



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS IV – CATOLÉ DO ROCHA – POLO SOUSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO  
DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA  
CIDADE DE SOUSA – PB: UM ESTUDO DE CASO**

**VICTOR PAZ MOREIRA**

**Sousa/PB  
2024**

**VICTOR PAZ MOREIRA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO  
DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA  
CIDADE DE SOUSA – PB: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Superior de Tecnologia em Energias Renováveis, pela Universidade Estadual da Paraíba, Sousa - PB.  
Área de concentração: Energia Solar Fotovoltaica.

**Orientador: Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres**

**Sousa/PB  
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M838a Moreira, Victor Paz.  
Análise de viabilidade de um sistema de microgeração distribuída fotovoltaica para uma residência unifamiliar na cidade de Sousa – PB [manuscrito] : um estudo de caso / Victor Paz Moreira. - 2024.  
54 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energias Renováveis) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2024.

"Orientação : Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres, Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energias Renováveis - CCHA. "

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Módulo fotovoltaico. 3. Dimensionamento. 4. Irradiância solar. I. Título

21. ed. CDD 621.47

**VICTOR PAZ MOREIRA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO  
DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA  
CIDADE DE SOUSA – PB: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Superior de Tecnologia em Energias Renováveis, pela Universidade Estadual da Paraíba, Sousa- PB.  
Área de concentração: Energia Solar Fotovoltaica.

Aprovado em: 19 de Junho de 2024

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres (ORIENTADOR)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof<sup>a</sup>. Ma. Gabrielly de Lucena Tiburtino.  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Thomas Tadeu de Oliveira Pereira  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Dedico esta monografia à minha família e a minha namorada por serem as pessoas mais importantes para mim, por ter me incentivado em todos os momentos e por me ensinarem os valores da vida: honestidade, humildade e amor.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, que me guiou durante este longo caminho e ajudou a realizar este sonho. Nos momentos mais difíceis foi onde pude encontrar força para continuar e persistir em busca dos meus objetivos.

Aos meus pais, Eva Paz e Virgoneto Moreira, aos meus queridos irmãos, Anna Vitória e Vinícius Paz, e a minha namorada Joyce de Oliveira, por sempre acreditarem em mim, e nos momentos que precisei, sempre estavam ao meu lado apoiando e me motivando a nunca desistir dos meus sonhos, obrigado por tudo.

A minha tia Rita Paz que sempre me incentivou, aos meus primos, Manassés Messias e David Wilker e ao meu amigo Marco Antônio, que me auxiliaram e ajudaram nos momentos de dúvidas.

A todas as pessoas da minha família que de forma direta e indireta contribuíram ao longo desta minha caminhada.

Aos meus colegas de curso, Renata Suele , Josué Ferreira, Francisco Carlos, Leonardo Alves, Igor Pereira, Caio Henrique, André Luis, Eric Alves, Maria Alice e Paula Sonaly, fui muito feliz ao lado de cada um de vocês, guardarei vocês nos melhores momentos da minha vida. Essa caminhada não seria a mesma sem vocês.

A todos os professores do curso de Tecnólogo em Sistemas de Energias Renováveis da Universidade Estadual da Paraíba, Polo Sousa, por todos os ensinamentos e dedicação, contribuindo dessa forma, para ampliar meus conhecimentos.

Ao meu orientador, professor Anderson Alberto Pinto Torres, por todas as orientações criteriosas, pelo empenho e estímulo.

A todos aqueles que, de algum modo, colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O consumo excessivo de energia elétrica levou a sociedade a buscar novas fontes de geração de energia limpa. A preocupação com a possível escassez de recursos no futuro tem promovido uma nova perspectiva sobre a vida no planeta. Nesse contexto, as energias renováveis emergem como uma opção viável para suprir as demandas energéticas, ao mesmo tempo em que evitam a exploração desenfreada dos recursos naturais. Objetivou-se, com esse trabalho, analisar a viabilidade de um sistema de microgeração fotovoltaica conectado a rede para uma residência unifamiliar na cidade de Sousa – PB, buscando gerar economia ao proprietário do imóvel. Para isso, foram observados todos os fatores indispensáveis para a sua implantação, como os dados de irradiância solar e consumo de energia da residência, para que assim, efetuar os cálculos necessários para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e do inversor que atenda ao sistema. Após a realização dos cálculos, foi realizada uma simulação da geração de energia fotovoltaica mensalmente durante um período de um ano, na qual se obteve resultados de produção bastante interessantes, que demonstram a viabilidade de implantação do sistema proposto.

**Palavras-Chave:** Energia Solar Fotovoltaica; Módulo fotovoltaico; Dimensionamento; Irradiância solar.

## **ABSTRACT**

Excessive consumption of electrical energy has led society to seek new sources of clean energy generation. Concern about the possible scarcity of resources in the future has promoted a new perspective on life on the planet. In this context, renewable energies emerge as a viable option to meet energy demands, while avoiding the unbridled exploitation of natural resources. The objective of this work was to analyze the feasibility of a grid-connected photovoltaic microgeneration system for a single-family residence in the city of Sousa – PB, seeking to generate savings for the property owner. To this end, all essential factors for its implementation were observed, such as solar irradiance data and energy consumption of the residence, in order to carry out the necessary calculations for the sizing of the photovoltaic modules and the inverter that serves the system. After carrying out the calculations, a simulation of photovoltaic energy generation was carried out monthly over a period of one year, in which very interesting production results were obtained, which demonstrate the feasibility of implementing the proposed system.

**Keywords:** Photovoltaic solar energy; Photovoltaic module; Sizing; Solar irradiance.

.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Corte transversal de uma célula fotovoltaica.....	19
<b>Figura 2</b> – Estrutura de uma célula fotovoltaica.....	20
<b>Figura 3</b> – Wafers de silício monocristalino.....	21
<b>Figura 4</b> – Wafers de silício monocristalino.....	21
<b>Figura 5</b> – – Célula fotovoltaica de silício monocristalino.....	22
<b>Figura 6</b> – Célula de silício amorfo ou filme fino.....	23
<b>Figura 7</b> – Célula de silício amorfo ou filme fino.....	24
<b>Figura 8</b> – Estrutura de um módulo fotovoltaico.....	25
<b>Figura 9</b> – Módulo fotovoltaico bifacial (frente e verso).....	25
<b>Figura 10</b> – Módulos conectados em série.....	26
<b>Figura 11</b> – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	26
<b>Figura 12</b> – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	27
<b>Figura 13</b> – Sistema isolado com armazenamento de energia.....	28
<b>Figura 14</b> – Sistema isolado sem armazenamento de energia.....	29
<b>Figura 15</b> – Etapas da pesquisa.....	29
<b>Figura 16</b> – Etapas da pesquisa.....	30
<b>Figura 17</b> – Localização da residência.....	31
<b>Figura 18</b> – Localização da residência.....	31
<b>Figura 19</b> – Irradiação solar média.....	34
<b>Figura 20</b> – Área disponível para instalação do projeto.....	35
<b>Figura 21</b> – Estrutura telhado duas águas.....	35
<b>Figura 22</b> – Página online – ATLAS SOLAR GLOBAL.....	40
<b>Figura 23</b> – Módulo fotovoltaico escolhido.....	43
<b>Figura 24</b> – Inversor solar Deye Sun-4k-G Mon220V.....	45
<b>Figura 25</b> – A – Chave seccionadora; B - DPS.....	46
<b>Figura 26</b> – C - Disjuntor; D- DPS.....	46

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> – Cálculo Média do Consumo Mensal.....	33
<b>Equação 2</b> – Cálculo da Potência de Pico do Sistema Fotovoltaico.....	36
<b>Equação 3</b> – Cálculo do Número de Painéis Necessários.....	37
<b>Equação 4</b> – Cálculo da Área do Módulo.....	37
<b>Equação 5</b> – Cálculo da Potência Total a ser Instalada.....	38
<b>Equação 6</b> – Cálculo da Potência do Inversor.....	38
<b>Equação 7</b> – Cálculo da Seção transversal do cabo CC.....	38
<b>Equação 8</b> – Cálculo da Seção transversal do cabo CA.....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Histórico do consumo de energia da residência.....	32
--	----

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 –</b> Projeção de geração de energia.....	47
--	----

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo geral .....	15
2.2 Objetivos específicos .....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
3.1 Energia solar fotovoltaica .....	16
3.2 Efeito fotovoltaico .....	17
3.3 Células fotovoltaicas .....	19
3.3.1 <i>Silício monocristalino</i> .....	20
3.3.2 <i>Silício policristalino</i> .....	22
3.3.3 <i>Silício amorfo</i> .....	23
3.4 Módulos fotovoltaicos .....	24
3.4.1 <i>Ligação em série</i> .....	26
3.4.2 <i>Ligação em paralelo</i> .....	26
3.5 Tecnologia de sistemas fotovoltaicos.....	27
3.5.1 <i>Sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica (on-grid)</i> .....	27
3.5.2 <i>Sistemas autônomos ou isolados com ou sem armazenamento (off-grid)</i> .....	28
3.5.3 <i>Sistemas híbridos</i> .....	29
4. METODOLOGIA.....	30
4.1 Descrição do local de estudo.....	31
4.2 Levantamento dos dados de consumo .....	32
4.3 Análise dos dados coletados .....	32
4.3.1 <i>Análise de consumo</i> .....	33
4.3.2 <i>Irradiação solar</i> .....	33
4.4 Levantamento técnico .....	34
4.4.1 <i>Área do telhado</i> .....	34
4.4.2 <i>Tipo de cobertura</i> .....	35
4.4.3 <i>Orientação em relação ao norte</i> .....	36
4.4.4 <i>Estudo de sombreamento</i> .....	36
4.5 Dimensionamento do sistema fotovoltaico .....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	41
5.1 Cálculos dos dados de consumo .....	41
5.2 Irradiação solar .....	41
5.3 Análise técnica .....	41
5.4 Cálculos para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	42

<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO I – FATURA DE ENERGIA DA RESIDÊNCIA .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO II – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO III – DATASHEET DO INVERSOR.....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A partir da segunda metade do século XX, com a 2ª Revolução Industrial, a energia elétrica foi incorporada como força para impulsionar o funcionamento das máquinas, desenvolver novas tecnologias e atender as demandas da sociedade. Com isso, a energia elétrica se tornou um importante insumo com capacidade de influenciar no crescimento econômico (Magalhães, 2009).

Parte da geração de energia elétrica, está ligada a combustíveis fósseis e a energia nuclear, fontes que emitem gases do efeito estufa e possuem matéria-prima limitada. Além disso, o aumento de consumo de energia elétrica e a necessidade de reduzir os impactos ao meio ambiente, levou a sociedade a procura de novas fontes de geração de energia limpa, que possuíssem matéria-prima inesgotável. Desse modo, as energias renováveis surgem como opção para atender as necessidades na área energética e a exploração de forma desenfreada dos recursos naturais (Martins, 2017).

Ainda segundo Martins (2017), a energia é um dos insumos fundamentais da infraestrutura para o progresso econômico do país e também de inclusão social, seja na esfera global, regional ou até mesmo em uma comunidade isolada. Levando em conta o crescimento do consumo e os impactos sociais e ambientais ocasionados pelas fontes convencionais de energia, conduzem governo e a sociedade a buscarem por medidas alternativas, através de fortes investimentos nas fontes renováveis de energia.

A partir desse entendimento, surge a discussão da relevância pela busca e utilização de novas fontes de geração de energia consideradas renováveis, com ênfase para as fontes que proporcionem o mínimo de impactos possíveis ao meio ambiente e a sociedade.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Propor um sistema de microgeração distribuída fotovoltaica para uma unidade consumidora residencial unifamiliar.

