MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10 kW**

47

ANEXO B – CARACTERÍSTICA DO PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO

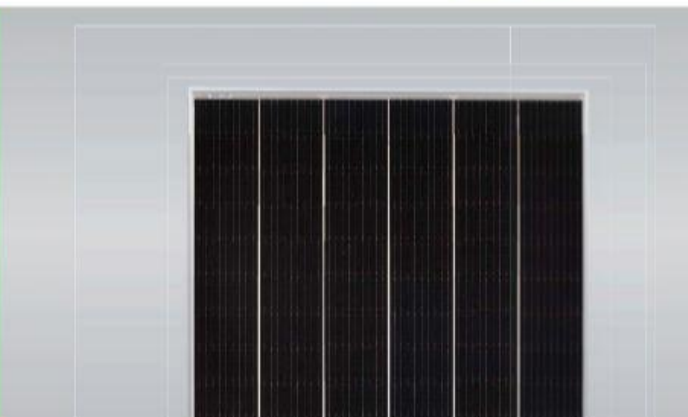
www.jinkosolar.com



Tiger Mono-facial 450-470 Watt

Tiling Ribbon (TR) Technology

Positive power tolerance of 0~+3%



KEY FEATURES



TR technology + Half Cell

TR technology with Half cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency (mono-facial up to 20.93%)



9BB instead of 5BB

9BB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase.



Higher lifetime Power Yield

2.5% first year degradation,
0.6% linear degradation



Best Warranty

12 year product warranty,
25 year linear power warranty



Avoid debris, cracks and broken gate risk effectively

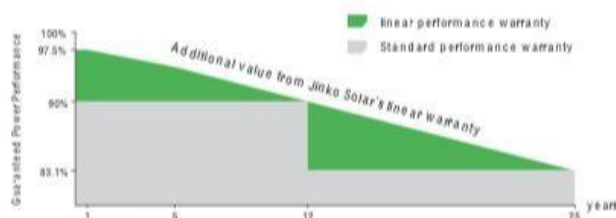
9BB technology using circular ribbon that could avoid debris, cracks and broken gate risk effectively



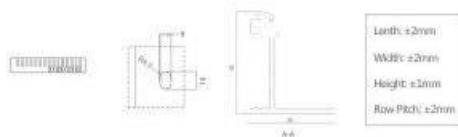
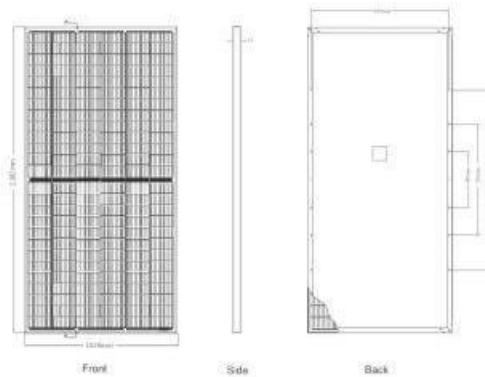
- ISO9001:2015, ISO14001:2015, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730 certified product

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

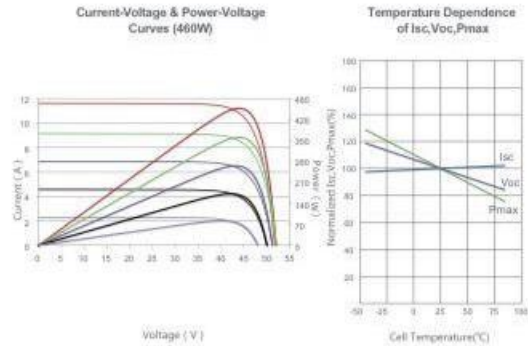
12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty
0.6% Annual Degradation Over 25 years



Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2×78)
Dimensions	2182×1029×40mm (85.91×40.51×1.57 inch)
Weight	26.1 kg (57.54 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm² (+): 290mm, (-): 145 mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

27pcs/pallets, 54pcs/stack, 540pcs/ 40'HQ Container.

