



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIAS
ENGENHARIA DE ENERGIA



ANA MARIA CALDERAN CAROLLO

**Dimensionamento e Instalação de um Sistema Fotovoltaico
On-grid em Dourados – MS**

DOURADOS-MS
2023

Dimensionamento e Instalação de um Sistema Fotovoltaico On-grid em Dourados – MS

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia. Faculdade de Engenharias Universidade Federal da Grande Dourados. Orientador: Prof. Dr. Orlando Moreira Júnior.

DOURADOS-MS
2023



ANEXO G – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 8h dia 19 de Fevereiro de 2024, realizou-se de a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia intitulado Dimensionamento e Instalação de um Sistema Fotovoltaico On-grid em Dourados – MS., de autoria do(s) graduando(s) ANA MARIA CALDERAN CAROLLO, como requisito para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho de Conclusão de Curso deve ser:

- Aprovado.
 Reprovado.

O(s) graduando(s) declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento da disciplina, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia da UFGD. O orientador se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelos graduandos para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

GRADUANDO

Nome: ANA MARIA CALDERAN CAROLLO

BANCA EXAMINADORA

Nome: Orlando Moreira Júnior	Assinatura: 
Nome: Clivaldo de Oliveira	Assinatura: 
Nome: Caio	Assinatura: 

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C292d Carollo, Ana Maria Calderan

Dimensionamento e Instalação de um Sistema Fotovoltaico On-grid em Dourados - MS:
Dimensionamento e Instalação de um Sistema Fotovoltaico On-grid em Dourados - MS [recurso
eletrônico] / Ana Maria Calderan Carollo. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Orlando Moreira Junior.

TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Sistema Fotovoltaico. I. Moreira Junior, Orlando . II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

“Eu colocaria meu dinheiro no sol e na energia solar. Que fonte de energia! Espero que não tenhamos que esperar até que o petróleo e o carvão acabem para fazer isso”.

Thomas Edison

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar, a DEUS, por ter dado saúde e uma família maravilhosa. Meus pais, Cristiane Matias Calderan e Euclezio José Carollo, e minhas irmãs Mariana Calderan Carollo e Mariá Calderan Carollo por acreditarem e sempre seguirem me incentivando e apoiando nos meus estudos com muito amor e carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Orlando Moreira Júnior, que me deu o suporte necessário para a realização do trabalho, com paciência e amizade nos momentos que precisei.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo e me apoiaram em todos os momentos.

E a todos que participaram e ajudaram de alguma forma no desenvolvimento deste trabalho.

CALDERAN CAROLLO, ANA MARIA. **Dimensionamento e Instalação de um Sistema Fotovoltaico On-grid em Dourados – MS.** 55 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo projetar e analisar a viabilidade de instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, utilizando o sistema de compensação de energia elétrica previsto na Lei nº 14300/2022. Foi realizada uma análise do local de instalação do sistema, uma residência na cidade de Dourados-MS, a fim de obter os dados necessários para o desenvolvimento do projeto. Utilizando o programa SUNDATA 3.0 desenvolvido pela CRESESB, foram obtidos os dados de irradiação solar. Foram consideradas as perdas correspondentes ao percurso da energia solar do módulo a ser utilizado, levando em conta o impacto da depreciação do módulo solar na geração de energia. Além disso, foi realizada uma análise econômica (PAYBACK) do sistema para verificar o prazo de retorno do investimento inicial. A simulação resultou em um sistema de 5,6 kWp composto por 16 módulos solares, gerando em média 470 kWh por mês, com um prazo de retorno do investimento em 4 anos e 3 meses.

Palavre chave: Sistema Fotovoltaico. Energia Solar. Viabilidade.

CALDERAN CAROLLO, ANA MARIA. **Sizing and Installation of an On-grid Photovoltaic System in Dourados – MS.** 55 p. Monograph (Course Completion Work) – Faculty of Engineering, Federal University of Grande Dourados, 2023.

ABSTRACT

This work aimed to design and analyze the feasibility of installing a photovoltaic system connected to the grid, using the electrical energy compensation system provided for in Law No. 14300/2022. An analysis of the system installation site, a residence in the city of Dourados-MS, was carried out in order to obtain the necessary data for the development of the project. Using the SUNDATA 3.0 program developed by CRESESB, solar irradiation data were obtained. The losses corresponding to the solar energy path of the module to be used were considered, taking into account the impact of the depreciation of the solar module on energy generation. Furthermore, an economic analysis (PAYBACK) of the system was carried out to verify the return period for the initial investment. The simulation resulted in a 5.6 kWp system composed of 16 solar modules, generating an average of 470 kWh per month, with a return on investment of 4 years and 3 months.

Keyword: Photovoltaic System. Solar energy. Viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Sistema fotovoltaico simplificado conectado a rede.....	29
Figura 2 -	Local de instalação do SFVCR.....	37
Figura 3 -	Modulo solar 350 Wp.....	40
Figura 4 -	Especificações técnicas do modulo.....	41
Figura 5 -	Especificações técnicas do inversor.....	42
Figura 6 -	Etapas e prazos do processo de homologação do SFVCR.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Estações meteorológicas próximas.....	38
Tabela 2 -	Irradiação solar média em Dourados/MS.....	38
Tabela 3 -	Consumo mensal da UC (Unidade Consumidora) em 2019/2020.....	39
Tabela 4 -	Investimento realizado na implantação do sistema.....	50
Tabela 5 -	Fluxo de caixa.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	14
3.2 ENERGIA RENOVÁVEL	16
3.3 GERAÇÕES DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	19
3.4 O CRESCIMENTO DA ENERGIA SOLAR.....	20
3.5 IRRADIAÇÃO.....	21
3.6 MEDIÇÃO E POTENCIAL BRASILEIRO DE IRRADIAÇÃO	25
4. COMPONENTES DOS SFCR	27
4.1 CONEXÃO DO SISTEMA SOLAR À REDE.....	27
4.2 MONTAGEM.....	30
4.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	32
4.3.1 Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.....	32
4.3.2 Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015.....	34
4.3.3 Lei 14.300	35
5. MATERIAS E MÉTODOS	37
5.1 PROJETO	37
5.2 DIMENSIONAMENTO	39
5.2.1 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO E INVERSOR	39
5.3 ANÁLISE DOS CÁLCULOS	44
5.4 ÁREA DE INSTALAÇÃO	45
5.5 GERAÇÃO DE ENERGIA	Erro! Indicador não definido.
5.6 HOMOLOGAÇÃO DO SFVCR.....	47
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
6.1 PAYBACK.....	49
6.2 FLUXO DE CAIXA	50
7. CONCLUSÃO	52
8.REFERÊNCIAS	53
9.ANEXOS	56

1. INTRODUÇÃO

A energia é essencial para o desenvolvimento econômico e social e melhoria da qualidade de vida em todos os países. Grande parte da energia mundial, no entanto, é atualmente produzida de maneira não sustentável, utilizando fontes fósseis e não renováveis, incapazes de fornecer a energia de que o mundo precisa para sustentar o desenvolvimento econômico no longo prazo (SILVA; DRACH; BARBOSA, 2019).

A necessidade de controlar as emissões atmosféricas de gases de efeito estufa e outros gases e substâncias cada vez mais precisa ser baseada na eficiência na produção de energia, transmissão, distribuição e consumo no país. Infraestruturas de fornecimento de eletricidade em muitos países em desenvolvimento estão sendo rapidamente expandidos como formuladores de políticas e investidores em todo o mundo reconhecem cada vez mais o papel central da eletricidade na melhoria da vida e sustentação do crescimento econômico (SILVA; DRACH; BARBOSA, 2019).

A sustentabilidade, traz conceitos como “cuidar do meio ambiente” e, realizar ações que “diminuem” o impacto do comportamento humano sobre a natureza. Também está relacionada a criação de produtos e serviços que não gerem danos ambientais a curto e longo prazo. A sustentabilidade pode ser definida como o desenvolvimento sustentável de recursos que visem suprir as necessidades humanas no agora e que permita que as gerações futuras também tenham suas necessidades asseguradas (SILVA; DRACH; BARBOSA, 2019).

Cuidar do planeta é responsabilidade de cada indivíduo. O desenvolvimento sustentável pode estar nos detalhes do dia a dia de cada um, como por exemplo realizar a reciclagem de materiais utilizados em casa, o consumo de materiais poluentes ou deixar o carro na garagem e utilizar bicicleta como meio de transporte. Os maiores poluidores do meio ambiente, entretanto, são indústrias e grandes empresas que todos os dias despejam na natureza uma grande quantidade de produtos químicos (MOREIRA JUNIOR; SOUZA, 2020).

Segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS (2022) quase 99% da população mundial respira ar de baixa qualidade de acordo com os parâmetros estabelecidos. A Organização aponta para a grande preocupação com a saúde das

peças, visto que o dióxido de nitrogênio (NO₂) presente no ar é grande causador e agravador de doenças respiratórias (PORTAL SOLAR, 2022).

Este cenário faz com que as empresas busquem mais agilidade, eficiência e se tornem mais responsáveis diante dos problemas ambientais que podem causar. Uma das formas para reduzir a poluição é utilizar energia sustentável e é nesse quesito que surge a energia solar. Uma energia que utiliza matéria prima natural (luz solar) que é considerada inesgotável (JUNIOR, et al, 2018).

A quantidade de luz solar que atinge a superfície da Terra em uma hora e meia é suficiente para lidar com o consumo de energia do mundo inteiro por um ano inteiro. As tecnologias solares convertem a luz solar em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos ou através de espelhos que concentram a radiação solar. Esta energia pode ser utilizada para gerar eletricidade ou ser armazenada em baterias ou termo acumuladores (MOREIRA, et al, 2021).

A radiação solar é a luz – também conhecida como radiação eletromagnética – que é emitida pelo sol. Embora todos os locais da Terra recebam um pouco de luz solar ao longo de um ano, a quantidade de radiação solar que atinge qualquer ponto da superfície da Terra varia. As tecnologias solares captam essa radiação e a transformam em formas úteis de energia (MOREIRA, et al, 2021).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um projeto fotovoltaico de 5,6 kWp para suprir integralmente a demanda energética de uma residência localizada na cidade de Dourados-MS, utilizando a fonte solar como recurso primário. Também foi realizada uma análise de viabilidade econômica do sistema.

2.1 Objetivos específicos

- a) Analisar a viabilidade de instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede utilizando o Sistema de Compensação de Energia Elétrica previsto no marco legal da micro e minigeração de energia elétrica, instituído pela Lei nº 14.300, de 06 de Janeiro de 2022.
- b) Dimensionar os módulos, inversores e todos os equipamentos necessários para a montagem de um sistema fotovoltaico conectado à rede de acordo com as especificações técnicas.
- c) Realizar e analisar o *payback* do sistema, podendo assim ser demonstrado o prazo de retorno do investimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita uma breve fundamentação teórica para a melhor compreensão dos assuntos abordados no projeto.