### 2.2 Objetivos específicos

- Apresentar um panorama geral sobre as características dos sistemas de energia solar fotovoltaica;
- Analisar a fatura de energia elétrica da residência;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico *on grid* que atenda ao perfil de consumo do usuário;
- Realizar simulação para estimar a geração de energia elétrica do sistema solar proposto;



### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico será abordado uma série de informações relevantes para o embasamento teórico do tema estudado.

#### 3.1 Energia solar fotovoltaica

O Sol pode ser considerado como um reator nuclear natural. Dele é disparado pequenas partículas de energia denominada fótons, que percorrem cerca de 149,6 milhões de quilômetros, para chegar até o nosso planeta, levando em torno de 8,5 minutos. A cada hora, o quantitativo de fótons que chegam a terra é capaz de produzir energia para atender a demanda de consumo de energia elétrica global por um período de um ano (Sunpower, 2017).

A energia oriunda do Sol é liberada a partir de reações termonucleares, quando quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio, ocorrendo à liberação de energia. Pressupõe-se que o Sol tenha uma reserva de hidrogênio que é suficiente para suprir as reações nucleares por cerca de 5 bilhões de anos (NASA, 2013).

O desenvolvimento de formas alternativas, nos modos de produção com perspectiva para a sustentabilidade, é um desafio desde a década de 1970, caracterizado pelo enfraquecimento do Fordismo e do Taylorismo como modelos predominantes. Nesta perspectiva, o desenvolvimento das energias renováveis torna-se um fator destaque para a sustentabilidade, no que se refere o tripé econômico, ambiental e social nas relações de produção de diferentes possibilidades (Villalva; Gazoli, 2012).

Dentre as fontes de energias renováveis, a energia solar fotovoltaica destaca-se, por reduzir a poluição do meio ambiente e por ser considerada uma fonte inesgotável. No que diz respeito às questões ambientais, pode-se deduzir que a tecnologia solar fotovoltaica não produz nenhum tipo de resíduo seja sólido, líquido ou gasoso durante a geração de eletricidade, como também não faz uso de recursos naturais esgotáveis, e nem emite ruídos. Com o desenvolvimento da tecnologia solar fotovoltaica é possível utilizar o inesgotável recurso solar, gerando eletricidade de maneira limpa, confiável e segura (Goldemberg; Paletta, 2012).

Os experimentos iniciais em relação ao tema ocorreram ainda no século XIX, em meados de 1839, quando Alexandre Edmond Becquerel, pesquisador, físico e

cientista francês, descobriu em meio aos seus experimentos, uma tensão elétrica que é resultado da incidência da luz em um eletrodo metálico mergulhado em uma solução de eletrólito.

Os cientistas ingleses William Adams e Richard Day, em 1877, observaram um efeito similar no selênio sólido, que é outro tipo de semicondutor. Já em 1905, Albert Einstein, demonstrou em sua pesquisa o efeito fotoelétrico, que apresenta uma estreita ligação com o efeito fotovoltaico, que em seguida lhe proporcionou o prêmio Nobel (Villalva; Gazoli, 2012).

Em 1877 foi desenvolvido o primeiro dispositivo fotovoltaico, a partir de um depósito com selênio sobre uma placa de ferro, que possuía uma fina camada de ouro. Porém, apenas em 1956, iniciou-se de fato a produção em escala industrial, acompanhando a evolução da eletrônica. De início, a baixa eficiência das placas solares e seu alto custo de produção tornaram essa tecnologia inacessível à população. Com isso, até as décadas de 50 e 60, seu uso foi limitado a aplicações para fins militares, como em satélites artificiais norte-americanos e russos (PERLIN, 1999).

Com relação as médias anuais de radiação solar global, em várias regiões do Brasil, são maiores que boa parte dos países europeus, como Espanha, França e Alemanha. No entanto, pelo mundo existe vários projetos incentivados por diversos governos, como o Programa Cem Mil Telhados (Hundert Tausend Dächer Programme), na Alemanha e em outros países pelo mundo; os Estados Unidos, com o Programa Um milhão de Telhados (A Million Roofs Program); e no Japão com a Lei de Incentivo as Energias Renováveis com uma tarifa diferenciada para a geração solar (Jardim, 2007).

Para Santos (2019), foi apenas em 2012 que a instalação destes sistemas passaram a ser mais viáveis, em razão da Resolução Normativa 482 publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em abril de 2012, onde definiu as regras para a criação do Sistema de Compensação de Energia, estabelecendo que os sistemas de mini e microgeração de energia possam injetar na rede da concessionária de energia o excedente produzido, ganhando créditos para diminuir os custos com o consumo de energia elétrica.

### **3.2 Efeito fotovoltaico**

Segundo Imhoff (2007), a energia solar fotovoltaica apresenta, como definição,

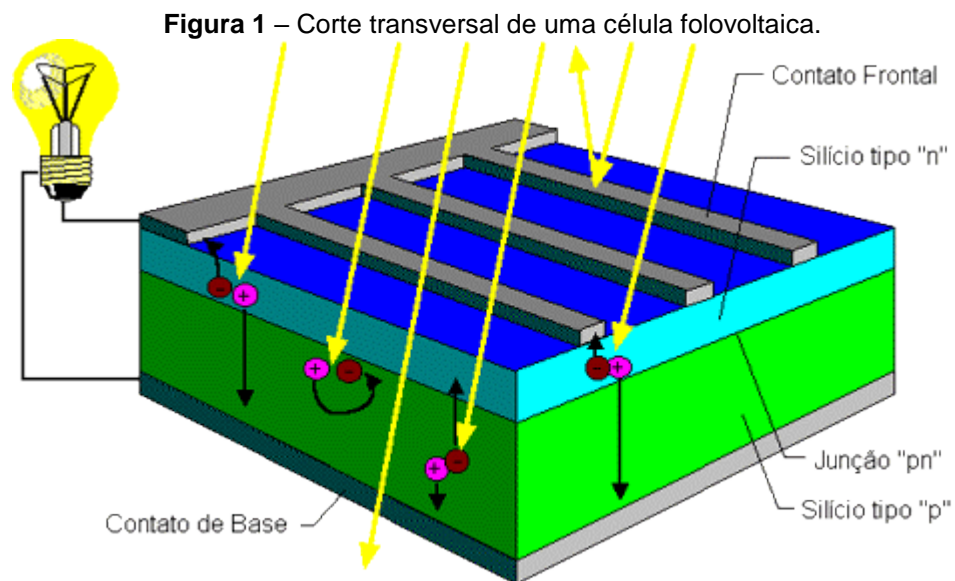
ser a energia gerada por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Esse fenômeno ocorre através de um dispositivo denominado célula fotovoltaica que utiliza o princípio do efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico no qual possibilita a conversão direta da luz em eletricidade, esse fenômeno se dá quando a luz, ou a radiação eletromagnética proveniente do sol, incide sobre a célula fotovoltaica que é formada, por materiais semicondutores que apresentam propriedades específicas. (Villalva, 2017).

De acordo com o CRESEB (2014), os semicondutores são caracterizados por apresentar bandas de valências ocupadas por elétrons e bandas de condução completamente “vazias”, elementos como silício e germânio são exemplos de materiais semicondutores que contêm quatro elétrons de valência que estão ligados a outros átomos por meio de uma ligação do tipo covalente, que apesar de ser uma ligação mais forte que o elétron de valência tem com o átomo, esses podem ganhar energia suficiente e admitir o estado considerado “livre”.

O semicondutor mais utilizado é o silício, e quando adicionado na sua estrutura um átomo com cinco elétrons na camada de valência, como por exemplo, o fósforo, um elétron fica em excesso e não será possível o emparelhamento, pois o mesmo ficara “sobrando”, dessa forma, o elétron precisa de pouca energia para se desprender e migrar para a banda de condução. É devido a essas características que o fosforo é um doador de elétrons chamado de dopante n (Fadigas, 2016).

Ainda segundo o mesmo autor, adicionando um átomo de boro que possui três elétrons na camada de valência, ao tentar fazer ligações com o silício, faltam elétrons para atender as ligações criando lacunas, por essas características é chamado de aceitador de elétrons ou dopante p. Com a adição de uma pequena quantidade de energia essas lacunas são preenchidas, e forma-se o que chamamos de junção pn, que ocorre quando a inserção de átomos de boro de um lado e átomos de fósforo do outro em uma placa de silício, como mostrado na Figura 1.



Fonte: CRESESB, 2008.

Na junção pn os elétrons que estão livres no lado n migram para o lado p onde são capturados pelas lacunas presentes. Diante disso, no lado p forma-se um acúmulo de elétrons, fazendo com que sejam negativamente carregados e ocorra uma diminuição de elétrons do lado n, que os torna eletricamente positivos. Desta maneira as cargas capturadas formam um campo elétrico efetivo que impede que mais elétrons do lado n passem para o lado p atingindo o equilíbrio (Fadigas, 2016).

De acordo com o CRESESB (2008), se a junção pn for exposta a fótons que portam energia maior que o *gap*, que existe entre as bandas de condução e valência, é gerado pares elétron-lacuna. Como o valor do campo elétrico é diferente de zero na região, em virtude do acúmulo de elétrons em um lado, é gerada uma corrente através da junção em razão do aceleração das cargas. E esse deslocamento das cargas cria uma diferença de potencial, que quando conectadas por um fio as extremidades do silício explicam como ocorre o efeito fotovoltaico.

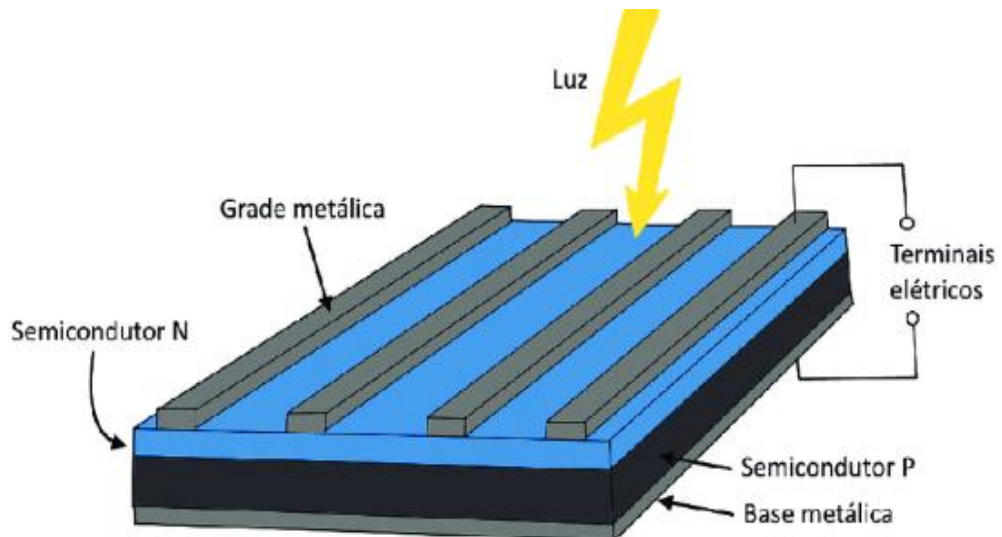
### 3.3 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são dispositivos responsáveis por absorver e converter a luz solar em eletricidade, para isso, é preciso ter um material semiconductor que seja capaz de aumentar o estado energético dos elétrons na presença da radiação solar, utilizando o princípio do efeito fotovoltaico (Callou,

2018).