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM450M-7RL3		JKM455M-7RL3		JKM460M-7RL3		JKM465M-7RL3		JKM470M-7RL3	
	JKM450M-7RL3-V		JKM455M-7RL3-V		JKM460M-7RL3-V		JKM465M-7RL3-V		JKM470M-7RL3-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P _{max})	450Wp	335Wp	455Wp	339Wp	460Wp	342Wp	465Wp	346Wp	470Wp	350Wp
Maximum Power Voltage (V _{mp})	42.86V	39.20V	42.97V	39.32V	43.08V	39.43V	43.18V	39.58V	43.28V	39.69V
Maximum Power Current (I _{mp})	10.50A	8.54A	10.59A	8.61A	10.68A	8.68A	10.77A	8.74A	10.86A	8.81A
Open-circuit Voltage (V _{oc})	51.50V	48.81V	51.60V	48.70V	51.70V	48.80V	51.92V	49.01V	52.14V	49.21V
Short-circuit Current (I _{sc})	11.32A	9.14A	11.41A	9.22A	11.50A	9.29A	11.59A	9.36A	11.68A	9.43A
Module Efficiency STC (%)	20.04%		20.26%		20.49%		20.71%		20.93%	
Operating Temperature(°C)	-40°C→+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0→+3%									
Temperature coefficients of P _{max}	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of V _{oc}	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of I _{sc}	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

* STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5
 NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s
 • Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. TR JKM450-470M-7RL3-(V)-C1-EN

ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DA TELHA SOLAR FOTOVOLTAICA

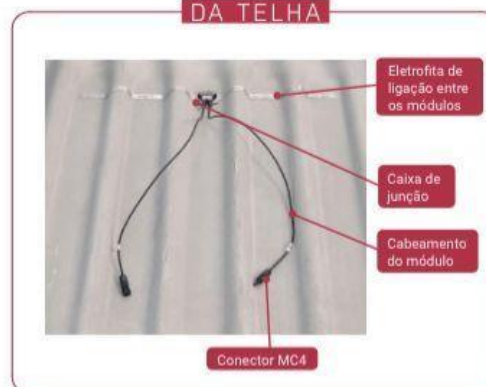
Eternit Solar ONDULADA-F140 2.44

Eternit
Solar

FRENTE DA TELHA



VERSO DA TELHA



CARACTERÍSTICAS

- Potência: 142,2 Wp
- Tensão Circuito Aberto – U_o : 23,62 V
- Tensão Máxima PMP – U_{pmp} : 19,05 V
- Corrente curto-circuito – I_k : 7,77 A
- Corrente PMP – I_{pmp} : 7,17 A
- Produção mensal média: 17,78 kWh/mês
- Inclinação mínima: 9° (5°)
- Peso médio em cobertura: 18 kgf/m²

APLICAÇÕES

As telhas fotovoltaicas Eternit Solar podem ser utilizadas em diversas situações, devido à sua modularidade com os telhados já existentes e que possuem telhas de fibrocimento do modelo Ondulada, bem como para novos projetos e futuras ampliações. Além disso, garantem praticidade, flexibilidade na instalação e resistência, sem abrir mão de uma completa harmonização com o telhado.



Instalações
residenciais



Instalações
comerciais



Grandes galpões
comerciais

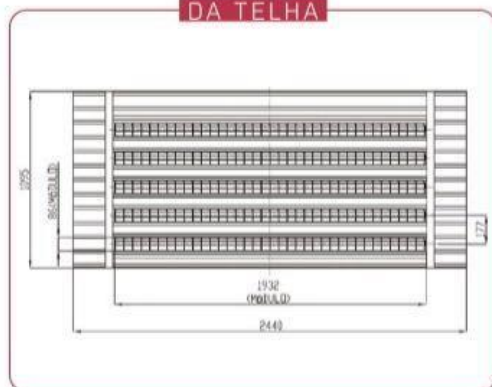
Eternit
Solar

Para mais informações:
• www.eternitsolar.com.br
SAC: 0800 021 1709

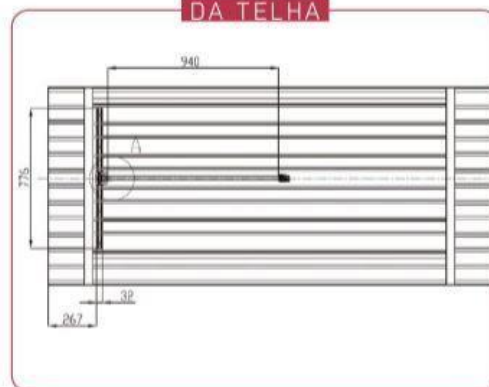
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ONDULADA-F140 2,44

FRENTE DA TELHA

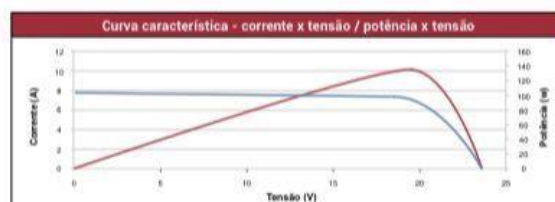


VERSO DA TELHA



Parâmetros elétricos - STC*	
Especificação	Dados
Potência Nominal Máxima - P _{máx}	142,2 Wp
Tensão Circuito Aberto - U _o	23,63 V
Tensão Máxima PMP - U _{pmp}	19,05 V
Corrente curto-circuito - I _k	7,77 A
Corrente PMP - I _{pmp}	7,17 A
Potência PMP - P _{pmp}	136,66 W
Temperatura de Operação	-10°C ~ 80°C