3.1 Painéis fotovoltaicos

A energia solar é uma das fontes renováveis de eletricidade. A produção de eletricidade usando a tecnologia fotovoltaica não apenas ajuda a atender à crescente demanda por energia, mas também contribui para mitigar as mudanças climáticas globais, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. O nível de competitividade das células solares inovadoras de última geração está aumentando devido aos esforços de pesquisadores e cientistas relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, principalmente nanomateriais e nanotecnologia (AZAMBUJA, 2022).

Cerca de duas décadas atrás, a eficiência das células fotovoltaicas de silício cristalino atingiu o limite de 25% em escala de laboratório. Apesar dos avanços tecnológicos desde então, a eficiência máxima agora aumentou muito ligeiramente para 26,6%. À medida que a eficiência da tecnologia se aproxima da curva de saturação, pesquisadores de todo o mundo estão explorando materiais alternativos e processos de fabricação para aumentar ainda mais essa eficiência. As células de silício de filme fino policristalino e amorfo são vistas como um sério concorrente das células de silício monocristalino. No entanto, sua desvantagem é sua natureza desordenada, que resulta em baixa eficiência (AZAMBUJA, 2022).

Nas últimas décadas, surgiram muitos novos materiais que fornecem uma fonte eficiente de geração de energia para atender às demandas futuras e, ao mesmo tempo, ser econômicos. As células solares de primeira geração são convencionais e baseadas em pastilhas de silício. A segunda geração de células solares envolve tecnologias de película fina. A terceira geração de células solares inclui novas tecnologias, incluindo células solares feitas de materiais orgânicos, células feitas de perovskitas, células sensibilizadas por corantes, células de pontos quânticos ou células multi-junção (AZAMBUJA, 2022).

Com os avanços da tecnologia, as desvantagens das gerações anteriores foram eliminadas nas células solares baseadas em grafeno de quarta geração. A popularidade da energia fotovoltaica depende de três aspectos:

custo, disponibilidade de matéria-prima e eficiência. As células solares de terceira geração são a tecnologia mais recente e promissora em energia fotovoltaica. A pesquisa sobre estes ainda está em andamento (NASCIMENTO, 2017 p. 27).

Avanços recentes em células solares multijunção baseadas em silício tipo ne nanomateriais funcionais, como o grafeno, oferecem uma alternativa promissora para células de baixo custo e alta eficiência. Atualmente, as células multijunção, que se beneficiam dos avanços possibilitados pela nanotecnologia, estão quebrando recordes de eficiência. Eles ainda são bastante caros e representam um sistema complexo, mas existem alternativas mais simples que podem eventualmente fornecer um caminho para a competitividade dos dispositivos de maior eficiência (VAZ, 2017).

Outro avanço significativo está sendo feito na geração de níveis de energia adicionais na estrutura de bandas do silício. Em ambos os casos, mais evidências de pesquisa, políticas e tecnologia são necessárias para torná-los acessíveis.

Portanto, continua sendo crucial desenvolver tecnologias baseadas em silício. O uso dessas novas arquiteturas de células solares forneceria uma nova direção para atingir as metas comerciais. Espera-se que células solares baseadas em múltiplas junções e novas células fotovoltaicas com um nível de energia intermediário adicional forneçam eficiência extremamente alta. A pesquisa neste caso se concentra em um processo de fabricação de baixo custo. Portanto, a comercialização dessas células requer mais trabalho e exploração (BATISTA, et al, 2020).

A conversão de energia solar em eletricidade por módulos fotovoltaicos é agora uma tecnologia madura. O armazenamento de energia solar pode ser alcançado usando a energia da luz para produzir um combustível. A eletricidade fotovoltaica a partir de células solares passou por um rápido desenvolvimento e está sendo rapidamente usada tanto em sistemas privados menores quanto em instalações de grande escala conectadas às redes nacionais (BATISTA, et al, 2020).

O influxo solar sobre a terra em uma superfície horizontal varia consideravelmente entre diferentes regiões e com o ciclo diurno e anual. A variação diurna do influxo de energia solar corresponde um pouco, mas não perfeitamente, aos padrões de atividade das sociedades. Há, portanto, uma grande necessidade de armazenar energia derivada do sol como energia elétrica ou química, para ser usada em algum momento posterior (BATISTA, et al, 2020).

3.2 Energia renovável

As preocupações com as mudanças climáticas e o aumento da demanda por eletricidade devido, entre outras coisas, a uma população cada vez maior, exigem esforços para se afastar dos métodos convencionais de produção de energia. O aumento dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera causado pelo uso de combustíveis fósseis é um dos fatores que causam a mudança climática em curso. Mudar para energia renovável produzirá energia com uma pegada ambiental menor em comparação com fontes de combustível fóssil. Somos capazes de aproveitar todo o potencial da energia solar para desenvolver as melhores tecnologias possíveis de captação de energia, capazes de converter energia solar em eletricidade (JUNIOR et al, 2018).

A necessidade de encontrar novas formas de energia renovável é extremamente relevante e urgente nos dias de hoje. É por isso que a humanidade deve encontrar fontes alternativas de energia para proporcionar um futuro limpo e sustentável. Dentro deste contexto, a energia solar é a melhor opção entre todas as fontes alternativas de energia renovável devido à sua ampla acessibilidade, universalidade e natureza ecológica (JUNIOR et al, 2018).

A métrica mais comum usada para avaliar o desempenho das tecnologias fotovoltaicas é a eficiência de conversão, que expressa a proporção entre a entrada de energia solar e a saída de energia elétrica. A eficiência combina características de vários componentes do sistema, como corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e fator de preenchimento, que por sua vez dependem das características básicas do material e defeitos de fabricação (JUNIOR et al, 2018).

A relação custo-benefício da fabricação de uma célula fotovoltaica e sua eficiência dependem do material de que é feita. Muitas pesquisas neste campo foram realizadas para encontrar o material que é mais eficiente e econômico para a construção de células fotovoltaicas (SOUZA, 2017). As especificações para um material ideal para células solares fotovoltaicas incluem o seguinte:

- Espera-se que as células tenham um gap entre 1,1 e 1,7 eV;
- Deve ter uma estrutura de banda direta;
- Precisa ser de fácil acesso e não tóxico; e
- Deve ter alta eficiência de conversão fotovoltaica (SOUZA, 2017).

Um problema chave na área de desenvolvimento de células fotovoltaicas é o desenvolvimento de métodos para alcançar a maior eficiência possível com o menor custo de produção possível. Melhorar a eficiência das células solares é possível usando formas eficazes de reduzir as perdas internas da célula. Existem três tipos básicos de perdas: óptica, quântica e elétrica, que têm diferentes fontes de origem (SOUZA, 2017).

A redução de perdas de qualquer tipo requer métodos diferentes, muitas vezes avançados, de fabricação de células e produção de módulos fotovoltaicos. No entanto, o maior potencial está na capacidade de reduzir as perdas quânticas, pois estão intimamente ligadas às propriedades do material e à estrutura interna da célula. Relevante aqui é o conceito de band gap, que define a energia mínima necessária de um fóton incidente na superfície da célula para que ele participe do processo de conversão fotovoltaica (SOUZA, 2017).

Existe uma relação entre a eficiência da célula e o valor do gap, que por sua vez é altamente dependente do material de que é feita a célula fotovoltaica. Os mecanismos de perda dominantes nas células fotovoltaicas convencionais são a incapacidade de absorver fótons abaixo da banda proibida e a termalização de fótons solares com energias acima da energia da banda proibida. Os conceitos de células solares de terceira geração foram propostos para abordar esses dois mecanismos de perda em uma tentativa de melhorar o desempenho das células solares. Essas soluções visam explorar todo o espectro, incorporando novos mecanismos para criar novos pares elétron-buraco (BATISTA et al, 2020).

O maior potencial de desenvolvimento entre esses conceitos para melhorar a eficiência de geração de energia de células solares feitas de silício é mostrado pela ideia de células cuja característica básica é uma banda intermediária adicional no modelo de banda proibida de silício. Está localizado entre a banda de condução e a banda de valência, e tem como função permitir a absorção de fótons com energias abaixo da largura do gap de energia, resultando em maior eficiência quântica, o que significa maior número de elétrons excitados em relação ao número de fótons incidentes na superfície da célula (BATISTA et al, 2020).

Atualmente, muitas direções de desenvolvimento de pesquisa sobre a introdução de bandas intermediárias em semicondutores podem ser

identificadas. Uma delas é o uso de implantação iônica, onde dois métodos podem ser distinguidos: introdução de dopantes com concentrações extremamente altas no substrato do semicondutor e implantação da camada de silício com altas doses de íons metálicos (BATISTA et al, 2020).

A eficiência com que as células fotovoltaicas convertem a luz solar em eletricidade varia de acordo com o tipo de material semicondutor e a tecnologia das células fotovoltaicas. A eficiência dos módulos fotovoltaicos disponíveis comercialmente era em média inferior a 10% em meados da década de 1980, aumentou para cerca de 15% em 2015 e agora está se aproximando de 20% para módulos de última geração. Células fotovoltaicas experimentais e células fotovoltaicas para nichos de mercado, como satélites espaciais, alcançaram quase 50% de eficiência (BATISTA et al, 2020 p. 15)

A célula fotovoltaica é o bloco de construção básico de um sistema fotovoltaico. Células individuais podem variar em tamanho de cerca de 0,5 polegadas a cerca de 4 polegadas de diâmetro. No entanto, uma célula produz apenas 1 ou 2 Watts, o que é apenas eletricidade suficiente para pequenos usos, como alimentar calculadoras ou relógios de pulso (NASCIMENTO, 2017).

As células fotovoltaicas são conectadas eletricamente em um módulo ou painel fotovoltaico embalado e à prova de intempéries. Os módulos fotovoltaicos variam em tamanho e na quantidade de eletricidade que podem produzir. A capacidade de geração de eletricidade do módulo fotovoltaico aumenta com o número de células no módulo ou na área de superfície do módulo. Os módulos fotovoltaicos podem ser conectados em grupos para formar um arranjo fotovoltaico. Um arranjo fotovoltaico pode ser composto por dois ou centenas de módulos fotovoltaicos. O número de módulos fotovoltaicos conectados em um painel fotovoltaico determina a quantidade total de eletricidade que o painel pode gerar (NASCIMENTO, 2017).