A estrutura de uma célula fotovoltaica é formada por duas camadas de material semicondutor do tipo p e n, na parte de cima desse material existe uma grade metálica e na parte de baixo uma base metálica, que são os terminais elétricos, que possuem a finalidade de coletar a corrente elétrica gerada pela ação dos raios solares. Na parte de baixo da base, é formada por película de prata ou alumínio, já na parte superior que recebe os raios do sol, tem necessidade de ser translúcida, para que a luz solar penetre no material, mostrado na Figura 2. Por esse motivo, os contatos elétricos apresentam a forma de uma fina grade metálica. (Rocha; Assunção, 2020).

**Figura 2** – Estrutura de uma célula fotovoltaica.



**Fonte:** ResearchGate, 2019.

Atualmente existem várias tecnologias para se fabricar as células fotovoltaicas, na qual as mais encontradas no mercado são as de silício monocristalino, silício policristalino e silício amorfo.

### **3.3.1 Silício monocristalino**

O processo de fabricação das células de silício monocristalinas tem início com aquecimento do cristal de dióxido de silício, com alto grau de pureza, em elevadas temperaturas, o produto resultante desse processo é o lingote de silício monocristalino (Rocha; Assunção, 2020). A Figura 3, ilustra o resultado do processo.

**Figura 3** – Lingote de silício monocristalino



**Fonte:** ResearchGate, 2018.

Ainda segundo esses autores, após esse processo os lingotes são serrados e fatiados para produzir “*wafers*” (Figura 4), que são finas bolachas de silício puro, nesta fase os wafers ainda não apresentam propriedades de uma célula fotovoltaica.

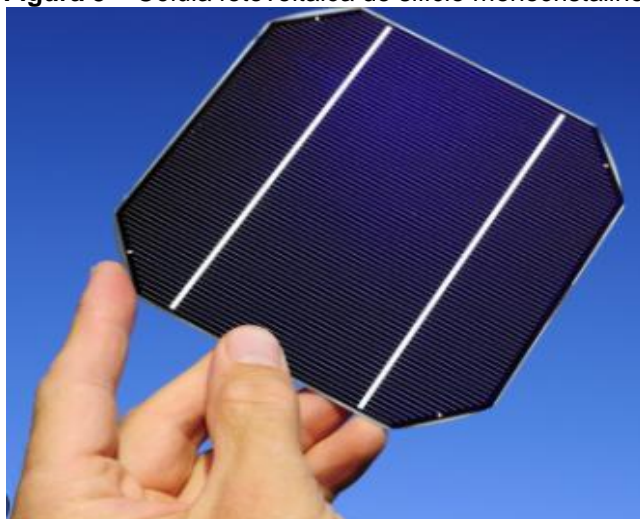
**Figura 4** – Wafers de silício monocristalino.



**Fonte:** Portal Solar, 2018.

Segundo Villalva (2017), esse *wafers* passam por processos químicos onde recebem impurezas nas duas faces, criando as camadas de silício p e n que são fundamentais para o funcionamento das células fotovoltaicas. Por fim, a célula semi acabada ganha uma película metálica em um dos lados das faces, a outra face recebe uma grade metálica e na face que irá receber os raios solares é aplicada uma camada de material anti reflexivo. O resultado final desse processo é a célula fotovoltaica monocristalina (Figura 5).

**Figura 5** – Célula fotovoltaica de silício monocristalino.



**Fonte:** Blue Sol, 2023.

O mesmo autor ainda explica que essas células apresentam uma eficiência em torno de 15% a 18%. No entanto, tem um custo de fabricação maior do que outros tipos de células, caracterizam-se por serem rígidas e quebradiças, que necessitam ser montadas nos módulos para obter resistência mecânica para seu uso.

### **3.3.2 Silício policristalino**

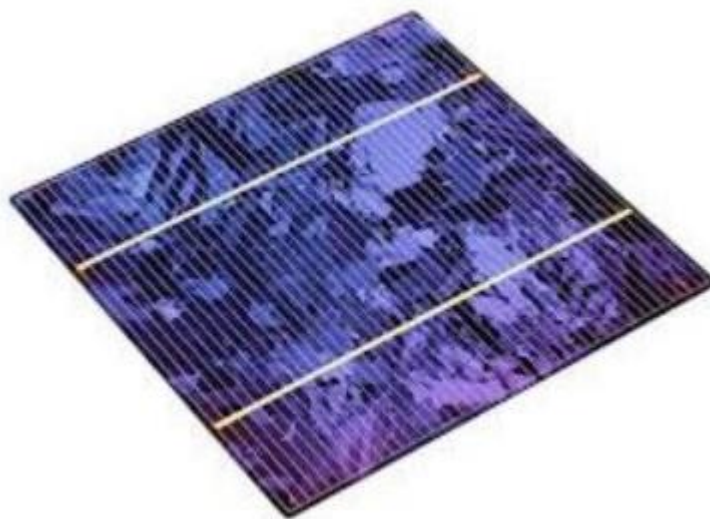
O silício policristalino possui menor eficiência de conversão, entretanto apresenta como vantagem um custo de produção menor, devido sua fabricação não exigir um processo de preparação das células muito rigoroso quando comparadas as células monocristalinas, por envolver processos mais simples, com um menor consumo de energia e com menor rigor quanto a impurezas (Peroza, 2015).

Ainda de acordo com esse mesmo autor, o material utilizado na fabricação das células policristalinas é o mesmo usado nas monocristalinas. No caso das policristalinas, o silício passa por um processo de fundição e logo em sequência e solidificado, resultando em um bloco formado por um aglomerado de cristais, apresentando tamanhos e orientações diferentes, no entorno dos quais se concentram as impurezas que fazem com que este material tenha uma eficiência menor em comparação as monocristalinas, em relação à conversão fotovoltaica.

Segundo Ruther (2004) são aspectos como esses que fazem uma célula fotovoltaica policristalina possuir diferentes estruturas, imperfeições, dessa forma não tornando-a um material monocolor como as monocristalinas. A Figura 6

demonstra uma célula fotovoltaica de silício policristalino.

**Figura 6** – Célula fotovoltaica de silício policristalino.



**Fonte:** Canal Solar, 2019.

Apresentando eficiências comerciais entre 13% a 15%, são relativamente inferiores as monocristalinas, no entanto, por possuírem um custo de fabricação menor podem se tornar mais vantajosa economicamente a depender do dimensionamento e do projeto do sistema fotovoltaico (Paiva, 2019).

### **3.3.3 Silício amorfo**

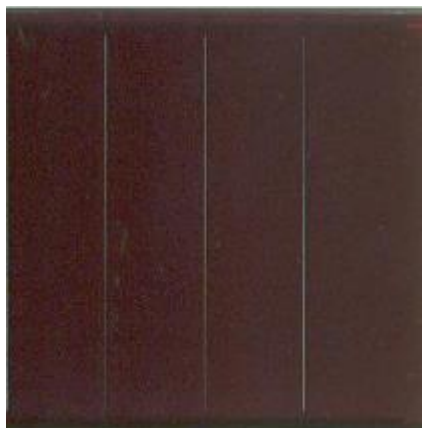
A célula de silício amorfo, é diferente das demais estruturas cristalinas por apresentar um elevado grau de desordem nas estruturas dos átomos. A utilização do silício amorfo nas células fotovoltaicas vem apresentando grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação.

Apresentando uma absorção de radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado através da deposição de diferentes tipos de substratos, o silício amorfo vem demonstrando uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo.

Mesmo possuindo um baixo custo na sua produção, seu uso apresenta algumas desvantagens, como a baixa eficiência de conversão quando comparada às células mono e policristalinas de silício, e pelas células serem afetadas por um processo de degradação nos primeiros meses de operação (Figura 7), o que reduz sua eficiência e a vida útil das células (CRESESB, 2017).



**Figura 7** – Célula de silício amorfo ou filme fino.



Fonte: SENAI-PB, 2015.

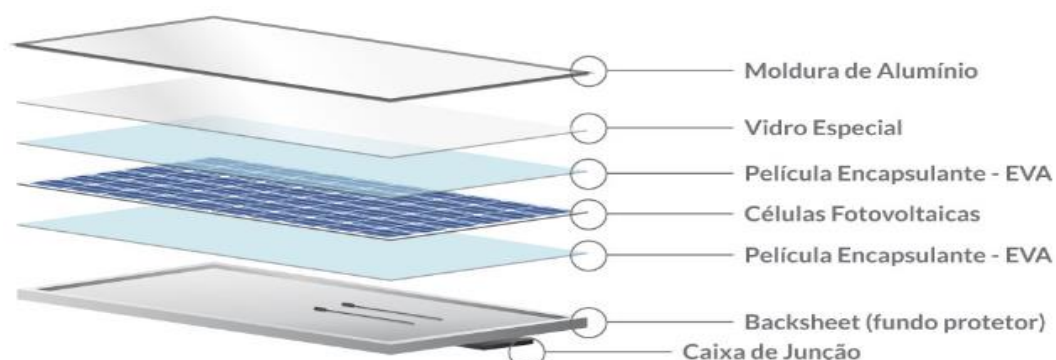
### 3.4 Módulos fotovoltaicos

Segundo a ABNT NBR 10899 (2013), o módulo fotovoltaico compreende a unidade básica de um sistema fotovoltaico. É composto por um conjunto de células fotovoltaicas que são encapsuladas e interligadas eletricamente, objetivando gerar energia. Essas células que formam os módulos fotovoltaicos são constituídas por materiais semicondutores que geram energia por meio do efeito fotovoltaico.

Um módulo fotovoltaico pode ser formado por 36 a 72 células fotovoltaicas, produzidas geralmente por silício. O número de células conectadas no módulo e o arranjo que será colocado vão depender da corrente elétrica e da tensão de utilização desejada (Marcelo, 2021).

Várias células fotovoltaicas ligadas em série e paralelo compõem o módulo fotovoltaico ou painel fotovoltaico, onde encapsula essas células por meio de: uma moldura de alumínio, que proporciona ao conjunto resistência mecânica; um vidro especial, devido ter características de impermeabilidade a água, gases e uma alta transparência e facilidade de limpeza; película encapsulante, que é um material usado para proteger as células fotovoltaicas contra o desgaste causado pelos raios UV, temperaturas extremas e umidade; o backsheet, que tem a função de proteger os componentes internos do módulo fotovoltaico, em especial as células fotovoltaicas; e a caixa de junção onde se encontra os terminais para a conexão elétrica do módulo (Rocha; Assunção, 2020). Na Figura 8, verifica-se a estrutura do módulo fotovoltaico.

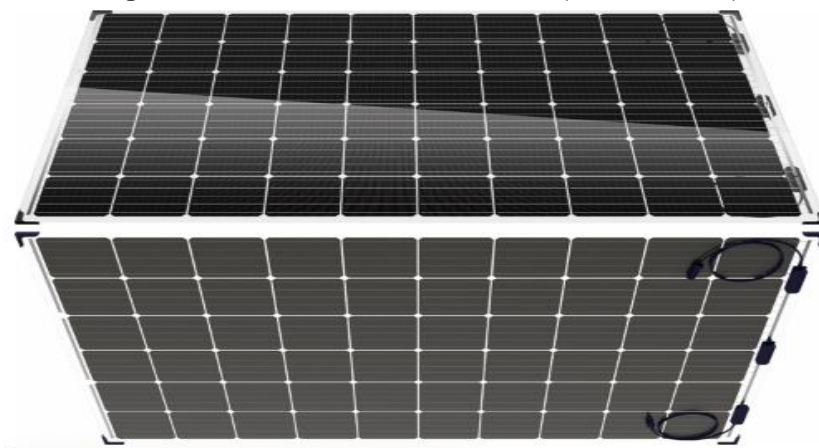
**Figura 8** – Estrutura de um módulo fotovoltaico.