*STC (standard test conditions) - sob condições padrão de teste - Irradiância: 1000 W/m² / Temperatura da célula: 25 °C / Espectro A.M 1.5



Parâmetros físicos da base	
Especificação	Dados
Base	Fibrocimento (CRFS)
Fibra sintética	Polipropileno (PP)
Telhas por m²	0,435 pç/m²
Comprimento	2,44 m
Largura	1,10 m
Comprimento útil mínimo*	2,24 m
Largura útil	1,05 m
Espessura	6 mm
Inclinação mínima	9° (5°)
Peso médio em cobertura	18 kgf/m²
Condutibilidade térmica	(20 °C) k= 0,31 W/m °C
Dilatação térmica	0,01 mm/m °C
Dilatação por absorção de água	2 mm/m (reversível)
Peso específico	γ= 1,6 g/cm³
Resistência a agentes químicos	Imune a gases secos e vapores úmidos (com pH superior a 6)
Resistência à flexão (carga de ruptura mínima)	3,30 kN (330 kgf/m)
Isolamento sonoro	Bom, inerte a vibrações

*O comprimento útil depende do recobrimento longitudinal, que pode variar de acordo com a inclinação do telhado.

Parâmetros Físicos das Células, Conectores e Condutores	
Especificação	Dados
Tipo de Célula	Silício Monocristalino
Dimensão de cada célula	78 mm x 78 mm
Quantidade de módulos na telha	5
Quantidade total de células	115
Caixa de junção	IP67 - 60 x 66 x 13 mm
Conectores do módulo	MC4

Características de temperatura da célula	
Coefficiente de temperatura da P _{máx}	-0,40%/°C
Coefficiente de temperatura da U _o	-0,32%/°C
Coefficiente de temperatura da I _k	+0,06%/°C

Recobrimentos entre as Telhas	
Inclinação	Recobrimento Longitudinal (mm)
5° (9%) ≤ α < 15° (27%)	20 cm
15° (27%) ≤ α < 75°	14 cm
OBS: nunca ultrapassar 20 cm de recobrimento longitudinal.	
Inclinação	Recobrimento Lateral
α ≥ 5° (9%)	1/4 de Onda (5 cm)