As células fotovoltaicas geram eletricidade em corrente contínua (CC). Essa eletricidade CC pode ser usada para carregar baterias que, por sua vez, alimentam dispositivos que usam eletricidade de corrente contínua. Quase toda a eletricidade é fornecida como corrente alternada (CA) nos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade. Dispositivos chamados inversores são usados em módulos fotovoltaicos ou em matrizes para converter a eletricidade CC em eletricidade CA (NASCIMENTO, 2017).

3.3 Gerações de Células Fotovoltaicas

A energia fotovoltaica tornou-se um dos principais contribuintes para a transição energética em curso. Avanços relacionados a materiais e métodos de fabricação tiveram um papel significativo por trás desse desenvolvimento. No entanto, ainda existem inúmeros desafios antes que a energia fotovoltaica possa fornecer energia mais limpa e de baixo custo. A pesquisa nessa direção está focada em dispositivos fotovoltaicos eficientes, como células multijunção, grafeno ou células intermediárias de intervalo de banda, e materiais imprimíveis de células solares, como pontos quânticos (NERES, 2019).

A principal função de uma célula fotovoltaica é receber a radiação solar como luz pura e transformá-la em energia elétrica em um processo de conversão chamado efeito fotovoltaico. Existem várias tecnologias envolvidas com o processo de fabricação de células fotovoltaicas, utilizando modificação de materiais com diferentes eficiências de conversão fotoelétrica nos componentes da célula.

Devido ao surgimento de muitos métodos de fabricação não convencionais para fabricar células solares funcionais, as tecnologias fotovoltaicas podem ser divididas em quatro gerações principais (NERES, 2019).

As gerações de várias células fotovoltaicas contam essencialmente a história dos estágios de sua evolução passada. Existem quatro categorias principais que são descritas como as gerações da tecnologia fotovoltaica nas últimas décadas, desde a invenção das células solares (NERES, 2019):

1. Primeira Geração: Esta categoria inclui tecnologias de células fotovoltaicas baseadas em silício monocristalino e policristalino e arsenieto de gálio (GaAs).
2. Segunda Geração: Esta geração inclui o desenvolvimento da tecnologia de células fotovoltaicas de primeira geração, bem como o desenvolvimento da tecnologia de células fotovoltaicas de película fina de “silício microcristalino ($\mu\text{-Si}$) e silício amorfo (a-Si), seleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio/sulfeto de cádmio (CdTe/CdS) células fotovoltaicas”.
3. Terceira Geração: Esta geração conta com tecnologias fotovoltaicas baseadas em compostos químicos mais recentes. Além disso, tecnologias que utilizam “filmes” nanocristalinos, pontos quânticos, células solares sensibilizadas por

corantes, células solares baseadas em polímeros orgânicos etc., também pertencem a esta geração.

4. Quarta Geração: Esta geração inclui a baixa flexibilidade ou baixo custo de polímeros de película fina, juntamente com a durabilidade de “nanoestruturas inorgânicas inovadoras, como óxidos metálicos e nanopartículas metálicas ou nanomateriais de base orgânica, como grafeno, nanotubos de carbono e derivados de grafeno” (NERES, 2019).

Células e módulos fotovoltaicos produzirão a maior quantidade de eletricidade quando estiverem diretamente voltados para o sol. Módulos e matrizes fotovoltaicas podem usar sistemas de rastreamento que movem os módulos para ficarem constantemente voltados para o sol, mas esses sistemas são caros. A maioria dos sistemas fotovoltaicos possui módulos em uma posição fixa com os módulos voltados diretamente para o sul (no hemisfério norte - diretamente para o norte no hemisfério sul) e em um ângulo que otimiza o desempenho físico e econômico do sistema (NERES, 2019).

3.4 O crescimento da energia solar

Os fundamentos básicos da energia solar também incluem o fato de que os custos de instalação continuam caindo à medida que a tecnologia solar continua avançando. Essa fonte de energia renovável está crescendo rapidamente à medida que as pessoas e as nações procuram fontes de energia que sejam sustentáveis e ecologicamente corretas, mas o crescimento da indústria também está sendo alimentado pelo fato de que a instalação de um sistema solar também é uma boa prática comercial (VAZ, 2017).

Outro dos fundamentos básicos da energia solar é entender a simplicidade de como o processo funciona. Basicamente, a energia solar é produzida capturando a luz radiante e o calor do sol e, em seguida, convertendo-os em energia para alimentar residências, empresas, ferramentas e máquinas. A eletricidade é gerada durante os períodos de pico – tardes quentes – quando a demanda é maior e os condicionadores de ar estão funcionando trabalhando intensamente. Mas a energia solar pode ser armazenada para uso posterior, como durante os meses de inverno ou à noite (VAZ, 2017).

Segundo VAZ (2017) existem diferentes tipos de sistemas que podem ser projetados para coletar e armazenar energia solar, mas a instalação mais comum é conhecida como sistema de energia solar ativa. Um sistema ativo usa um mecanismo, como os painéis solares vistos em um telhado, para capturar a luz do sol e gerar energia.

Os painéis solares são compostos de células fotovoltaicas (PV) que capturam partículas de luz solar chamadas fótons. Usando um material semicondutor como o silício, as células fotovoltaicas convertem os fótons em eletricidade de corrente contínua (CC) utilizável. Um inversor conectado por fios aos painéis transforma essa corrente contínua (DC) em eletricidade de corrente alternada (AC) e a envia para o painel da caixa de disjuntores em sua casa ou empresa para alimentar suas luzes, computadores e outros aparelhos. Os fundamentos básicos dos sistemas de energia solar são simples (MOREIRA, et al, 2021 p. 22).

Dependendo de quanta energia seu sistema gera – que é afetado tanto pelo tamanho quanto pela sua localização – você ainda pode precisar estar conectado à rede elétrica da empresa de serviços públicos local. Dessa forma, você pode acessar qualquer energia adicional que ainda precise ou pode vender qualquer excesso de energia que gerar na rede para outros usarem. Este conceito é conhecido como “net metering” – outro dos fundamentos da energia solar. Durante o dia, a maioria dos clientes solares produz mais eletricidade do que consome; a medição permite que eles injetem essa energia para a rede para reduzir suas contas de eletricidade futuras (JUNIOR et al, 2018).

3.5 Irradiação

O que é irradiação solar e o que significa quando se trata de sistemas solares fotovoltaicos? Existem muitas palavras e significados diferentes, como radiação solar (eletromagnética), irradiância solar (para energia), bem como insolação solar para descrever a quantidade de luz solar disponível em qualquer local específico. Podemos usar a energia do sol para gerar eletricidade, usando painéis fotovoltaicos, ou usá-la para aquecer água com a ajuda de painéis solares térmicos, por isso é importante ter um bom suprimento de radiação solar em nosso locaispecífico (SILVA; DRACH; BARBOSA, 2019).

Segundo AZAMBUJA (2022) o sol é tanto uma fonte de calor quanto uma fonte de luz, dando-nos o calor e a luz do sol de que precisamos para sobreviver. O sol é

uma excelente fonte de energia e podemos aproveitá-lo de muitas maneiras diferentes, mas como sabemos se há energia radiante suficiente para um painel solar fotovoltaico (PV) gerar eletricidade.

Nosso sol é uma excelente fonte de energia radiante. A quantidade de energia solar por unidade de área que chega a uma superfície em um determinado ângulo é chamada de irradiância, que é medida em watts por metro quadrado, W/m^2 , ou quilowatts por metro quadrado, kW/m^2 onde 1000 watts equivalem a 1,0 quilowatts (VAZ, 2017 p. 33).

No entanto, a distância direta medida entre a Terra e o Sol varia anualmente, causando variações na quantidade de energia de irradiação solar recebida durante a rotação cíclica natural da Terra durante um período de um ano completo. Segundo a NASA, o valor médio da irradiância medido na borda do espaço e fora da atmosfera da Terra em uma superfície plana posicionada perpendicularmente ao sol é de cerca de 1.370 watts por m^2 (ou seja, 1,37 quilowatts). Este valor de irradiância fornecido pela NASA é chamado de Constante Solar e é usado para determinar os valores solares na superfície da Terra (MOREIRA et al, 2021).

Mas os valores de irradiância medidos na superfície da Terra são muito mais baixos do que a constante solar. A dispersão e reflexão da luz solar ao passar pela atmosfera diminui a quantidade de energia que atinge a superfície da Terra devido às condições climáticas naquele ponto (SOUZA, 2017).

No momento em que os raios do sol atravessam nossa atmosfera e atingem a superfície da Terra ao nível do mar, é medida a irradiância solar máxima em uma superfície plana de $1m^2$ ao nível do solo. Assim, em um local equatorial em um dia claro por volta do meio-dia solar, a quantidade de radiação solar medida é de cerca de 1.000 watts, ou seja, $1.000 W/m^2$ (MOREIRA, et al, 2021).

Ao lidar com painéis solares fotovoltaicos exclusivamente para a geração de energia solar, um nível de luz de irradiância solar de $1,0 kW/m^2$ é conhecido como um "Full Sun" ou comumente "Pico do Sol". A definição de "Peak Sun Hours" (PSH) é, portanto, o número de horas no tempo em que este nível de luz de irradiação solar total foi recebido na superfície dos painéis em uma medição de $1,0 kW/m^2$ (ENERGY GREEN, 2023).

A média da radiação solar é calculada ao longo de todo o ciclo de 24 horas do dia e da noite, bem como ao longo de um ano inteiro de 365 dias, mesmo os melhores

locais recebem em média por dia apenas 250–300 W/m². Isso é menos de 30% do que chega ao topo da atmosfera da Terra. Então tem muito do que se chama de “atenuação solar”, ou seja, a perda da irradiância solar, que passa pela atmosfera terrestre antes de atingir a superfície terrestre sendo a atenuação solar maior nos meses de inverno (PORTAL SOLAR, 2022).

Poderíamos plotar as quantidades diárias, mensais ou até mesmo anuais de irradiância solar (potência) disponível para um determinado local, dando-nos uma ideia mais clara dos níveis mínimos e máximos disponíveis para a geração de energia elétrica usando painéis fotovoltaicos conforme mostrado. Portanto, as horas de pico de sol disponíveis durante o verão são claramente mais longas do que no período de inverno, permitindo que um painel fotovoltaico opere em sua saída nominal de pico por mais tempo (PORTAL SOLAR, 2022).

A fonte primária de energia para a Terra é a energia radiante do Sol. Esta energia radiante é medida e relatada como a irradiância solar. A luz de diferentes comprimentos de onda atinge diferentes partes da atmosfera da Terra. A luz visível e a radiação infravermelha atingem a superfície, aquecendo a superfície para condições habitáveis. A radiação ultravioleta nos comprimentos de onda UV-A, B e C é absorvida em altitudes cada vez maiores (PORTAL SOLAR, 2022).