**Fonte:** Energeasy Solar, 2020.

Buscando aumentar ainda mais a geração de energia, diversos fabricantes passaram a disponibilizar no mercado módulos fotovoltaicos bifaciais que apresentam células fotovoltaicas com duas faces capazes de absorver radiação solar (Figura 9). A tecnologia usada nesses painéis se baseia no efeito albedo, na qual a luz solar refletida pelo solo ou por outra superfície é absorvida pelas células na parte traseira do módulo (Rocha; Assunção, 2020).

**Figura 9** – Módulo fotovoltaico bifacial (frente e verso).



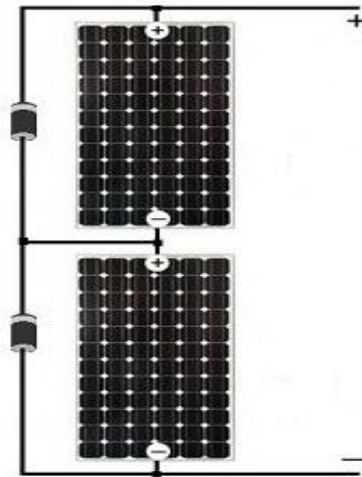
**Fonte:** Canal Solar, 2019.

Segundo Villalva (2017), os módulos bifaciais proporcionam um aumento de eficiência quando comparado aos módulos convencionais de até 30%, entretanto, este aumento na eficiência depende de alguns fatores, como do modo de instalação (ângulo de inclinação, altura do solo) e também do tipo de superfície onde será instalada.

### 3.4.1 Ligação em série

A combinação de módulos fotovoltaicos associados em série faz com que o valor da tensão aumente enquanto o valor da corrente não é afetado. Na ligação em série, o terminal positivo de um módulo é conectado ao terminal negativo do outro módulo (Figura 10). Quando dois ou mais módulos estão conectados dessa forma, são chamados de “*String Série*” (CRESESB, 2014).

Figura 10 – Módulos conectados em série.

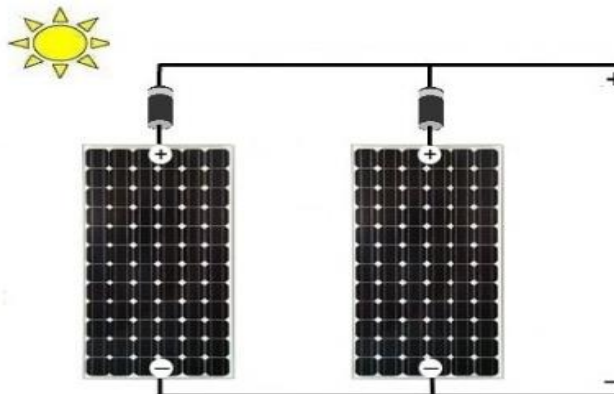


Fonte: Mppt Solar, 2023.

### 3.4.2 Ligação em paralelo

Diferentemente da ligação em série, quando os módulos fotovoltaicos são associados em paralelo, o valor da corrente aumenta enquanto o valor da tensão não é alterado. Na ligação em paralelo, os terminais positivos de todos os módulos são conectados e da mesma forma com os terminais negativos (Figura 11) (CRESESB, 2014).

Figura 11 – Módulos conectados em paralelo.



Fonte: Mppt Solar, 2023.

### 3.5 Tecnologia de sistemas fotovoltaicos

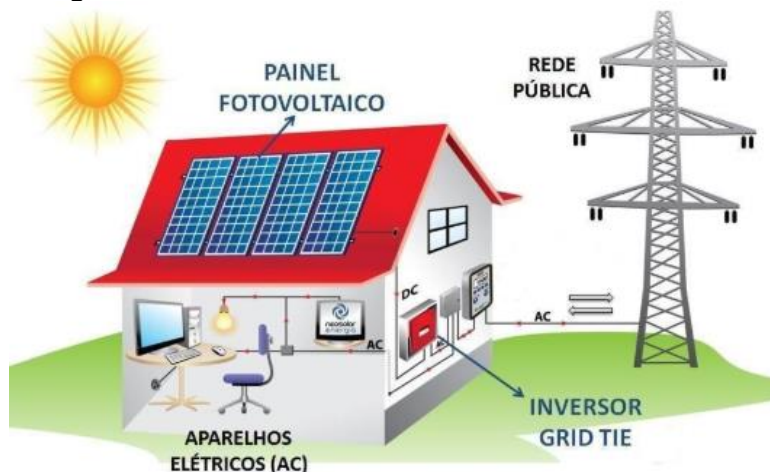
Segundo Pereira e Oliveira (2015), os sistemas fotovoltaicos podem ser utilizados em diferentes finalidades. Há três tipos de sistemas fotovoltaicos que podem ser empregados para geração de energia: os sistemas conectados à rede (*on-grid*), os sistemas autônomos ou isolados, com e sem armazenamento de energia (*off-grid*), e os sistemas híbridos. Cada um desses sistemas apresentam diferentes vantagens conforme sua aplicação, local ou ambiente onde será implantado para geração de energia.

#### 3.5.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica (*on-grid*)

O sistema on-grid é um tipo de sistema conectado à rede elétrica (Figura 12). Desse modo, caso ocorra uma geração excedente de energia elétrica (geração maior que o consumo) esse sistema conectado a rede permite que o excedente seja escoado para a rede da concessionária, gerando créditos ao consumidor que possui geração própria.

Quando a energia gerada pelo sistema não for suficiente para suprir a demanda da instalação, a rede da concessionária irá compensar esta falta. Para isso, é necessário instalar um inversor para converter a corrente, uma vez que a corrente que é gerada pelos módulos fotovoltaicos é em corrente contínua (CC), e a que é injetada na rede da concessionária, é em corrente alternada (CA) (Gonçalves; Lucena; Nascimento, 2018).

**Figura 12** – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.



Fonte: NeoSolar, 2022.

### 3.5.2 Sistemas autônomos ou isolados com ou sem armazenamento (off-grid)

Os sistemas isolados com armazenamento de energia (Figura 13) são compostos pelos módulos fotovoltaicos que geram energia quando recebe a incidência dos raios do sol. Essa energia gerada passa pelo controlador de carga, que é responsável pelo monitoramento dos níveis de carga e descarga das baterias, em seguida essa energia gerada vai para as baterias, que por sua vez ficam responsáveis pelo seu armazenamento.

Por último, a energia é entregue ao inversor, onde transforma a energia vinda dos módulos, corrente contínua (CC), em corrente alternada (CA), alimentando assim as cargas (Santos, 2019).

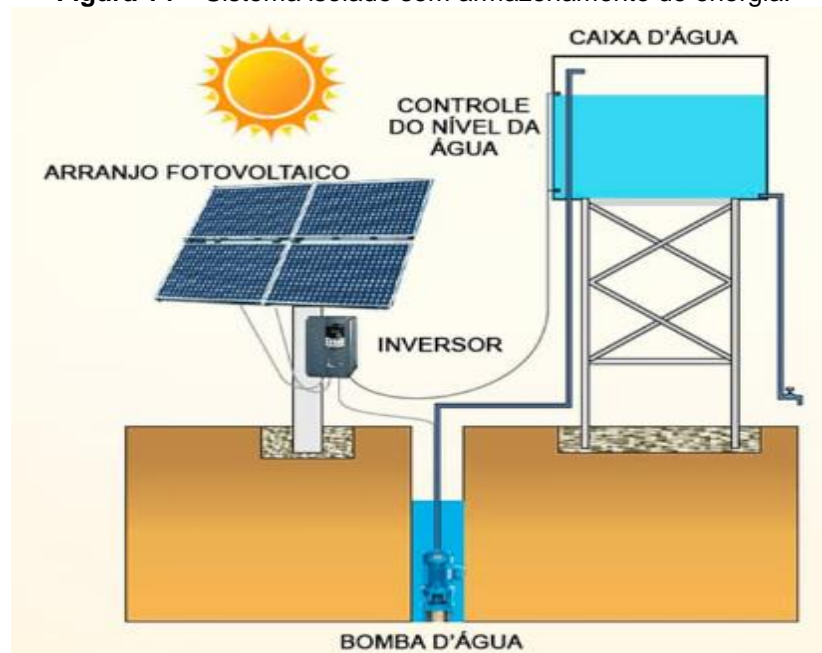
**Figura 13** – Sistema isolado com armazenamento de energia.



**Fonte:** EnergySolver, 2022.

Ainda segundo o mesmo autor, os sistemas isolados sem armazenamento de energia podem ser considerados mais vantajosos quando comparado aos sistemas isolados com armazenamento de energia. É composto basicamente pelos mesmos equipamentos, porém não utiliza baterias, pois a energia gerada é diretamente consumida pela carga, o que torna o sistema mais barato. A Figura 14 mostra uma das aplicações desse sistema, sendo utilizado para bombeamento de água.

**Figura 14** – Sistema isolado sem armazenamento de energia.

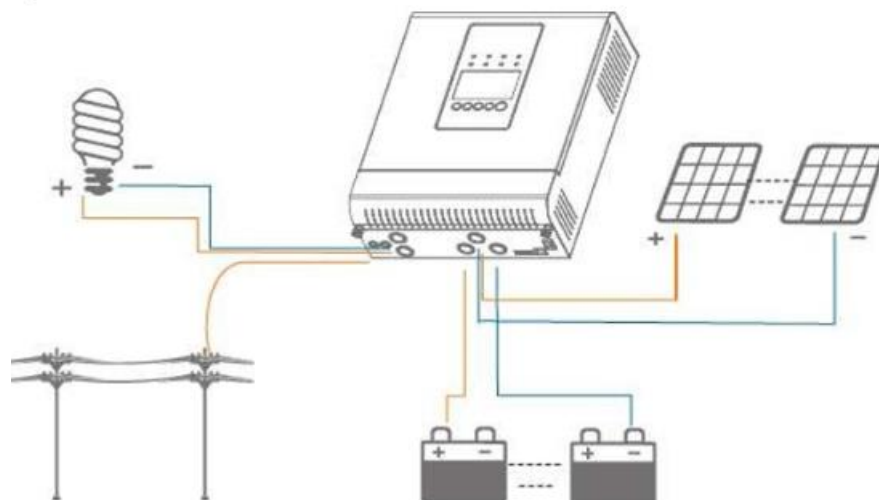


Fonte: ISOVOLT, 2022.

### 3.5.3 Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos são formados pela combinação de sistemas *on grid* e *off grid*, como por exemplo, utilização de um sistema fotovoltaico com armazenamento e interligado à rede da concessionária (Figura 15), na qual a energia gerada pode ser armazenada nas baterias ou injetada na rede da empresa de energia. (Pinho; Galdino, 2014).

**Figura 15** – Sistema Híbrido.



Fonte: NeoSolar, 2024.