Registro do Inmetro	
008434/2021	

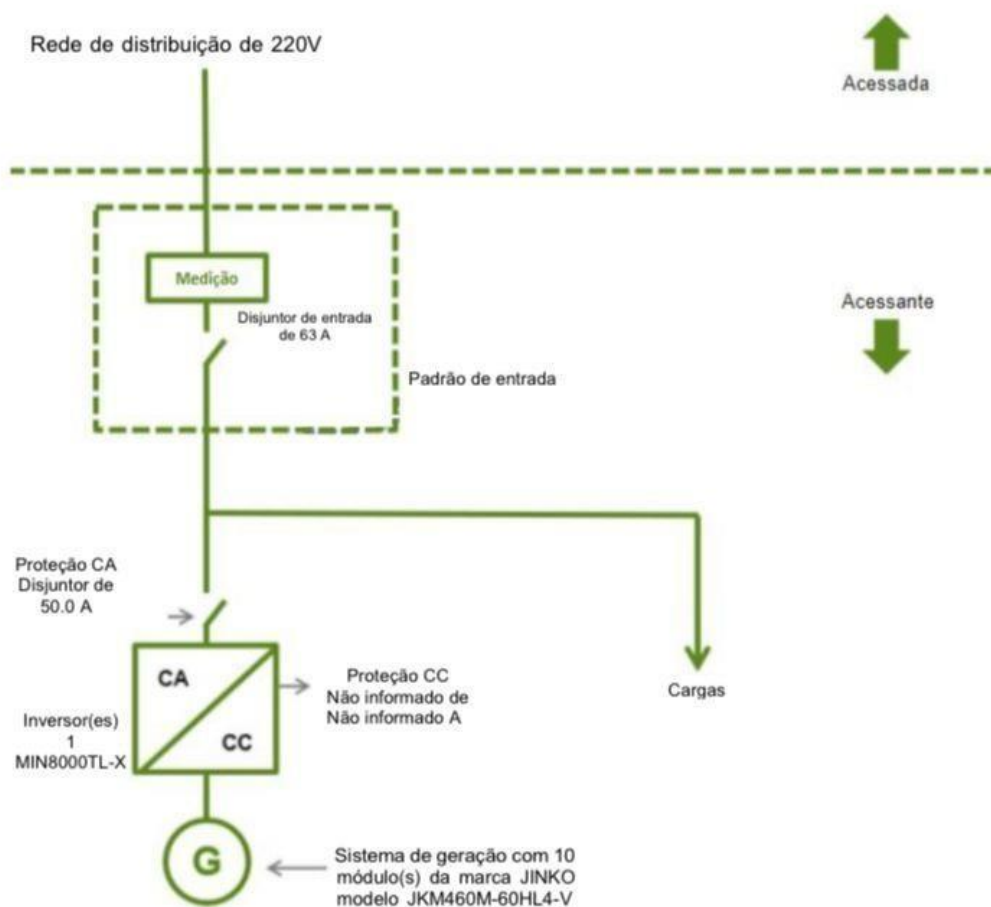
ANEXO D – DIAGRAMA UNIFILAR



COMPANHIA ENERGÉTICA DO RIO GRANDE DO NORTE
SUPERINTENDÊNCIA TÉCNICA
DEPARTAMENTO DE PROGRAMAÇÃO E PROCESSOS DE REDE
UNIDADE DE PLANEJAMENTO E PROCESSOS DE REDE

DIAGRAMA UNIFILAR BÁSICO

NÚMERO DA SOLICITAÇÃO:



ANEXO E – TARIFAS COSERN 2023

TABELA DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA GRUPO B			
		VIGÊNCIA: 22/04/2023 a 21/04/2024 RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 3.187 DE 18 DE ABRIL DE 2023	
DESCRIÇÃO	TUSD (R\$/kWh)	TE (R\$/kWh)	TARIFA
B1 - Residencial			
Consumo Ativo	0,39599000	0,29322000	0,68921000
Consumo Reativo Excedente		0,29322000	0,29322000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	1,04530000	0,46408000	1,50938000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,67014000	0,27769000	0,94783000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,29499000	0,27769000	0,57268000
B1 - Residencial Baixa Renda			
0 a 30 kWh - 65% de desconto	0,11766300	0,10155950	0,21922250
31 a 100 kWh - 40% de desconto	0,20170800	0,17410200	0,37581000
101 a 220 kWh - 10% de desconto	0,30256200	0,26115300	0,56371500
Acima de 220 kWh	0,33618000	0,29017000	0,62635000
B1 - Residencial Baixa Renda INDÍGENA E QUILOMBOLA			
0 a 50 kWh			0,00000000
51 a 100 kWh - 40% de desconto	0,20170800	0,17410200	0,37581000
101 a 220 kWh - 10% de desconto	0,30256200	0,26115300	0,56371500
Acima de 220 kWh	0,33618000	0,29017000	0,62635000
B2 - Rural / Cooperativa de Eletrificação Rural			
Consumo Ativo	0,39599000	0,29322000	0,68921000
Consumo Reativo Excedente		0,29322000	0,29322000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	1,05972000	0,46408000	1,52380000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,67880000	0,27769000	0,95649000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,29787000	0,27769000	0,57556000
B2 - Rural Irrigante/Serviço Público de Irrigação			
Consumo Ativo	0,39599000	0,29322000	0,68921000
Consumo Ativo reservado	0,10691730	0,07916940	0,18608670
Consumo Reativo Excedente		0,29322000	0,29322000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	1,05972000	0,46408000	1,52380000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,67880000	0,27769000	0,95649000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,29787000	0,27769000	0,57556000
Consumo Ativo Reservado - Tarifa Branca	0,08042490	0,07497630	0,15540120

Internal Use

B3 - Comercial, Serviços e Outras atividades			
Consumo Ativo	0,39599000	0,29322000	0,68921000
Consumo Reativo Excedente		0,29322000	0,29322000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	1,03087000	0,46408000	1,49495000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,66148000	0,27769000	0,93917000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,29210000	0,27769000	0,56979000
B3 - Serviço Público de Água, Esgoto e Saneamento			
Consumo Ativo	0,39599000	0,29322000	0,68921000
Consumo Reativo Excedente		0,29322000	0,29322000
Consumo Ativo Ponta - Tarifa Branca	1,03087000	0,46408000	1,49495000
Consumo Ativo Intermediário - Tarifa Branca	0,66148000	0,27769000	0,93917000
Consumo Ativo Fora Ponta - Tarifa Branca	0,29210000	0,27769000	0,56979000
Iluminação Pública			
B4a- Rede de Distribuição			
Consumo Ativo	0,21779000	0,16127000	0,37906000
Consumo Reativo Excedente		0,29322000	0,29322000
B4b- Bulbo da Lâmpada			
Consumo Ativo	0,23759000	0,17593000	0,41352000
Consumo Reativo Excedente		0,29322000	0,29322000