Cada parte da irradiância solar muda ao longo do ciclo solar de 11 anos, tornando-se mais brilhante que a média no máximo solar e mais escura no mínimo solar. Cada comprimento de onda também muda à medida que o Sol gira e durante as explosões solares. As mudanças observadas na Terra não são as mesmas dos outros planetas. Para entender os mecanismos que causam variações de irradiância EUV, são necessários dois conjuntos de medições. Medições da irradiância espectral EUV em uma ampla gama de comprimentos de onda em uma cadência rápida (PORTAL SOLAR, 2022).

A energia deixa o Sol como fótons, partículas energéticas e campos magnéticos. Cada um tem um impacto mensurável na Terra ou no espaço próximo à Terra. Os fótons se movem em linha reta do Sol para a Terra, enquanto outros tipos de energia devem seguir um caminho tortuoso através da atmosfera do Sol, da Heliosfera e da magnetosfera da Terra para alcançar a atmosfera da Terra. Vamos nos concentrar nos fótons que movem a energia do Sol para a Terra. (NERES, 2019 p.19)

O Sol é uma estrela magnética variável. Um astrônomo diria que as variações do Sol são típicas de uma estrela parecida com o Sol. No entanto, para um planeta que parece diminuir a cada ano e uma população humana que depende cada vez mais da tecnologia, as variações do Sol são significativas e dramáticas. Mudanças no campo magnético do Sol causam todas as variações que impactam nossa vida e tecnologia aqui na Terra (NERES, 2019).

A ciência do SDO e LWS envolve uma compreensão completa da natureza e das manifestações da energia do Sol. As investigações do SDO são projetadas para entender a fonte da energia do Sol e como essa energia é armazenada e liberada pelas camadas da atmosfera do Sol. Uma parte dessa pesquisa é como as mudanças na irradiância solar, ou saída de fótons, são produzidas (VAZ, 2017).

Mesmo mudanças sutis na irradiação podem ter um impacto dramático no clima, na atmosfera e na ionosfera da Terra. Imagens em diferentes comprimentos de onda podem ser usadas para entender as mudanças na irradiância, mas medições precisas da irradiância solar em uma cadência muito rápida são necessárias para entender verdadeiramente a entrada energética da Terra (MOREIRA et al, 2021).

Irradiância é a quantidade de energia luminosa de uma coisa atingindo um metro quadrado de outra a cada segundo. Os fótons que carregam essa energia têm comprimentos de onda de raios-X energéticos e raios gama à luz visível ao infravermelho e rádio. Pode ser medido para qualquer objeto brilhante, incluindo estrelas, a Lua e os faróis altos excessivamente brilhantes de um carro que se aproxima. A irradiância solar é a saída de energia luminosa de todo o disco do Sol, medida na Terra. É olhar para o Sol como olharíamos para uma estrela e não como uma imagem (AZAMBUJA, 2022).

A irradiância espectral solar é uma medida do brilho de todo o Sol em um comprimento de onda de luz. Variações importantes de irradiância espectral são observadas em muitos comprimentos de onda, desde o visível e infravermelho, passando pelo UV, até EUV e raios-X. Ao olharmos para a irradiância solar, devemos lembrar que o clima espacial está relacionado à ionização, enquanto o clima está relacionado à absorção de calor (AZAMBUJA, 2022).

Medir a irradiância espectral é importante porque diferentes comprimentos de onda (ou cores) da luz solar são absorvidos em diferentes partes da nossa atmosfera. Sentimos calor por causa da radiação visível e infravermelha que atinge a

superfície. A luz ultravioleta cria a camada de ozônio e é então absorvida por esse ozônio. A luz ultravioleta ainda mais alta cria a termosfera, que é ionizada pela luz nos comprimentos de onda curtos do ultravioleta extremo (EUV). Como as comunicações de rádio são afetadas pelos íons criados, as mudanças na saída de EUV solar são uma preocupação primária do Clima Espacial (PORTAL SOLAR, 2022).

3.6 Medição e potencial brasileiro de irradiação

Estimativas precisas da irradiância solar global ao nível do solo são essenciais para uma variedade de aplicações em meteorologia, hidrologia, agricultura e energia renovável. Alguns exemplos são o monitoramento do clima e do orçamento global de energia, evapotranspiração e modelagem de rendimento agrícola e a necessidade de expandir fontes de energia renovável, promovendo investimentos em tecnologias de energia solar (BATISTA et al, 2020).

A forma tradicional de monitoramento da radiação solar requer piranômetros instalados em uma rede meteorológica/radiométrica. No entanto, a precisão dos dados depende do tipo de instrumento, bem como das rotinas de manutenção e calibração. Nas últimas décadas, um esforço considerável tem sido feito para aumentar o número de estações meteorológicas automáticas em todo o território brasileiro. Os principais exemplos são a rede do Instituto Nacional de Meteorologia e a rede de Plataformas de Coleta de Dados administradas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BATISTA et al, 2020).

As estações operadas por essas instituições governamentais possuem sensores para variáveis meteorológicas padrão (pressão atmosférica, temperatura e umidade do ar, precipitação, velocidade e direção do vento), bem como irradiação solar. Vale ressaltar duas redes radiométricas adicionais: SONDA (Sistema Brasileiro de Organização de Dados Ambientais) e Rede de Radiação Solar, com cerca de 20 estações realizando medições de alta qualidade. No entanto, séries temporais longas e contínuas de medidas de irradiância solar ainda são escassas. Uma das principais razões para essas deficiências é o alto custo de manutenção por longos períodos, principalmente em países em desenvolvimento com grandes dimensões territoriais, como o Brasil (SOUZA 2017).

Atualmente, a estimativa da irradiância solar com base em dados de satélites geoestacionários é uma das opções mais eficazes e de baixo custo para monitorar

regiões extensas, obtendo uma cobertura espaço-temporal longa, contínua e geograficamente detalhada. Desde a década de 1970, vários modelos foram desenvolvidos. Atualmente, os modelos são classificados em dois tipos principais: empíricos e físicos. As primeiras são mais simples de implementar, baseando-se no ajuste estatístico entre informações de satélite (por exemplo, refletância e temperatura de brilho) e irradiância solar medida ao nível do solo (JUNIOR et al, 2018).

Avanços em algoritmos e disponibilidade de dados de satélite de longo prazo permitiram o desenvolvimento de vários bancos de dados de radiação solar derivados de satélites com cobertura regional e global. Tem havido um esforço contínuo de pesquisadores brasileiros em fornecer informações precisas baseadas em satélites regionais sobre a radiação solar. Embora numerosa, a densidade espacial do INMET é heterogênea em todo o país (sendo ainda menor na região amazônica); no entanto, a grande quantidade de dados é uma fonte valiosa para validar estimativas baseadas em satélites (NASCIMENTO, 2017).

4. COMPONENTES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Neste capítulo é feita uma breve fundamentação sobre o sistema fotovoltaico diversificando a demanda de energia.

4.1 Conexão do sistema solar à rede

Um sistema fotovoltaico conectado à rede é aquele em que os painéis fotovoltaicos ou matrizes são conectados à rede elétrica por meio de uma unidade inversora de energia, permitindo que operem em paralelo com a rede elétrica. Esses sistemas fotovoltaicos conectados à rede possuem painéis solares que fornecem parte ou mesmo a maior parte de suas necessidades de energia durante o dia, enquanto ainda estão conectados à rede elétrica local durante a noite (ANEEL, 2023).

Em um sistema fotovoltaico conectado à rede, também conhecido como sistema solar “grid-tied” ou “on-grid”, os painéis solares fotovoltaicos ou matrizes são conectados eletricamente ou “amarrado” à rede elétrica local que realimenta a energia elétrica na grade. A principal vantagem de um sistema fotovoltaico conectado à rede é sua simplicidade, custos operacionais e de manutenção relativamente baixos, bem como contas de eletricidade reduzidas. A desvantagem, no entanto, é que um número suficiente de painéis solares precisa ser instalado para gerar a quantidade necessária de energia em excesso (PORTAL SOLAR, 2022).

Como os sistemas conectados à rede alimentam sua energia solar diretamente de volta à rede, baterias de reserva caras não são necessárias e podem ser omitidas da maioria dos projetos conectados à rede. Além disso, como esse tipo de sistema fotovoltaico está permanentemente conectado à rede, o consumo de energia solar e os cálculos de dimensionamento do painel solar não são necessários, oferecendo uma ampla gama de opções que permitem um sistema tão pequeno quanto 1,0kWh no telhado para ajudar a reduzir sua eletricidade contas, ou uma matriz montada no chão muito maior que é grande o suficiente para praticamente eliminar completamente suas contas de eletricidade (PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas de energia solar podem ser montados de diferentes maneiras. Em telhados inclinados, em telhados planos, no chão, no telhado ou com um sistema de rastreamento solar (e o chamado rastreador). Sempre tem que olhar para a carga de

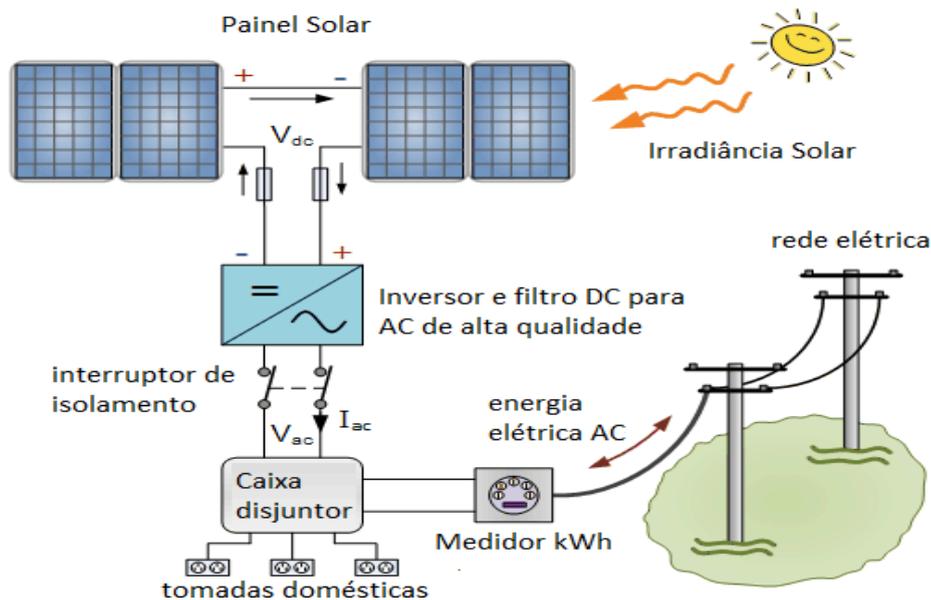
vento e neve. Se estes não forem calculados corretamente, um sistema de energia solar pode falhar ou até mesmo entrar em colapso com ventos fortes ou neve pesada. A maioria dos sistemas de montagem são feitos de alumínio (JUNIOR; SOUZA, 2022).