#### 4. METODOLOGIA

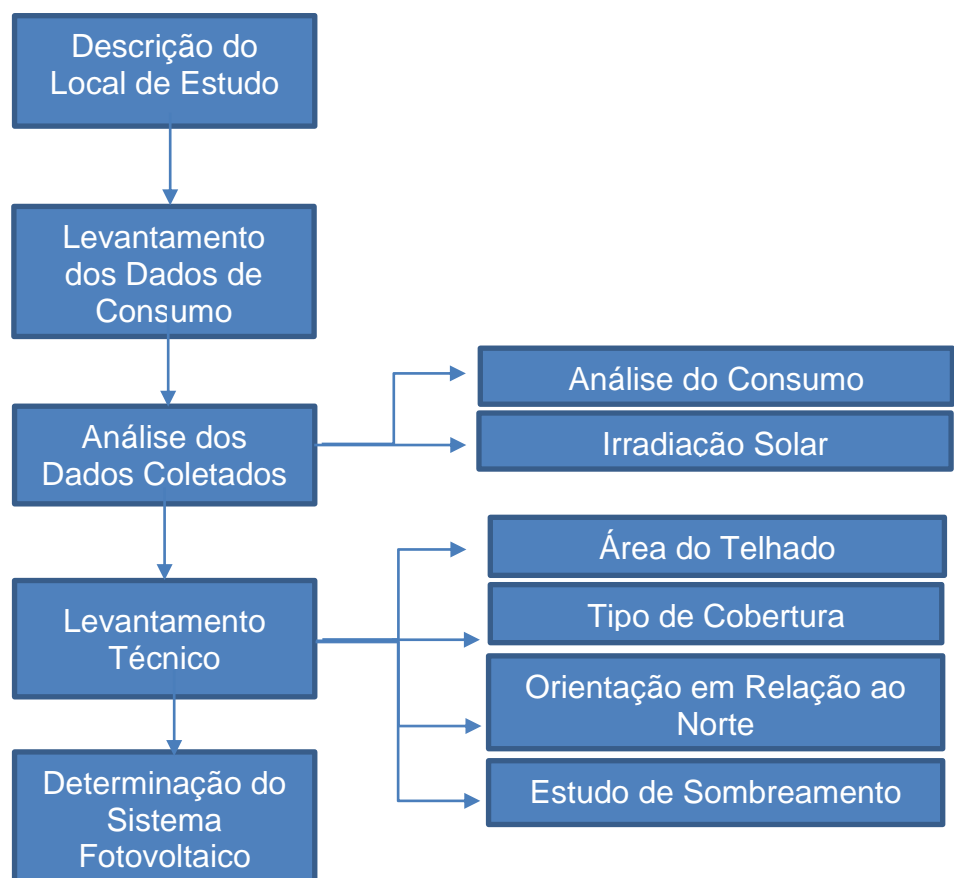
Para a realização deste trabalho, foi necessário realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia elétrica da ENERGISA, onde foi considerada a média de consumo de energia elétrica de uma residência unifamiliar.

Dentre os diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos, foi escolhido o sistema on grid, por dispensar a utilização de baterias, resultando na redução de custos, como também no aproveitamento do excedente de energia, gerando créditos com a concessionária.

Dessa forma, foi realizado o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, definido a quantidade necessária, levando em consideração as necessidades da unidade consumidora analisada. Assim também, foi analisado e adequadamente calculado o tipo de inversor que melhor atende ao sistema dimensionado.

A pesquisa seguiu as etapas mostradas na Figura 16:

**Figura 16** - Etapas da pesquisa.



**Fonte:** Autor, 2023.

#### 4.1 Descrição do local de estudo

A área de estudo escolhida é uma residência unifamiliar localizada na cidade de Sousa – PB (Figura 17), que fica situada na região oeste da Paraíba, distante 438 quilômetros da capital do Estado, João Pessoa. De acordo com o último censo de 2022 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sousa – PB tem uma população de 67.259 habitantes, possui uma densidade demográfica de 92,33 hab/km<sup>2</sup>, um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM médio de 0,668 e uma área territorial de 728,492 km<sup>2</sup>.

**Figura 17** - Localização do município de Sousa na Paraíba.



**Fonte:** Atlas Geográfico do Estado da Paraíba, 2010.

A residência fica localizada no bairro do Centro, com coordenadas geográficas na latitude 6°45'27"S e longitude 38°13'47"O (Figura 18).

**Figura 18** – Localização da residência.



**Fonte:** Google Earth (adaptado pelo autor), 2023.



A escolha dessa residência como objeto de estudo, dá-se pelo fato da mesma possuir um consumo de energia elétrica considerado, na qual despertou interesse para o dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede

#### 4.2 Levantamento dos dados de consumo

De início, foi solicitado ao proprietário a fatura da conta de energia da residência (Anexo I), a fim de analisar o consumo mensal da unidade consumidora, para posteriormente ser estimado a média anual de consumo. Os meses que foram analisados são referente ao período ano 2023/2024, como pode ser visto na Tabela 1.

**Tabela 1:** Histórico do consumo de energia da residência.

<b>Mês</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Abril (2023)	533
Maio (2023)	580
Junho (2023)	520
Julho (2023)	491
Agosto (2023)	525
Setembro (2023)	750
Outubro (2023)	713
Novembro (2023)	838
Dezembro (2023)	939
Janeiro (2024)	867
Fevereiro (2024)	781
Março (2024)	675

Fonte: Autor, 2024.

#### 4.3 Análise dos dados coletados

Com os dados em mãos, foram coletados os valores correspondentes à demanda do consumo, a fim de encontrar as médias de consumo, que serviram de base para os cálculos do dimensionamento.

### 4.3.1 *Análise de consumo*

A partir do levantamento dos dados de consumo apresentados na tabela anterior, foi calculada a média do consumo mensal (Equação 1), realizada por meio da média aritmética entre os valores de consumo dos meses de março de 2023 a março de 2024, onde foi encontrado o valor da média em quilowatts-hora (kWh) que foi levado em consideração para o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico.

$$M_{cm} = \frac{\sum \text{do consumo dos meses}}{12} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$M_{cm}$  - Média do consumo mensal (kWh);

$\sum$  - Somatório do consumo dos meses (kWh);

Foi considerada a taxa de disponibilidade de 30 kWh referente ao padrão monofásico, para dar uma margem de segurança de produção uma vez que em alguns meses o consumo ultrapassou a média.

### 4.3.2 *Irradiação solar*

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário que seja determinado às coordenadas geográficas do local onde o sistema solar será instalado. Para obter esses dados foi utilizado o programa Google Earth, que fornece a latitude e a longitude do local.

Para a cidade de Sousa, as coordenadas encontradas foram às citadas anteriormente. A partir destes dados, utilizou-se o sistema de banco de dados do Solargis do software ATLAS SOLAR GLOBAL (SWERA), que disponibiliza uma página online, na qual foram inseridos os dados de latitude e longitude e obteve-se a irradiação solar mensal e a média obtida de irradiação solar, para a cidade de Sousa (kWh/m<sup>2</sup>.dia). Como mostrado na Figura 19.

**Figura 19:** Irradiação solar média.

Fonte: Solargis, 2024.

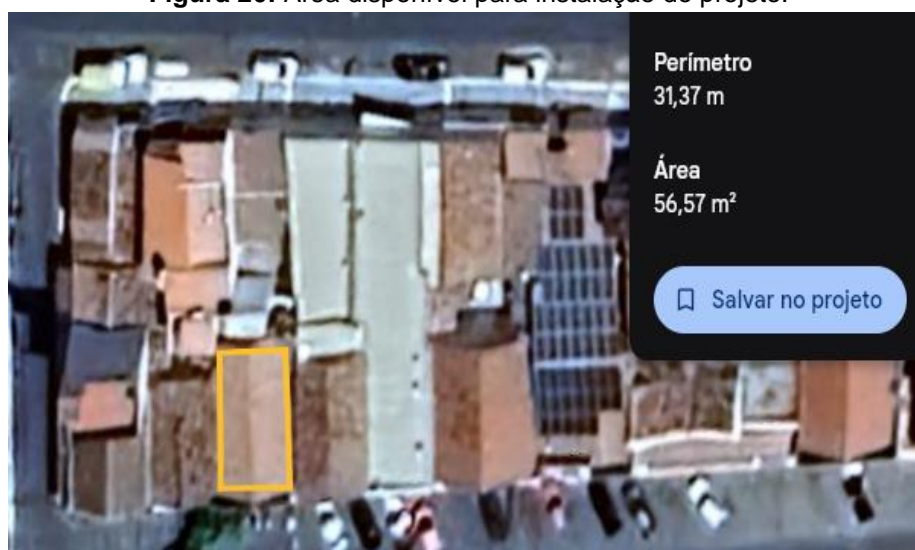
#### 4.4 Levantamento técnico

Antes de iniciar de fato o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico algumas variáveis foram observadas nesta etapa, pois as mesmas exercem grande influência no cálculo do dimensionamento quanto no funcionamento do sistema, como as descritas a seguir.

##### 4.4.1 Área do telhado

A área do telhado, que compreende o espaço disponível para instalação do projeto, trata-se de um fator importante e essencial para se chegar à quantidade de módulos fotovoltaicos possíveis de distribuir ao longo desse espaço (Figura 20).

**Figura 20:** Área disponível para instalação do projeto.



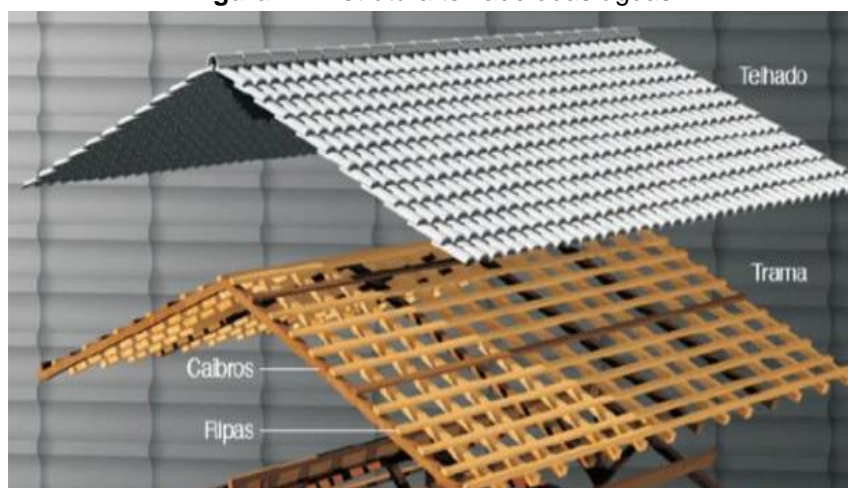
**Fonte:** Google Earth (adaptado pelo autor), 2024.

Para garantir uma margem de segurança, como a área não foi estimada com equipamentos sofisticados, como por exemplo drones, foi levado em consideração um fator de ocupação de 70%, garantindo assim uma ocupação mais real.

#### **4.4.2 Tipo de cobertura**

O telhado da residência em estudo tem toda a sua estrutura em madeira, é formado por telhas do tipo colonial e é classificado como um telhado de “duas águas” (Figura 21). A angulação dos módulos fotovoltaicos seguirá a mesma angulação já existente no telhado, que é de 20°.

**Figura 21:** Estrutura telhado duas águas.



**Fonte:** Fitec Company, 2024.

#### **4.4.3 Orientação em relação ao norte**

A melhor posição para a instalação dos módulos fotovoltaicos é voltada para o norte. Segundo Villalva (2017), esta posição de instalá-los melhora o aproveitamento dos raios solares ao longo do dia, pois ocorre incidência da luz solar sobre os módulos durante todo o dia, com o valor máximo no horário do meio dia. O norte foi observado com o auxílio do programa Google Earth.

#### **4.4.4 Estudo de sombreamento**

Outro fator importante que foi observado durante essa etapa, foi à existência de obstáculos, por exemplo, construções altas como prédios, antenas ou árvores localizados no entorno da residência, o que impacta diretamente na geração de energia fotovoltaica, influenciando o rendimento do sistema.

### **4.5 Dimensionamento do sistema fotovoltaico**

Para a realização do dimensionamento, de início, foi necessário coletar algumas variáveis como: as coordenadas geográficas; área disponível para uso; inclinação e orientação do telhado; e a irradiação solar média. Além disso, foi calculado o consumo médio mensal a ser atendido, feito através da análise do consumo presente na fatura de energia, como já descrito anteriormente.