Quando montado em um telhado plano, uma estrutura de suporte separada é colocada sobre a qual os painéis são montados. A instalação de energia solar é instalada diretamente sobre ou no telhado. Com a chamada 'instalação de telhado', as telhas não são mais instaladas, mas os próprios painéis solares fazem parte do telhado. Tal construção tem um valor estético mais alto, mas as desvantagens são que a montagem em um telhado existente é mais trabalhosa, que há menos fluxo de ar de resfriamento ao redor dos painéis, de modo que a eficiência diminui e que a substituição às vezes é um problema se for mais recente itens têm dimensões diferentes (JUNIOR; SOUZA, 2022).

Um sistema conectado à rede elétrica é conhecido como sistema de energia conectado à rede ou sistema fotovoltaico conectado à rede. Por meio dessa conexão vinculada à rede, o sistema pode captar energia solar, transformá-la em energia elétrica e fornecê-la às residências onde vários dispositivos eletrônicos podem usá-la. Quando o sistema fotovoltaico conectado à rede é instalado em telhados residenciais ou comerciais, ele fornece eletricidade solar a todas as portas e tomadas elétricas (AZAMBUJA, 2022).

Quando o excesso de energia é produzido, o medidor bidirecional no sistema fotovoltaico vinculado à rede exporta unidades extras de eletricidade para a rede. Mais tarde (à noite), essas unidades exportadas são importadas para manter o fornecimento de energia. Além disso, o sistema fotovoltaico conectado à rede permite aos consumidores a flexibilidade de usar eletricidade da rede quando não há luz solar. Este sistema fotovoltaico tem um design simples e requer manutenção mínima, tornando-o mais econômico do que outros modelos fotovoltaicos (AZAMBUJA, 2022), conforme figura 1.

Figura 1 - Sistema fotovoltaico simplificado conectado à rede



Fonte: BLUESOL (2023)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede sempre têm uma conexão com a rede pública de eletricidade por meio de um inversor adequado, porque um painel ou matriz fotovoltaica (múltiplos painéis fotovoltaicos) fornece apenas energia CC. Assim como os painéis solares, os componentes adicionais que compõem um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica são:

- Inversor – O inversor é a parte mais importante de qualquer sistema conectado à rede. O inversor extrai o máximo possível de eletricidade CC (corrente contínua) do painel fotovoltaico e a converte em eletricidade limpa CA (corrente alternada) na tensão e frequência corretas para alimentar a rede ou para fornecer cargas domésticas. É importante escolher o inversor de melhor qualidade possível para o orçamento permitido, pois as principais considerações na escolha do inversor conectado à rede são: *Potência* – Potência máxima de alta e baixa tensão que o inversor pode suportar e *Eficiência* – Com que eficiência o inversor converte energia solar em CA poder.
- Medidor de eletricidade – O medidor de eletricidade, também chamado de medidor de quilowatt-hora (kWh), é usado para registrar o fluxo de eletricidade de e para a rede. Podem ser usados medidores de kWh duplos, um para indicar

a energia elétrica que está sendo consumida e o outro para registrar a eletricidade solar que está sendo enviada à rede. Um único medidor de kWh bidirecional também pode ser usado para indicar a quantidade líquida de eletricidade retirada da rede.

- Painel de disjuntores CA e fusíveis – O painel de disjuntores ou caixa de fusíveis é o tipo normal de caixa de fusíveis fornecida com uma fonte de alimentação elétrica doméstica e instalação com exceção de disjuntores adicionais para conexões de inversor e/ou filtro.
- Interruptores de segurança e cabeamento – Uma matriz fotovoltaica sempre produzirá uma saída de tensão na luz solar, portanto, deve ser possível desconectá-la do inversor para manutenção ou teste. As chaves isoladoras classificadas para a tensão e corrente CC máximas do array e as chaves de segurança do inversor devem ser fornecidas separadamente com fácil acesso para desconectar o sistema. Outros recursos de segurança exigidos pela companhia elétrica podem incluir aterramento e fusíveis. Os cabos elétricos usados para conectar os vários componentes também devem ser classificados e dimensionados corretamente.
- A rede elétrica – Finalmente a própria rede elétrica também se conecta, porque sem a rede elétrica não é um sistema fotovoltaico conectado à rede (AZAMBUJA, 2022).

Um sistema conectado à rede sem baterias é a configuração de energia solar mais simples e barata disponível e, por não precisar carregar e manter as baterias, também é mais eficiente. É importante observar que um sistema de energia solar conectado à rede não é uma fonte de energia independente, ao contrário de um sistema autônomo. Se o fornecimento de energia da rede elétrica for interrompido, as luzes podem se apagar, mesmo que o sol esteja brilhando. Uma maneira de superar isso é ter alguma forma de armazenamento de energia de curto prazo incorporada ao projeto (MOREIRA, et al, 2021).

4.2 Montagem

A montagem de um sistema de energia solar é um processo que envolve a instalação e configuração de painéis solares, inversores e outros componentes

necessários para a geração de energia elétrica a partir da luz solar. O objetivo é criar um sistema eficiente e sustentável que possa suprir as necessidades energéticas de uma residência, empresa ou qualquer outra estrutura. O processo de montagem de um sistema de energia solar geralmente envolve as seguintes etapas (ENERGIA SOLAR MASTER, 2022):

- 4.2.1** Avaliação do local: é necessário realizar uma análise detalhada do local onde o sistema será instalado, levando em consideração fatores como a disponibilidade de luz solar, a inclinação e orientação do telhado, a presença de sombras e outros obstáculos que possam afetar a eficiência do sistema.
- 4.2.2** Dimensionamento do sistema: com base na avaliação do local e nas necessidades energéticas do cliente, é feito o dimensionamento do sistema, determinando a quantidade de painéis solares e inversores necessários para suprir a demanda de energia.
- 4.2.3** Instalação dos painéis solares: os painéis solares são fixados no telhado ou em estruturas específicas, de forma a maximizar a captação da luz solar. É importante garantir uma instalação segura e estável, levando em consideração fatores como a resistência do telhado e a exposição a ventos fortes.
- 4.2.4** Conexão dos componentes: os painéis solares são conectados aos inversores, que convertem a energia solar em energia elétrica utilizável. Além disso, é necessário conectar o sistema à rede elétrica ou instalar baterias para armazenar a energia gerada.
- 4.2.5** Testes e configurações: após a instalação dos componentes, é realizado um teste para verificar o funcionamento adequado do sistema. É necessário configurar os inversores e outros dispositivos para garantir a eficiência e segurança do sistema.
- 4.2.6** Monitoramento e manutenção: é importante realizar um monitoramento regular do sistema para verificar o seu desempenho e identificar possíveis problemas. Além disso, é necessário realizar manutenções periódicas, como a limpeza dos painéis solares e a verificação dos cabos e conexões.

4.3 Legislação e normas técnicas

A instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede cumpre as recomendações das seguintes normas e documentos (ANEEL, PRODIST):

- 4.3.1 MÓDULO 3 (PRODIST) – Acesso ao sistema de distribuição – Seção 3.7;
- 4.3.2 MÓDULO 8 (PRODIST) – Mód. 8 da Resolução n° 395 de 2009 da ANEEL;
- 4.3.3 ABNT NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão;
- 4.3.4 ABNT NBR IEC 62116 – Procedimento de ensaio de anti-ilhamento parainversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- 4.3.5 ABNT NBR IEC 16149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede de distribuição;
- 4.3.6 ANEEL RESOLUÇÃO n° 414/2012;
- 4.3.7 ANEEL RESOLUÇÃO n° 517/2012;
- 4.3.8 ABNT NBR 16150 – Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade;
- 4.3.9 GED 15303 – Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

4.3.1 Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012

A REN 482/2012 da ANEEL estabelece condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2023). A resolução trata dos sistemas geradores de energia interligados a rede distribuidora de energia elétrica, ou seja, interligada ao SIN. As categorias são caracterizadas por suas capacidades instaladas, sendo:

- Microgeração – central geradora de energia elétrica de até 75 kWp;
- Minigeração – central geradora de energia elétrica de 75 kWp a 1 MWp.

O sistema de compensação de energia funciona sem fins lucrativos para o detentor da unidade geradora de energia elétrica. Assim a energia ativa excedente do

consumo é injetada na rede da distribuidora local por meio de empréstimo gratuito. Essa energia injetada na rede é transformada em créditos na fatura de energia da unidade consumidora ou mesmo de outra unidade consumidora desde que possua Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

Antes de se fazer qualquer instalação um processo burocrático deve ser efetuado entre o consumidor e a concessionária. O procedimento envolve várias etapas que são:

- Solicitação de acesso – essa etapa consta na apresentação do projeto e preenchimento de um documento de solicitação fornecido pela própria concessionária;
- Permissão da concessionária – essa etapa é por parte da concessionária que irá avaliar o projeto proposto pelo consumidor e permitir que ele seja instalado. Caso haja necessidade de mudanças no projeto cabe à concessionária dizer ao consumidor as mudanças cabíveis;
- Processo de instalação – depois de a concessionária emitir o acesso o consumidor então pode realizar a instalação;
- Solicitar vistoria – com as obras e instalações concluídas o consumidor deve solicitar que a concessionária realize uma vistoria de sua instalação geradora de energia elétrica;
- Vistoria – cabe a concessionária agendar e realizar a vistoria da unidade geradora de energia elétrica;
- Entrega do relatório – assim que realizada a vistoria é entregue o relatório da vistoria para a concessionária;
- Regularizar aspectos técnicos – caso haja alguma mudança a ser feita o consumidor deve regularizar o que for proposto pela concessionária;
- Aprovar o ponto de conexão – cabe a concessionária aprovar o ponto de conexão entre a unidade geradora de energia elétrica e o SIN;
- Medidor bidirecional – cabe a concessionária a instalação do relógio medidor bidirecional, equipamento único que realiza a leitura da energia ativa consumida e injetada na rede de distribuição (ANEEL, 2023).

A resolução limita que a potência nominal da unidade geradora seja a carga instalada, no caso de consumidores do grupo B. No caso de consumidores do grupo A, a potência nominal da instalação fica limitada à demanda contratada. Com o sistema de compensação de energia elétrica o valor a ser cobrado na fatura é a diferença entre a energia injetada na rede e a energia consumida da rede. Caso a energia ativa injetada seja maior que a consumida esse excedente se transforma em créditos na fatura de energia elétrica do consumidor e pode ser consumida por outros polos de mesmo CPF ou CNPJ previamente cadastrados.

Esses créditos expiram num período de 36 meses. Quanto a adequação do sistema de medição, que é realizado pelo equipamento chamado relógio bidirecional, cabe ao interessado pagar pela aquisição do medidor, porém qualquer eventual defeito ou necessidade de manutenção o custo será de responsabilidade da concessionária. O custo desse novo medidor para o sistema de compensação de energia é o custo do novo relógio bidirecional menos o custo do equipamento já instalado no local onde será instalada a nova unidade geradora de energia elétrica.

4.3.2 Resolução normativa n° 687, de 24 de novembro de 2015

A REN 687/2015 da ANEEL entrou em vigor em de março de 2016. Ela altera alguns pontos da REN 482/2012, as principais alterações são as seguintes:

- Estabelecimento das modalidades de autoconsumo e geração compartilhada;
 - Possibilidade de compensação de crédito entre matrizes e filiais;
 - Sistemas de geração distribuída condominiais (pessoa física e jurídica);
 - Ampliação da potência máxima de 1 MWp para 5 MWp;
 - Ampliação da duração dos créditos de 36 meses para 60 meses;
 - Redução dos prazos burocráticos entre o interessado e a concessionária;
 - Padronização dos formulários de pedido de acesso em todo território nacional;
 - Submissão e acompanhamento de novos pedidos via internet a partir de 2017.
- Os pontos acima representam o resumo do que a nova resolução que rege os sistemas fotovoltaicos conectados à rede traz de novidades quanto a resolução que está em vigor (ENERGY GREEN, 2023)

4.3.3 Lei 14.300

A Lei nº 14.300 estabelece o regime jurídico da geração distribuída, estabelecendo e consolidando regras para que os consumidores gerem sua própria energia, com destaque para as novas regras tarifárias e um período de transição para projetos existentes (ANEEL, 2023).

O modelo de geração distribuída foi estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) por meio da Resolução Normativa nº 482/2012 (alterada pela Resolução Normativa nº 687/2015). O apelo da geração distribuída decorre principalmente da possibilidade de o consumidor pode abater na conta de luz a quantidade de energia elétrica produzida por seu próprio equipamento (o chamado sistema de compensação de energia elétrica ou SCEE). Caso a energia produzida supere a quantidade consumida em determinado mês, o consumidor consegue um crédito que pode ser utilizado em até cinco anos (ANEEL, 2023).

Com a publicação da Lei n. 14.300, a geração distribuída passou a ter uma base legal mais sólida, com regras e procedimentos mais claros. Destaca-se seguir as principais inovações trazidas pela lei:

- Novo regime tarifário e regras de transição: A lei estabelece as regras de transição para o novo regime tarifário:
 1. Unidades existentes: Para as unidades de microgeração e minigeração já em operação, bem como aquelas que solicitarem acesso à distribuidora no prazo de 12 meses a partir da publicação da lei, as novas regras tarifárias só serão aplicadas após 31 de dezembro de 2045.
 2. Novas unidades: Para as unidades que solicitarem o acesso à distribuidora 12 meses após a publicação da lei, valerão as novas regras tarifárias. De acordo com o novo sistema tarifário, entre 2023 e 2029, haverá um aumento gradual do valor a pagar referente à tarifa de distribuição e, a partir de 2029, será aplicado o valor total da tarifa de distribuição. A Lei também prevê que o novo regime tarifário seja regulamentado pela ANEEL, podendo-se considerar eventuais benefícios da geração distribuída, conforme diretrizes a serem definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (Conselho Nacional de Política Energética).

- Redução da capacidade instalada: A Lei prevê a redução, a partir de 31 de dezembro de 2045, do limite máximo da capacidade instalada das unidades existentes de minigeração distribuída no caso de fontes não despacháveis (eg solar) de 5 MW para 3 MW. Para novas unidades, a lei prevê um limite máximo de capacidade instalada de 5 MW para fontes despacháveis (por exemplo, hidrelétricas, inclusive as de tipo rio com possibilidade de controle de produção de energia, cogeração qualificada, biomassa, biogás) e 3 MW para não fontes despacháveis.
- Usinas híbridas e armazenamento: A Lei prevê a possibilidade de usinas geradoras híbridas de microgeração e minigeração e com armazenamento de energia por meio de baterias. Ainda, a lei considera como fontes despacháveis fontes de geração fotovoltaica de até 3 MW de potência instalada, com baterias com capacidade de armazenamento de no mínimo 20% da capacidade de geração mensal.
- Garantia de performance: Os interessados em implantar projetos de minigeração distribuída, com potência instalada acima de 500 kW, deverão apresentar garantia de performance (2,5% do investimento para usinas com potência instalada maior que 500 kW e menor que 1.000 kW, e 5% do investimento para usinas com potência instalada maior ou igual a 1.000 kW). A garantia de execução vigorará por até 30 dias após a conexão do empreendimento à rede de distribuição. Estão isentos da obrigatoriedade de apresentação de garantia de execução projetos com capacidade instalada inferior a 500 kW, bem como aqueles com capacidade instalada superior a 500 kW que sejam implantados nas modalidades de modelo de geração compartilhada por meio de consórcio ou cooperativa e o modelo de múltiplas unidades de consumo (ANEEL, 2023). Além das inovações mencionadas acima, a lei também ratifica e regulamenta conceitos e definições já conhecidos, como os modelos de unidades consumidoras múltiplas, geração compartilhada por meio de consórcios, cooperativas e condomínios. Com a publicação da lei, espera-se um aumento na demanda por investimentos em projetos de microgeração e minigeração, em especial pela necessidade de protocolar o pedido de acesso em até doze 12 meses para ter direito aos benefícios do regime tarifário anterior até 2045 (ANEEL, 2023).

5. MATERIAS E MÉTODOS

Neste tópico serão descritos os métodos utilizados para se chegar ao resultado do projeto.

5.1 Projeto

Nesta seção será apresentado o estudo de caso da instalação de um SFVCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) com potência instalada de 5,60 kWp numa residência na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul.

O sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica foi instalado, conforme apresentado na Figura 2, em uma residência em Dourados-MS, e localização exata da instalação foi obtida através da ferramenta de mapas do Google, o Google Maps (2023), obtendo-se as coordenadas 22°14'45.0"S 54°47'34.8"W.

Figura 2 – Local da Instalação do SFVCR



Fonte: Autor (2023)

No site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), é possível acessar o programa SunData, caracterizado como uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Na base de dados da CRESESB (2023) na cidade de Dourados a estação meteorológica mais próxima do local de

instalação fica a 6,7 km como podemos ver na tabela 1, o que nos fornece dados de irradiação apresentados na tabela 2.

Tabela1 – Estações meteorológicas próximas

Tabela 1 – Estações meteorológicas próxima	
Estação	Distância até o
Dourados 1	
Dourados 2	

Fonte: SunData 3.0 – CRESESB (2020)

Tabela 2 - Irradiação solar média em Dourados/MS

Mês	Temperatura Média (°C)	Irradiação Média Diária (kWh/m ² .dia)	Nº de Dias
Janeiro	28,1	5,9	31
Fevereiro	29,2	5,6	29
Março	29,7	5,3	31
Abril	26,1	4,5	30
Mai	22,8	3,7	31
Junho	23,5	3,3	30
Julho	23,5	3,5	31
Agosto	28,8	4,5	31
Setembro	32,3	4,7	30
Outubro	32,7	5,3	31
Novembro	32,1	5,9	30
Dezembro	30,7	6,4	31

Fonte: SunData 3.0 – CRESESB (2020)

É possível encontrar a irradiação solar média ao longo do ano, realizando a média ponderada da irradiação solar apresentada na tabela 2. A média ponderada é dada pelo produto entre a irradiação média mensal pelo número de dias de cada mês, dividido pelo total de dias do ano, chegando a um valor de 4,9 kWh/m².dia.

5.2 Dimensionamento

Para o dimensionamento do projeto foi necessário determinar a especificação do módulo e suas características, inversor, dispositivos de proteção, bem como a disposição do sistema.

5.2.1 Determinação do módulo e inversor

Para a escolha do módulo foi considerado o consumo médio da unidade consumidora que deverá ser suprido totalmente pelo sistema gerador de energia.

Na tabela 3 pode-se ver o consumo mensal de energia elétrica (em kWh) dos 13 meses anteriores à instalação, entre o mês de janeiro de 2019 a janeiro de 2020.

Tabela 3 - Consumo mensal da UC (Unidade Consumidora) em 2019/2020

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro/2019	471
Fevereiro/2019	718
Março/2019	3
Abril/2019	
Mai/2019	
Junho/2019	
Julho/2019	
Agosto/2019	
Setembro/2	
Outubro	
Novem	
Deze	
___J	

Fonte: Autor (2023)

Assim, a demanda a ser suprida pelo sistema é de 429 kWh/mês, em média. Para determinar a quantidade de módulos necessários para o projeto, foi essencial considerar uma série de fatores cruciais. Isso envolve uma análise minuciosa das especificações técnicas dos módulos em potencial, bem como a adaptação às dimensões do telhado que abrigará o sistema fotovoltaico (SFCR), além das condições de exposição solar na região. Devido à importância da potência dos módulos, uma análise de mercado foi conduzida a fim de identificar o módulo mais

apropriado para atender aos requisitos do projeto. Nesse processo foram aplicados critérios como a disponibilidade no mercado, a confiabilidade do fabricante e o custo associado.

Optou-se pelo módulo fabricado pela Ae Solar Alternative Energy, especificamente o modelo AE350M6-72 (como exibido na Figura 3). Este módulo é composto por 72 células solares de tecnologia de silício monocristalino, apresentando dimensões de 1,990 m x 1,120 m e uma potência de pico de 350 Wp. Essa escolha levou em consideração critérios técnicos, tais como as características operacionais do equipamento em termos de potência nominal, eficiência de conversão energética, e parâmetros elétricos de geração (tensão e corrente elétrica), assim como aspectos mercadológicos, tais como a confiabilidade do fabricante, o preço e a disponibilidade de entrega do equipamento, com o objetivo de favorecer o sucesso do projeto.

Figura 3 - Módulo Solar AE350M6-72 350 Wp



Fonte: AESOLAR, 2023.

As principais características técnicas do módulo se encontram na figura 4.

Figura 4 - Especificações técnicas do módulo

Especificações Técnicas do Módulo Fotovoltaico		AE350M6-72
Potência máxima nominal	P_{max} (Wp)	350
Tensão de máxima potência	V_{mp} (V)	39,46
Corrente de máxima potência	I_{mp} (A)	8,87
Tensão de circuito aberto	V_{oc} (V)	47,149
Corrente de curto circuito	I_{sc} (A)	9,551
Eficiência do módulo	(%)	18,04
Tolerância de Potência	P_{max} (Wp)	0 - 5
Máxima tensão (CC) do sistema	(V)	1000
Temperatura de operação	(°C)	-40 a +85
Coeficientes de temperatura de P_{max}	(%/°C)	-0,38
Coeficientes de temperatura de V_{oc}	(%/°C)	-0,29
Coeficientes de temperatura de I_{sc}	(%/°C)	0,05
Temp. de operação nominal da célula	(°C)	45 +/- 2

Fonte: AESOLAR (2023).