Com essas variáveis encontradas, foi necessário realizar o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico ( $P_{fv}$ ) (Equação 2). Todo o processo de dimensionamento foi baseado no trabalho de Pinho e Galdino (2014). Para esse cálculo foi estabelecido o valor de 80% para a taxa de desempenho do sistema, que leva em consideração possíveis perdas do sistema fotovoltaico, como sujeira, sombreamento sobre os módulos fotovoltaicos, temperatura, eficiência do inversor dentre outras variáveis. Além disso, a irradiância considerada é de  $1\text{kW/m}^2$ .

$$P_{fv} = \frac{E}{TD} \cdot HSP_{ma}$$

Equação 2

Onde:

Pfv- Potência de pico do sistema fotovoltaico (kWp);

E- Consumo médio mensal (kWh);

TD – Taxa de desempenho do sistema (adimensional);

HSPma- Horas de sol pleno diário em média (kWh/m<sup>2</sup>);

Com o valor da potência de pico do sistema fotovoltaico encontrada, foi escolhido o tipo de módulo fotovoltaico, e a partir das suas especificações foi possível realizar o cálculo da quantidade de módulos necessários para atender a geração de energia do sistema, a quantidade de módulos fotovoltaicos é obtida por meio da Equação 3.

$$N_{pfv} = \frac{P_{fv}}{P_n} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Np<sub>fv</sub> – Número de painéis necessários;

Pfv – Potência de pico do sistema fotovoltaico (Wp);

P<sub>n</sub> – Potência nominal do módulo (Wp);

Com a quantidade de módulos encontrada, é possível encontrar a área ocupada por cada módulo no telhado da residência, para isso basta multiplicar o comprimento pela largura (Equação 4), logo:

$$\text{Área do módulo (m}^2\text{)} = \text{comprimento} \times \text{largura}; \quad \text{Equação 4}$$

Conhecendo a área ocupada por cada módulo, é possível calcular o número máximo de módulos que podem ser instalados, para isso, basta dividir o valor da área disponível no telhado pela área de cada módulo.

Após calcular o valor da potência do sistema foi realizada a escolha do inversor. Para isso, é necessário que o inversor possua uma capacidade adequada para o sistema, podendo ser igual ou superior a potência de pico do sistema.

Para encontrar a potência do inversor e preciso antes conhecer a potência instalada do sistema, determinada a partir da multiplicação do número de módulos

fotovoltaicos pela sua potência nominal, conforme Equação 5.

$$P_{inst} = N^{\circ} \text{ de módulos} \times P_n \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$P_{inst}$  – Potência total a ser instalada (kW);

$N^{\circ}$  de módulos – Quantidade de módulos usados no sistema;

$P_n$  – Potência nominal do módulo (W);

A potência de demanda precisa ser igual ou menor que potência máxima do inversor. Para o seu dimensionamento foi utilizada a Equação 6, que indica como calcular a potência do inversor, que deve ter um fator de desempenho entre 70% e 120% da potência do sistema fotovoltaico.

$$0,7 \times P_{inst} < P_{inv} < 1,2 \times P_{inst} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$P_{inst}$  – Potência do sistema (kW);

$P_{inv}$  – Potência do inversor (kW);

Em seguida foram dimensionados os cabos, disjuntores e dispositivos de proteção contra surto (DPS), tanto para a parte de corrente contínua como da parte de corrente alternada, que foi baseada no livro da Eleksolar Innovations (2018), foi considerado para esses cálculos a temperatura ambiente de 25° C.

Para os cabos da parte de corrente contínua (CC) segundo a NBR 16690 - Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos – Requisitos de Projeto (2020), estima-se uma queda de tensão de 2%, e a seção transversal do cabo foi calculada através da Equação 7.

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \sigma}{V \times \Delta V} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

S - Seção transversal do cabo (mm<sup>2</sup>);

L - Comprimento do condutor (m);

I - Corrente de curto circuito do módulo (A);

V – Tensão máxima do módulo (V);

$\Delta V$  – Queda de tensão (%);

$\sigma$  - Condutividade elétrica do material condutor;

Já para os cabos da parte de corrente alternada (CA), ainda segundo a NBR 5410, estima-se uma queda de tensão de 4%, e a seção transversal do cabo foi calculada através da Equação 8.

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \sigma}{V \times \Delta V} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

S - Seção transversal do cabo (mm<sup>2</sup>);

L - Comprimento do condutor (m);

I – Corrente máxima de saída do inversor (A);

V – Tensão de operação do módulo(V);

$\Delta V$  – Queda de tensão (%);

$\sigma$  - Condutividade elétrica do material condutor;

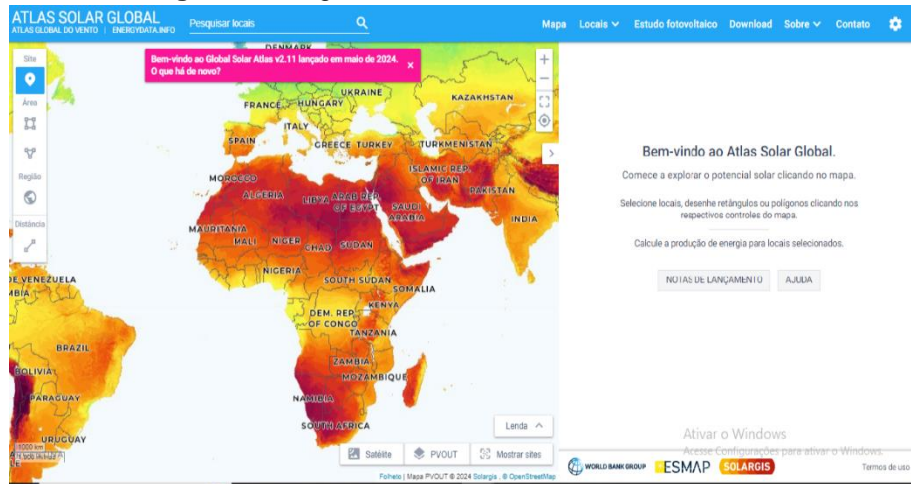
Foi dimensionado também a chave seccionadora e o DPS para a parte de corrente contínua, e o disjuntor e o DPS para a parte de corrente alternada, através da análise do datasheet, tanto do módulo fotovoltaico como também do inversor.

A NBR 5410 estabelece uma seção transversal mínima de 2,5 mm<sup>2</sup> (circuitos de força), porém comercialmente é mais fácil encontrar cabos fotovoltaicos com bitolas de 4 mm<sup>2</sup> e 6 mm<sup>2</sup>.

Por fim, foi feito uma simulação com o auxílio do ATLAS SOLAR GLOBAL (SWERA), em sua página online, para observar a projeção de geração de energia mensalmente do sistema solar fotovoltaico dimensionado (Figura 22).



**Figura 22:** Página online – ATLAS SOLAR GLOBAL.



Fonte: Solargis, 2024.

Trata-se de um *software* gratuito, que necessita de dados de entrada, como coordenadas geográficas, o ângulo de inclinação dos painéis fotovoltaicos e a capacidade que será instalada no sistema solar.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a apresentação da metodologia, foi realizado o levantamento dos dados em campo, para posterior análise e cálculos necessários para que seja possível dimensionar o sistema solar fotovoltaico.

### 5.1 Cálculos dos dados de consumo

A partir da Tabela 1, descrita anteriormente, que mostra o histórico de consumo de energia da residência, foi calculada a média do consumo mensal por meio do cálculo a seguir:

$$\text{Mcm} = \frac{533+580+520+491+525+750+713+838+939+867+781+675}{12}$$

$$\text{Mcm} = \frac{8212}{12}$$

$$\text{Mcm} = 684,33 \text{ kWh/mês}$$

### 5.2 Irradiação solar

Com as coordenadas geográficas definidas, foi encontrada a irradiação solar média por meio do banco de dados do Solargis do ATLAS SOLAR GLOBAL, o valor encontrado foi de 5,78 kWh/m<sup>2</sup>.dia, mostrando-se um valor bastante interessante.

### 5.3 Análise técnica

Através da utilização das ferramentas do Google Earth, por meio de imagens de satélite, foi encontrada a área disponível para instalação do sistema no telhado da residência, que foi de 56,57 m<sup>2</sup>. Porém, como foi considerado um fator de ocupação de 70%, a área disponível para instalação foi de 39,59 m<sup>2</sup>.

Com o auxílio do programa Google Earth, foi observado que a residência possui uma fachada voltada para o Sul. Dessa forma, a melhor orientação para distribuir os módulos fotovoltaicos, buscando o melhor aproveitamento da irradiação solar é distribuí-los na direção leste/oeste, ou seja, utilizando os dois lados disponíveis do telhado.

Analisado o entorno da residência foi constatada a inexistência de obstáculos,

que viessem a projetar algum tipo de sombreamento na área destinada a implantação do sistema solar fotovoltaico, ou seja, as construções existentes no entorno são baixas, sendo um ponto positivo, já que se deseja captar o máximo de irradiação solar.

#### 5.4 Cálculos para o dimensionamento do sistema fotovoltaico

A partir dos dados coletados, da média do consumo mensal, taxa de desempenho do sistema e da hora de sol pleno diário médio, foi possível determinar a potência gerada pelo sistema ( $P_{fv}$ ).

$$P_{fv} = \frac{E / TD}{HSP_{ma}}$$

$$P_{fv} = \frac{684,33 / 0,80}{5,78 \times 30}$$

$$P_{fv} = 4,93 \text{ kWp}$$

Como a variável horas de sol pleno diário ( $HSP_{ma}$ ), representa o valor correspondente a um dia, a mesma foi multiplicada por 30, para corresponder a um mês.

A potência pico obtida foi de 4,93 kWp, sendo assim, foram analisados alguns painéis fotovoltaicos. A seleção foi feita através da avaliação de diversas marcas de módulos fotovoltaicos, levando em consideração a relação custo x benefício e os mais comumente utilizados na cidade.

Os módulos fotovoltaicos escolhidos que irão constituir os arranjos dos painéis deste sistema foram os da marca TSUN, modelo TS560S8B-144 (Figura 23), que de acordo com a fabricante possui uma potência nominal máxima de 560 W, com dimensões de 2278 mm de comprimento, 1134 mm de largura e 30 mm de altura (Anexo II). Cada módulo deste modelo apresenta a tecnologia de silício monocristalino e é composta por 144 células.

**Figura 23:** Módulo fotovoltaico escolhido.



**Fonte:** TSUN POWER, 2024.

Com base nas especificações dos módulos fotovoltaicos foi feito o cálculo e determinou a quantidade necessária para atender o sistema, como descrito a seguir.

$$N_{pfv} = \frac{P_{fv}}{P_n}$$

$$N_{pfv} = \frac{4,93}{560}$$

$$N_{pfv} = 8,80 \text{ módulos}$$

O valor obtido foi de 8,80 módulos, porém para efeitos de projeto, iremos considerar o sistema com um total de 9 módulos.

Com a quantidade de módulos estabelecida, foi determinada a área ocupada por cada módulo, como pode ser visto a seguir.

$$\text{Área do módulo (m}^2\text{)} = \text{comprimento} \times \text{largura}$$

$$\text{Área do módulo} = 2278 \times 1134$$

$$\text{Área do módulo} = 2583252 \text{ mm}^2 = 2,58 \text{ m}^2$$

Para um total de 9 módulos, teremos uma área de utilização de 23,22 m<sup>2</sup>. Além disso, realizou-se o cálculo para determinar o número máximo de módulos que comporta a área do telhado da residência. Logo, foi dividido a área disponível no telhado, que é de 39,59 m<sup>2</sup>, pela área do módulo de 2,58 m<sup>2</sup>, sendo igual a 15 painéis.