As especificações técnicas, disponíveis nas folhas de dados (Datasheets) dos módulos e do inversor de potência são importantes para a consideração da quantidade de módulos fotovoltaicos que um único inversor consegue suportar. A partir da escolha do módulo fotovoltaico de modelo AE350M6-72 da fabricante AESOLAR Alternative Energy, cujo critério de seleção foi a boa reputação do fabricante (que atua há mais de 20 anos no setor fotovoltaico e oferece 12 anos de garantia no equipamento), além de características elétricas adequadas, preço acessível e pronta disponibilidade de entrega, identificamos alguns parâmetros relevantes a partir dos dados disponíveis na figura 4, tais como:

- Potência Nominal (P_{max}) = 350 Wp
- Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}) = 47,149V
- Coeficiente de temperatura (T_{cVoc}): -0,29%/°C

Escolheu-se o inversor da marca CANADIAN SOLAR, modelo CSI-5KTL1P-GI-FL, utilizando os mesmos critérios de boa reputação do fabricante, preço acessível, disponibilidade e características técnicas adequadas, as quais são apresentadas na figura 5.

Figura 5 - Especificações técnicas do inversor

Especificações Técnicas do Inversor	CSI-5KTL1P-GI-FL	
Potência máxima de entrada (CC)	W	5800
Tensão elétrica de alimentação (CC)	V	120-600
Número de MPP Trackers		2
Faixa de tensão de MPPT	V	90-520
Corrente máxima de entrada	A	11
Corrente máxima de curto circuito	A	17,2
Tensão nominal (CC)	V	330
Potência máxima por MPPT	W	4000
Número de entradas CC por MPPT		1
Potência máxima de saída (CA)	W	5000
Tensão elétrica de saída (CA)	V	220/230
Corrente máxima de saída (CA)	A	25

Fonte: CANADIAN (2023)

Os dados do inversor necessários para os cálculos foram os seguintes, retirados diretamente do datasheet:

- Potência máxima de entrada (P_{inmax}) = 5800 W;
- Tensão máxima de entrada (V_{inmax}) = 600 V;
- Corrente máxima de entrada (I_{inmax}) = 11 A;
- Número de MPPTs = 2;
- Número de strings por MPPT = 1.

Observa-se que o inversor tem uma potência máxima de saída igual a 5.000 W em corrente alternada. A potência mínima necessária para suprir o consumo de eletricidade da residência pode ser calculado a partir da média do consumo de energia, igual a 430 kWh/mês, como já demonstrado anteriormente. Considerando uma média de irradiação solar de 8 horas por dia ao longo do ano (já descontando os períodos de baixa irradiação, como o amanhecer e o entardecer, além de dias nublados e chuvosos), obtém-se um total de 240 horas de irradiação solar por ano. A potência fotovoltaica mínima necessária para abastecer a residência é facilmente calculada pela razão: $430.000 \text{ Wh} / 240 \text{ h} = 1.792 \text{ W}$. Portanto, verifica-se que o inversor analisado consegue atender com sobras a demanda de potência, sendo escolhido para o projeto.

O inversor possui faixa de tensão de 90 V a 520 V para funcionamento do MPPT (sistema que otimiza a geração de eletricidade de acordo com a intensidade da luz

solar). Isso diz que cada string precisa estar com uma tensão acima de 90 V e abaixo de 520 V para que o inversor funcione de maneira otimizada. A tensão dos módulos se soma quando estão em série, mas se mantém igual quando estão conectados em paralelo. Como cada string possui um certo número de módulos em série, sua tensão individual será somada para caracterizar a tensão elétrica de cada string.

A tensão e a corrente elétrica de cada string precisa estar dentro da faixa de operação do inversor. O inversor suporta até 11A em cada MPPT. Como haverá 1 string por MPPT a corrente será somada, pois correntes em paralelo se somam enquanto correntes em série se mantêm constantes. Essa corrente ocorrerá nas 2 MPPTs, pois o número de módulos é o mesmo em ambas as strings, de modo a ter um sistema balanceado. Além disso, deve-se garantir que a corrente de entrada em cada MPPT esteja abaixo da corrente máxima de entrada, limitada a 11 A.

Os painéis solares tendem a apresentar um desempenho mais otimizado em condições de temperaturas mais baixas em comparação com ambientes de temperaturas elevadas. Isso porque painéis solares, na sua maioria, são feitos de silício, um semicondutor que promove o efeito fotovoltaico, mas esse efeito perde eficiência com o aumento da temperatura. Assim, o módulo aumenta sua tensão de circuito aberto quando está sob temperaturas abaixo da Standard Test Conditions (STC-Condições de teste padrão).

Para o dimensionamento, foi considerado o menor valor de temperatura do ano, durante o dia, igual a 12°C (WEATHER SPARK, 2023) de modo a se obter o maior valor da tensão de circuito aberto e verificar se essa tensão é pode ser suportada pelo inversor. Assim, calcula-se a nova tensão de circuito aberto de acordo com a equação 1 (CANAL SOLAR, 2019):

$$Voc_{m\acute{a}x} = Voc + Voc * [(Temp - STC)] * \frac{TcVoc}{100} \quad (1)$$

$$Voc_{m\acute{a}x} = 47,149 + 47,149 * [(12 - 25)] * (-0,29)/100$$

$$Voc_{m\acute{a}x} = 48,93 V$$

Em seguida, foi-se calculado o número máximo de módulos por string, seguindo a equação 2 (PORTAL SOLAR, 2023):

$$MódString = \frac{Vinmax}{Vocmax} = \frac{520 V}{48,93 V} \quad (2)$$

$$MódString = 10,63 \text{ módulos}$$

Sendo assim, o número máximo por string no inversor é de 10 módulos.

Calculando o número máximo de módulos suportado pelo inversor, é necessário considerar as potências máximas do inversor e do módulo, conforme a equação 3 (PORTAL SOLAR, 2023):

$$MódTotal = \frac{Pinmax}{Pmax} = \frac{5800 W}{350 W} \quad (3)$$

$$MódTotal = 16,57 \text{ módulos}$$

Sendo assim, o número máximo de módulos a ser utilizado é de 16, fazendo com que o sistema fotovoltaico tenha uma potência nominal de pico igual a 5600 Wp ou 5,6 kWp (16 x 350 Wp = 5600 Wp).

5.3 Análise dos cálculos

Como esse modelo de inversor possui 02 MPPTs com conexão de 01 string em cada, isso permite que 02 strings sejam conectadas no inversor. A partir da relação de potência dos equipamentos, verificou-se que o número máximo de módulos a serem utilizados é igual a 16 (como demonstrado no tópico 5.2.1 na equação 3). Esses 16 módulos serão divididos em 2 strings, obtendo-se 8 módulos conectados em série por string, o que respeita o limite de 10 módulos calculado anteriormente pela restrição da tensão elétrica de circuito aberto. Além disso, outras observações devem ser consideradas em relação ao dimensionamento do sistema:

- Deve-se sempre analisar se a corrente de curto circuito do módulo é compatível com o inversor. Como a conexão é em série, a corrente de curto circuito de cada string é igual à corrente de curto circuito dos

módulos (9,55 A), que é um valor menor do que a corrente de curto circuito admissível do inversor (17,2 A). Dessa forma, os módulos e a conexão escolhida são compatíveis com o inversor.

- A potência total gerada pelos 16 módulos (5,6 kWp) também é compatível com a potência máxima admissível do inversor (5,8 kW). Além de compatível, trata-se de um arranjo adequado, em que o inversor não se encontra superdimensionado, ou seja, com folga excessiva, o que encarece o projeto sem a produção de qualquer benefício.

Dessa forma, definiu-se o número total módulos fotovoltaicos e o arranjo de conexão elétrica. Serão utilizados 16 módulos fotovoltaicos divididos em 2 strings com 8 módulos conectados em série, e cada um dos strings será conectado a uma das duas entradas do inversor.

5.4 Área de instalação

A área destinada à instalação pode ser determinada por meio da aplicação da equação 4 (PORTAL SOLAR, 2023), a qual incorpora como parâmetros o número de módulos a serem colocados e a respectiva área de cada módulo:

$$\text{Área de instalação} = A \times N_p \quad (4)$$

Onde:

A = área do módulo [m²];

N_p = Número de módulos.

Logo:

$$\text{Área de instalação} = 1,990m \times 1,120m \times 16 = 35,66 m^2$$

Uma visita no local, permitiu verificar a disponibilidade de uma área maior do que a necessária para a instalação dos 16 módulos na orientação Norte, divididos em

duas strings com 8 painéis. O projeto elétrico em diagrama unifilar pode ser encontrado em anexo para melhor ilustrar as conexões entre os equipamentos.

5.5 Geração de energia

A produção de energia elétrica esperada pelo sistema pode ser calculada a partir dos dados de irradiação solar, eficiência de conversão dos módulos e do inversor, e área de superfície fotovoltaica. Esse cálculo é realizado por meio da aplicação da equação 5 (PORTAL SOLAR, 2023):

$$E = 365 \times ISM \times A \times \eta_{PV} \times \eta_{ELET} \quad (5)$$

Onde:

E é a energia elétrica gerada por ano [kWh/ano];

ISM é a irradiação solar média anual [kWh/m².dia];

A é a área superficial total dos módulos [m²].

η_{PV} é a eficiência de conversão operacional do módulo fotovoltaico;

η_{ELET} é a eficiência de conversão do sistema elétrico (inversor e outros).

A eficiência de conversão operacional do módulo deve ser calculada pelo fator de correção de temperatura de operação, fornecido pelo fabricante na folha de dados do equipamento. Primeiramente, é preciso calcular qual seria a eficiência real do módulo. Considerando a temperatura nominal de operação da célula fotovoltaica, dada pelo fabricante:

$$\begin{aligned} \eta_{PV} &= \eta_{MOD} + (T_{CEU} - 25) \times FCT & (6) \\ \eta_{PV} &= 18,08\% + (45 - 25) \times (-0,38/100) \\ \eta_{PV} &= 10,44\% \end{aligned}$$

Substituindo os valores na equação (5):

$$\begin{aligned} E &= 365 \times 4,9 \times 35,66 \times 0,1044 \times 0,85 \\ E &= 5.659,78 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Assim, o sistema será capaz de gerar 5.659,78 kWh/ano, ou seja, atenderá a 100% da demanda do local, como demonstrado no item 5.2.1 na Tabela 3.