Dessa forma, a área disponível para a instalação do sistema fotovoltaico atende perfeitamente a área total dos 9 módulos.

Os 9 módulos que irão compor o arranjo fotovoltaico será formado por 2 strings, uma contendo 5 painéis em série e a outra contendo 4 painéis em série, ligadas cada uma delas em uma entrada MPPT do inversor.

Para dimensionar o inversor, levou-se em conta a potência total a ser instalada no sistema, como descrito a seguir.

$$P_{\text{inst}} = N^{\circ} \text{ de módulos} \times P_n$$

$$P_{\text{inst}} = 9 \times 560$$

$$P_{\text{inst}} = 5,04 \text{ kWp}$$

Levando em conta a potência de instalação encontrada, foi estabelecido o valor para a potência do inversor, variando entre 70% e 120%, como pode ser visto a seguir.

$$0,7 \times P_{\text{inst}} < P_{\text{inv}} < 1,2 \times P_{\text{inst}}$$

$$0,7 \times 5,04 < P_{\text{inv}} < 1,2 \times 5,04$$

$$3,528 \text{ kW} < P_{\text{inv}} < 6,048 \text{ kW}$$

Assim, para a instalação do sistema foi escolhido um inversor com capacidade de potência entre 3,528 kW e 6,048 kw. Levando em consideração que 9 módulos fotovoltaicos são necessários para atender a demanda de energia da residência, e que a potência do inversor deve estar entre 3,528 kW e 6,048 kw, o inversor escolhido foi o fabricado pela DEYE, modelo SUN- 4K -G (Figura 24). O equipamento escolhido apresenta, segundo suas especificações técnicas, uma potência máxima de 4 kW, eficiência de 97,5% e possui 2 entradas MPPT (Anexo III), assim sendo, possível utilizá-lo para esse sistema.

**Figura 24:** Inversor solar Deye Sun-4k-G Mon220V.



**Fonte:** Deye, 2024.

Para o cálculo da seção transversal do cabo da parte de corrente contínua (CC) foi adotado as seguintes informações: um comprimento do condutor de 15 metros; a corrente de curto circuito do módulo de 13,98 A; condutividade elétrica do condutor de 0,0178; tensão máxima dos módulos da string que contém 5 painéis de 211,5 V; e uma queda de tensão de 2%, como descrito a seguir.

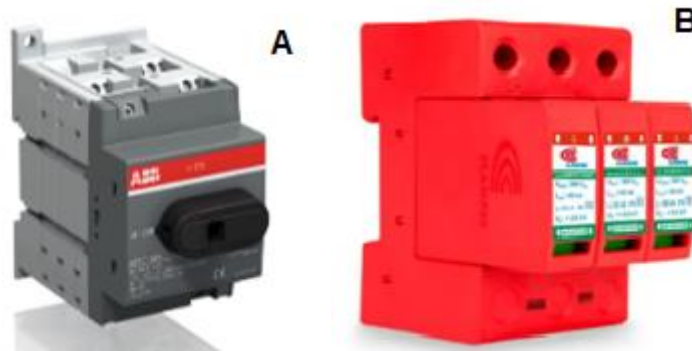
$$S = \frac{2 \times L \times I \times \sigma}{V \times \Delta V}$$

$$S = \frac{2 \times 15 \times 13,98 \times 0,0178}{211,5 \times 0,02}$$

$$S = 1,76 \text{ mm}^2$$

Como explicado na etapa da metodologia, para nosso estudo foi considerado cabos de 4 mm<sup>2</sup> para a parte de corrente contínua. Com relação à chave seccionadora, foi escolhido uma de 20 A (Figura 25 - A) e um dispositivo de proteção contra surtos (DPS) de 300 V (Figura 25 - B), utilizando como parâmetro a tensão da maior string, os mesmos foram escolhidos analisando o datasheet do módulo usado para o sistema.

**Figura 25: A – Chave seccionadora ; B - DPS.**



Fonte: ABB;CLAMPER, 2024.

Já para a parte de corrente alternada (CA), foi adotado as seguintes informações: um comprimento do condutor de 15 metros; a corrente máxima de saída do inversor de 19,1 A; condutividade elétrica do condutor de 0,0178; tensão da rede da concessionária de 220 V e uma queda de tensão de 4%, como descrito a seguir.

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \sigma}{V \times \Delta V}$$

$$S = \frac{2 \times 15 \times 19,1 \times 0,0178}{220 \times 0,04}$$

$$S = 1,15 \text{ mm}^2$$

Como explicado na etapa da metodologia, para nosso estudo foi considerado cabos de 4 mm<sup>2</sup> para a parte de corrente alternada. Para o disjuntor, foi escolhido um de 20 A (Figura 26 - C), pois atende a corrente máxima de saída do inversor, e um dispositivo de proteção contra surto (DPS) de 275 V (Figura 26 - D), uma vez que a tensão da rede monofásica é de 220V. Com isso, cada proteção foi escolhida analisando as variáveis de saída do inversor, de acordo com o datasheet.

**Figura 26: C - Disjuntor; D- DPS.**



Fonte: STECK; CLAMPER 2024;

Foi utilizado o *software* ATLAS SOLAR GLOBAL (SWERA) para simulação apenas como estimativa para verificar como seria a produção do sistema se o mesmo estivesse voltado para o norte geográfico, dessa forma, otimizando o sistema para ter uma maior geração de energia, apesar de sabermos que o telhado da residência em estudo tem suas quedas para leste e oeste. Foi informado as coordenadas geográficas, a inclinação dos painéis fotovoltaicos, que nesse caso será a mesma inclinação já existente no telhado que é de 20°, o ângulo de azimute de 0° e a capacidade que será instalada, de 5,04 kWp, gerou-se o gráfico 1.

**Gráfico 1:** Projeção de geração de energia.



**Fonte:** Solargis, 2024.

A partir da análise do gráfico, podemos verificar o mês e a projeção de produção de energia no mesmo. Com isso, temos: janeiro 617,5 kWh; fevereiro 605,3 kWh; março 726,7 kWh; abril 712,1 kWh; maio 716,1 kWh; junho 671,9 kWh; julho 708 kWh; agosto 784,9 kWh; setembro 775,5 kWh; outubro 760,6 kWh; novembro 666,9 kWh; e dezembro 621,3 kWh. Percebe-se que a geração varia ao longo dos meses, tendo meses em que a produção é maior e em outros meses é menor, do que a média de consumo calculada.

Dessa forma, nos meses de março, abril, maio, julho, agosto, setembro e outubro, onde a geração de energia é maior, compensa os meses de janeiro, fevereiro, junho, novembro e dezembro onde a geração de energia é menor, demonstrando dessa forma, a viabilidade de implantação do sistema proposto.



## 6. CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível dimensionar um sistema solar fotovoltaico e simular sua geração de produção de energia, concluindo que o sistema proposto obteve êxito atendendo as necessidades de demanda da residência, gerando economia para o consumidor.

A possibilidade de poder injetar o excedente de energia na rede da concessionária e posteriormente poder utilizar os créditos acumulados, também demonstra um grande atrativo para a instalação deste sistema fotovoltaico conectado a rede.

Vale destacar que fatores como a grande vida útil do sistema, a produção de energia limpa e silenciosa, a baixa necessidade de manutenção e a proteção contra o aumento da energia, sintetizam os aspectos e atrativos desta excelente tecnologia que cada vez mais vem sendo utilizada pela sociedade.

Apesar disso, a energia solar fotovoltaica precisa ser mais difundida, para que se possa aproveitar o alto potencial que o nosso país possui, diversificando a sua matriz energética.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria relevante à ampliação do objeto de estudo, abrangendo outros fatores como: comparar com outras marcas de módulos fotovoltaicos e inversores, para analisar o desempenho entre eles; realizar uma análise econômica, estimando o tempo de retorno do investimento (PayBack), para verificar quais sistemas seriam mais viáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10899: Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2020.

CALLOU, A. P. O.; **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM UMA EMPRESA**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Energias Renováveis – Universidade Federal do Ceará, 2018.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, edição 2008.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, edição 2014.

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, edição 2017.

ELEKTSOLAR INNOVATIONS. **Curso de Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Santa Catarina, 2018.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Produção de Energia. Energia Solar Fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**. São Paulo. Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo (GEPEA), 2016. p. 22-92.

**FONTE GERADORA DE ENERGIA NO BRASIL**. 2009. Monografia (Curso de Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F. C. **Energias Renováveis**. São Paulo: Blucher, 2012.

GONÇALVES, F. L; LUCENA, A. C. M; NASCIMENTO, S. J; **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NO CENTRO UNIVERSITÁRIO MAURÍCIO DE NASSAU**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica – Centro Universitário Maurício de Nassau, Campina Grande, 2018.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

JARDIM, C. S. **A inserção da geração solar fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução do pico de demanda diurno**. 2007. 148 fl. Tese

(Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAGALHÃES, M.V. **ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA COMO FONTE GERADORA DE ENERGIA NO BRASIL**. 2009. Monografia (Curso de Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MARCELO, A. M. P. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NA SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E CONTROLE URBANO DE MARACANAÚ**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Energias Renováveis – Universidade Federal do Ceará, 2021.

MARTINS, E. B. M. **A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA COMO FATOR DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL – O CASO DO MUNICÍPIO DE LAGOA NOVA-RN**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Currais Novos, 2017.

NASA. **Imagine the Universe**. Disponível em: [http://imagine.gsfc.nasa.gov/qa\\_sun.html/](http://imagine.gsfc.nasa.gov/qa_sun.html/). Acesso em: 18 de Nov. de 2023.

PAIVA, V. F. **MODELO COMPUTACIONAL DA USINA EXPERIMENTAL FOTOVOLTAICA TESLA UTILIZANDO O SOFTWARE PVSYST**. Monografia de especialização. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Especialização em Fontes Renováveis: Geração, Operação e Integração - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019

PEREIRA, F. A. S; OLIVEIRA, M. A. S. **CURSO TÉCNICO INSTALADOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. 2º Edição. Editora: Publindústria, 2015.

PERLIN, J. The History of Solar Energy – Photovoltaics. In: PERLIN, J. **From Space to Earth: The Story of Solar Electricity**. Michigan: Edwards Brothers, 1999. ISBN 0-937948- 14-4.

PEROZA, J. **CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE DISTINTAS TECNOLOGIAS A PARTIR DE ENSAIOS COM SIMULADOR SOLAR E ILUMINAÇÃO NATURAL**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Energia – Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá, 2015.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. CEPEL – CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

ROCHA, L. M; ASSUNÇÃO, T. M.; **ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FIXOS E MÓVEIS PARA MICROGERAÇÃO**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica – Universidade do Sul de Santa Catarina, 2020.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica**

**pública no Brasil.** Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

**SANTOS, G. L. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM UMA EMPRESA MINERADORA DE CAULIM EM EQUADOR/RN.** Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica – Centro Universitário Maurício de Nassau, Campina Grande, 2019.

**SOLARGIS. ATLAS SOLAR GLOBAL.** Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/map>>. Acesso em: 06 de Jun. de 2024.

**SUNPOWER. O que é energia solar e como funcionam os painéis solares.** Disponível em: <https://us.sunpower.com/blog/2017/10/25/how-does-solar-energywork/>. Acesso em: 18 de Nov. de 2023.

**VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo. Editora: Érica, 2012.

**VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica.** 2º Edição. Editora Saraiva. São Paulo, 2017

## ANEXO I – FATURA DE ENERGIA DA RESIDÊNCIA.

**DANFSE - DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA**

**ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A**  
 Br 230, Km 29 - Cristo Redentor - José Pessoa/PB - CEP 68071-680  
 CNPJ 09 095 183/0001-40 - Insc Est. 16 015 823-0

**Classificação:** MTC - CONVENCIONAL BAIXA TENSÃO / B1 **Tipo de Fornecimento:** MONOFÁSICO RESIDENCIAL / RESIDENCIAL

**TENSÃO NOMINAL EM VOLTS**    **Disp:** 220    **Lim. mín:** 202    **Lim. máx:** 231

**CÓDIGO DO CLIENTE**

**CÓDIGO DA INSTALAÇÃO**

SOUSA/PB CEP: 68071-680    CENTRO (AD: 177) ROTEIRO: B-177-145-340

<b>REF: MÊS / ANO</b> <b>Mar / 2024</b>	<b>VENCIMENTO</b> <b>18/03/2024</b>	<b>TOTAL A PAGAR</b> <b>R\$ 569,99</b>
--	--	---

**NOTA FISCAL Nº 030584332 - SÉRIE 001**  
**DATA EMISSÃO/APRESENTAÇÃO: 11/03/24**  
 Consulte pela Chave de Acesso em <https://dfe-portal.svcs.rs.gov.br/inf3e/consulta>

Chave de Acesso:  
 2524 0309 0951 8300 0140 6600 1030 5843 3220 9622 0911

**EMITIDO EM CONTINGÊNCIA**  
 Pendente de autorização

- Encargo de Uso do Sistema de Distribuição (Ref: 1 / 2024 ) R\$ 248,88  
 - \*Problemas com alcoolismo? Nós podemos ajudar - Ligue: (83) 3222-4557 / 9 8656-4556\* - Alcoólicos Anônimos na Paraíba  
 - Perdas do Ramal: 1 kWh Segurança e Saúde no Trabalho: A prevenção é sempre o melhor caminho. Avida em primeiro lugar\* Tribunal Regional do Trabalho da 13ª Região

<b>Datas de Leituras</b>	<b>Leitura Anterior</b> <b>08/02/24</b>	<b>Leitura Atual</b> <b>11/03/24</b>	<b>Nº Dias</b> <b>32</b>	<b>Próxima Leitura</b> <b>10/04/2024</b>
--------------------------	--	---	-----------------------------	---

	Unid.	Quant	Preço unit. tributos (R\$)	Valor Total (R\$)	PIS/ Cofins (R\$)	Base Calc. ICMS (R\$)	Aliq. ICMS (%)	ICMS (R\$)	Tarifa unit. (R\$)
<b>ITENS DA FATURA</b>									
Consumo em kWh	KWH	675	0,796360	536,87	23,01	536,87	20	107,37	0,602190
LANÇAMENTOS E SERVIÇOS				33,12	0,00	0,00	0	0,00	
CONTRIBUIÇÃO ILUM.PUBLICA									
<b>TOTAL:</b>				<b>569,99</b>	<b>23,01</b>	<b>536,87</b>		<b>107,37</b>	

	CONSUMO FATURADO	Nº DIAS FAT	
<b>CONSUMO / kWh</b>	Mar/24	675	32
	Fev/24	781	28
	Jan/24	867	30
	Dez/23	939	32
	Nov/23	838	31
	Out/23	713	28
	Set/23	750	30
	Ago/23	525	29
	Jul/23	491	28
	Jun/23	520	28
	Ma/23	580	33
	Abr/23	535	31
	Mar/23	673	29
	Media	675	30

\* Faturamento pela média harmônica

Tributo	Base de Cál. (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
<b>PIS/PASEP</b>	<b>429,49</b>	<b>0,9562</b>	<b>4,10</b>
<b>COFINS</b>	<b>429,49</b>	<b>4,4045</b>	<b>18,91</b>
<b>ICMS</b>	<b>636,87</b>	<b>20,0000</b>	<b>107,37</b>

**RESERVADO AO FISCO**

Art. 13, inciso VI do RICMS/PB - 1997  
 EMITIDO EM CONTINGÊNCIA  
 Pendente de autorização

Medidor	Grandezas	Postos horários	Leitura Anterior	Leitura Atual	Const. Medidor	Consumo kWh
00001328995	KWH	Total	73014	74590	1	675

## ANEXO II – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO.

### PARÂMETROS ELÉTRICOS

#### Desempenho em STC (Tolerância de potência ~+3%)

Potência Máxima (Pmax/W)	540	545	550	555	560
Tensão Operacional (Vmpp/V)	41.9	42.0	42.1	42.2	42.3
Corrente Operacional (Imp/A)	12.89	12.98	13.07	13.16	13.25
Tensão de circuito aberto (Voc/v)	49.7	49.8	49.9	50.0	50.1
Corrente de curto-circuito (Isc/A)	13.62	13.71	13.80	13.89	13.98
Eficiência do Módulo nm(%)	21.1	21.3	21.5	21.6	21.7

#### Desempenho em NMOT

Potência Máxima (Pmax/W)	402	405	409	413	417
Tensão Operacional (Vmpp/V)	39.0	39.1	39.2	39.3	39.4
Corrente Operacional (Imp/A)	10.30	10.37	10.44	10.51	10.58
Tensão de circuito aberto (Voc/v)	46.5	46.6	46.7	46.8	46.9
Corrente de curto-circuito (Isc/A)	10.98	11.05	11.12	11.19	11.26

NMOT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Air Mass AM1.5, Wind Speed 1m/s

### ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS

Tipo de célula	Monocrystalline
Dimensões da célula	182*182mm
Arranjo celular	144 (6*24)
Peso	29kg (63.9lbs.)
Dimensões do módulo	2278*1134*30mm(89.69*44.65*1.18inches)
Comprimento do cabo	Portrait 300mm/Landscape 1200mm/Customized
Tamanho da seção transversal do cabo	TUV: 4mm <sup>2</sup> (0.006inches <sup>2</sup> )/UL: 12AWG
Vidro frontal	3.2mm (0.13inches) AR Coating Tempered Glass
Nº de diodos de bypass	3/6
Configuração de embalagem	36pcs/carton,720pcs/40hq
Configuração de embalagem (para EUA)	36pcs/carton,720pcs/40hq
Quadro	Anodized Aluminium Alloy
Caixa de junção	IP68

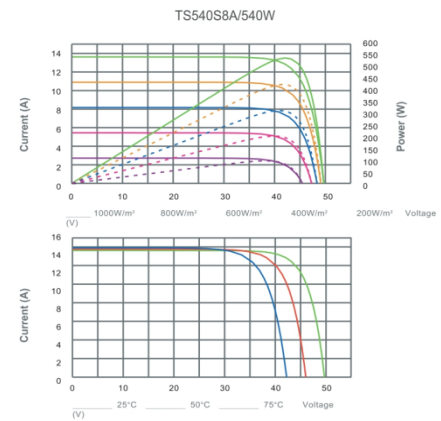
### CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

Tensão máxima do sistema	1000V/1500V/DC(IEC)
Temperatura de operação	-40°C ~ +85°C
Fusível de série máximo	25A
Carregamento Estático	Snow Loading: 5400Pa/ Wind Loading: 2400Pa
Condutividade no solo	≤0.1Ω
Classe de Segurança	II
Resistência	≥100MΩ
Conector	T01/LJQ-3-CSY/MC4/MC4-EVO2

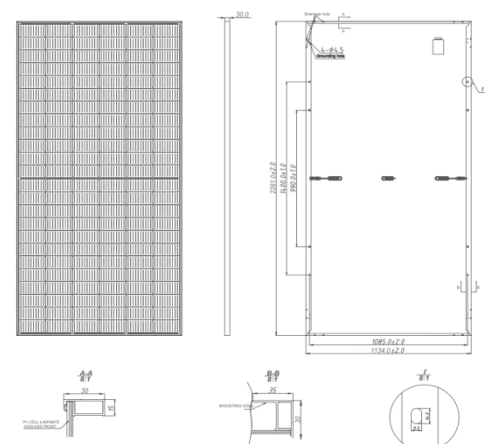
### COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Coefficiente de temperatura Pmax	-0.36%/°C
Coefficiente de temperatura Voc	-0.26%/°C
Coefficiente de temperatura Isc	+0.043%/°C
NMOT	43±2°C

### CURVA I-V



### DESENHOS TÉCNICOS



## ANEXO III – DATASHEET DO INVERSOR

Modelo	SUN-3.6K-G	SUN-4K-G	SUN-5K-G	SUN-6K-G
<b>Entrada</b>				
Potência de entrada CC máxima (kW)	4.7	5.2	6.5	7.8
Tensão de entrada CC máxima (V)	550			
Tensão de partida CC (V)	80			
Faixa de operação do MPPT (V)	70~550			
Corrente de entrada CC máxima (A)	13+13			
Corrente de Curto-Circuito Máxima (A)	19.5+19.5			
Número de MPPT / String por MPPT	2 / 1			
<b>Saída</b>				
Potência de saída nominal (kW) (40°C)	3.6	4	5	6
Potência ativa máxima (kW) (40°C)	3.96	4.4	5.5	6.6
Tensão nominal da rede CA (V)	220			
Faixa de tensão da rede CA (V)	180Vac~300 Vac (pode variar com os padrões da rede)			
Frequência nominal da rede (Hz)	50 / 60 (Opcional)			
Fase Operacional	Monofásico			
Corrente nominal de saída da rede CA (A)	15.7	17.4	21.7	26.1
Corrente máxima de saída CA (A)	17.4	19.1	23.9	28.7
Fator de potência de saída	0.8 adiantado ~ 0.8 atrasado			
Distorção harmônica total	<3%			
Corrente de injeção CC (mA)	<0.5%			
Faixa de Frequência da rede	47~52 or 57~62 (Opcional)			
<b>Eficiência</b>				
Eficiência máxima	97.3%	97.5%	97.5%	97.5%
Eficiência Euro	97.1%	97.3%	97.3%	97.3%
Eficiência do MPPT	>99%			
<b>Proteção</b>				
Proteção de polaridade reversa CC	Sim			
Proteção contra curto-circuito CA	Sim			
Proteção de sobrecorrente de saída CA	Sim			
Proteção contra sobretensão de saída	Sim			
Proteção de resistência de isolamento	Sim			
Monitoramento de falha de aterramento	Sim			
Proteção anti-ilhamento	Sim			
Proteção térmica	Sim			
Chave seccionadora CC Integrada	Sim			
Upload de software remoto	Sim			
Mudança remota de parâmetros operacionais	Sim			
Proteção contra surto	CC Tipo II / CA Tipo II			
<b>General Data</b>				
Tamanho (mm)	330Lx310Ax172P			
Peso (kg)	11			
Topologia	Sem Transformador			
Consumo interno	<1W (Noite)			
Temperatura de operação	-25~65°C			
Grau de proteção	IP65			
Emissão de ruído (típica)	<25 dB			
Refrigeração	Resfriamento Natural			
Altitude operacional máxima	2000m			
Vida útil projetada	>20 anos			
Padrão de conexão de rede	EN50549-1, IEC61727, IEC62116, IEC60068, IEC61683, VDE 0126-1-1, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150, RD1699, UNE 206006 IN, UNE 206007-1 IN, UNE 217001 IN			
Umidade do ambiente de operação	0-100%			
Padrões de segurança	IEC62109-1/-2, IEC61000-6-1, IEC61000-6-3, IEC61000-3-11, IEC61000-3-12			
<b>Características</b>				
Conexão CC	Compatível MC-4			
Conexão CA	Plug classificado IP65			
Display	LCD1602			
Interface	RS485/RS232/Wifi/LAN			