5.6 Homologação do SFVCR

A fim de obter a aprovação do projeto, foi imprescindível cumprir diversos critérios estipulados pela concessionária de energia elétrica local. Para avaliação e homologação, a concessionária requisitou a apresentação dos seguintes documentos (ENERGISA, 2023):

1. Formulário específico disponível nos anexos das normas NDU 013 e NDU 015 disponíveis no portal da concessionária de energia (ENERGISA, 2023);
2. Foto do padrão de entrada (tampa aberta e fechada), com informações do disjuntor e bitola dos cabos. Esta informação é necessária para avaliar qual tipo de medição será utilizada (pode ser informada no memorial descritivo);
3. Foto do local da instalação do inversor (pode ser informada no memorial descritivo);
4. ART de projeto e instalação;
5. Memorial descritivo (ver detalhes na norma);
6. Projeto elétrico (ver detalhes na norma);
7. Folha de dados dos equipamentos;
8. Certificado de conformidade do (s) inversor (es) ou número de registro ativo da concessão do Inmetro.

A figura 6 apresenta um fluxograma com as etapas e prazos referentes ao processo de homologação do SFVCR, desde a solicitação de acesso por parte do consumidor até o início do sistema de compensação de energia elétrica.

Figura 6 – Etapas e prazos do processo de homologação do SFVCR



Fonte: Energisa (2020)

O processo de solicitação de acesso e homologação do sistema fotovoltaico foi realizado por meio de procuração assinada e reconhecida em cartório, dando poderes para que o responsável técnico do projeto, habilitado pelo CREA local, assumisse todas as tratativas junto à Energisa, estando ele autorizado a tratar das questões técnicas e comerciais relativas ao processo, que ocorreu sem qualquer tipo de intercorrência.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O kit fotovoltaico instalado para o projeto foi um sistema de 5,6kWp, sendo 16 painéis da marca AE SOLAR, modelo AE350HP6-72, de 350Wp e um inversor da marca CANADIAN SOLAR, modelo CSI-5KTL1P-GI-FL.

6.1 Payback

É o período decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento.

O payback mede o tempo necessário para obter de volta todo o investimento feito. A ideia geral é que, quanto menor o tempo para receber de volta o investimento, menor o risco envolvido. Com um tempo maior para receber de volta o investimento, mais sujeito a mudanças nas condições de mercado estará o investimento, portanto, mais risco envolvido. (BUENO, RANGEL e SANTOS, 2011, p. 146).

De acordo com CAMLOFFSKI (2014), o período de payback revela o tempo necessário para recuperar o investimento realizado. Quanto mais curto for o período de payback, maior será a liquidez do projeto e menor será o risco associado. A determinação desse período pode ser realizada mediante a aplicação da equação 7.

$$\textit{Payback Simples} = \frac{\textit{Investimento Inicial}}{\textit{Economia Anual}} \quad (7)$$

Primeiramente, foi calculado a economia anual gerada pelo sistema. Como demonstrado no item 5.6, o sistema vai gerar em torno de 5.630 kWh/ano, ou pouco menos de 470 kWh/mês. Para calcular a economia anual, utiliza-se a tarifa simples de energia residencial não incentivada, que era a tarifa aplicável para a unidade consumidora antes da instalação do projeto fotovoltaico. As tarifas da Energisa são disponibilizadas no site da empresa e, para essa classe de consumo o valor da tarifa é de 0,88047 R\$/kWh (ENERGISA, 2023b).

Foi calculado então a economia financeira anual através da equação (8), onde P_m é o preço médio da eletricidade (em R\$/kWh) e E_e é a economia energética (em kWh):

$$\textit{Economia anual} = P_m \times E_e \quad (8)$$

Logo:

$$Economia\ anual = 0,88047 \frac{R\$}{kWh} \times 5.659,78\ kWh = R\$ 4.983,27$$

O investimento total na instalação do sistema foi de R\$ 21 mil, como é apresentado na tabela 4:

Tabela 4 – Investimento realizado na implantação do sistema

Item	R\$/unid	Total (R\$)
16 módulos fotovoltaicos AE350M6-72	800,00	12.800,00
01 inversor de potência CSI-5KTL1P-GI-FL	6.000,00	6.000,00
Cabos, conectores e outros componentes		1.000,00
Instalação		1.200,00
Investimento Total		21.000,00

Fonte: Autor (2023)

Logo, o payback simples pode ser calculado:

$$Payback\ Simples = \frac{R\$ 21.000,00}{R\$ 4.983,27} = 4,21\ anos$$

Ou seja, o investimento será recuperado em aproximadamente 4 anos e 3 meses.

6.2 Fluxo de caixa

No entanto, o cálculo apresentado no item anterior não contempla benefícios adicionais gerados pelo aumento do custo futuro da energia. Quanto maiores forem os reajustes da tarifa de energia (que ocorrem todo ano), maior será a economia proporcionada pelo sistema, uma vez que o investimento já foi realizado e o custo de operação e manutenção do sistema é praticamente zero. Para o cálculo de amortização do investimento foi considerada uma taxa de depreciação de equipamento de 0,7% ao ano, pois ocorre uma degradação das células fotovoltaicas com o passar do tempo (a garantia dada pelos fabricantes do sistema é de pelo menos 80% da geração ao longo de 25 anos), e uma inflação média nas tarifas de energia de 4,25% ao ano (ILUMINA, 2022).

Tabela 5 – Fluxo de Caixa

Ano	Geração (kWh/ano)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Fluxo de Caixa (R\$)	Acumulado (R\$)
0	-	-	(21.000,00)	(21.000,00)
1	5.659,78	0,88047	4.983,27	(16.016,73)
2	5.620,16	0,91789	5.158,69	(10.858,05)
3	5.580,82	0,95690	5.340,29	(5.517,76)
4	5.541,75	0,99757	5.528,28	10,52
5	5.502,96	1,03997	5.722,89	5.733,41
6	5.464,44	1,08416	5.924,35	11.657,76
7	5.426,19	1,13024	6.132,90	17.790,66
8	5.388,21	1,17828	6.348,79	24.139,45
9	5.350,49	1,22835	6.572,29	30.711,74
10	5.313,04	1,28056	6.803,65	37.515,39
11	5.275,84	1,33498	7.043,15	44.558,54
12	5.238,91	1,39172	7.291,09	51.849,63
13	5.202,24	1,45087	7.547,75	59.397,38
14	5.165,82	1,51253	7.813,45	67.210,84
15	5.129,66	1,57681	8.088,51	75.299,34
16	5.093,76	1,64382	8.373,24	83.672,59
17	5.058,10	1,71369	8.668,00	92.340,59
18	5.022,69	1,78652	8.973,14	101.313,73
19	4.987,53	1,86245	9.289,01	110.602,74
20	4.952,62	1,94160	9.616,01	120.218,75
21	4.917,95	2,02412	9.954,52	130.173,27
22	4.883,53	2,11014	10.304,94	140.478,21
23	4.849,34	2,19982	10.667,70	151.145,91
24	4.815,40	2,29332	11.043,23	162.189,15
25	4.781,69	2,39078	11.431,98	173.621,13

Fonte: Autor (2019)

A coluna Fluxo de Caixa refere-se à economia anual em gastos com energia elétrica e a coluna Acumulado refere-se ao montante acumulado pelo cliente ao longo dos anos, em valores nominais. Observa-se que o valor acumulado torna-se positivo logo após o 4º ano de operação do sistema, representando a recuperação do capital investido. No período de 25 anos é estimada uma economia acumulada de R\$ 172.621,13 em gastos com energia elétrica.

7. CONCLUSÃO

Esse trabalho descreveu o dimensionamento e instalação de um sistema de geração fotovoltaica residencial conectado à rede, com potência nominal de 5,6 kWp. O sistema conta com 16 módulos fotovoltaicos, conectados a um inversor de potência em dois strings com arranjos em série de 8 módulos em cada string. Esse sistema foi dimensionado para conseguir abater 100% da carga instalada na residência, gerando uma economia de R\$ 4.983,27 de consumo de energia elétrica no primeiro ano.

A análise econômica do projeto mostrou que os resultados gerados garantem o retorno do investimento em 4 anos e três meses, demonstrando que o projeto é viável, o retorno oferecido ocorre bem mais cedo do que é a vida útil estimada do sistema, prevista em 25 anos. Além disso, os resultados econômicos se tornam ainda mais vantajosos com passar do tempo, uma vez que as tarifas de energia têm um histórico de crescimento ao longo dos anos, fazendo com que a economia gerada seja cada vez mais significativa, como demonstrado no Tópico 6.2 no cálculo do fluxo de caixa.

Através deste estudo de caso, demonstrou-se que o uso de sistemas de geração fotovoltaica para aplicação residencial é uma alternativa interessante e que pode trazer benefícios econômicos significativos para os consumidores que a adotarem, além de proporcionar outros benefícios indiretos, como aumento da geração renovável e aumento da segurança energética do país.

8.REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 03/03/2023.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2019.

AZAMBUJA, Allan Vicente Ribeiro. **Estudo e Projeto de um Sistema Fotovoltaico para a Casa do Estudante UFGD**. 2022. Disponível em:

<<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/5027/1/AllanVicenteRibeiroAzambuja.pdf>>. Acesso em: 30/05/2023.

BATISTA, W. A.; et al. **Energias sustentáveis**: a viabilidade econômico-financeira da utilização de energia solar no Brasil. 2020. Disponível em:

<<https://periodicos.unifacel.com.br/index.php/facefpesquisa/article/view/1865>>. Acesso em: 30/05/2023.

CANAL SOLAR. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para o grupo A**. Fev. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos-para-o-grupo-a/>. Acesso em: 03 dez. 2023.

CRESESB - **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**

- SunData v3.0. 2023. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 03/03/2023.

ENERGISA. **II Webinar de Análise de Projetos Particulares Técnicas**. Agosto 2020.

ENERGISA. **Normas Técnicas**. Disponível em:

<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/normas-tecnicas.aspx>. Acesso em: 02 dez. 2023.

ENERGISA. **Taxas e Tarifas**. Disponível em: <https://ajuda.energisa.com.br/tipos-de-tarifa/>. Acesso em: 02 dez. 2023.

ENERGY GREEN. **REN 482 foi atualizada e passará a ser denominada REN 687**. Disponível em: <<http://energygreenbrasil.com.br/ren-482-foiatualizada-e-passara-a-ser-denominada-ren-687>>. Acesso em: 03/03/2023.

ILUMINA. **A tarifa brasileira em dados históricos**. Disponível em:

<https://www.ilumina.org.br/a-tarifa-brasileira-em-dados-historicos/>. Acesso em: 02 dez. 2023.

JUNIOR, Natanael Fernandes Macêdo; et al. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico e Análise de Investimento para o Instituto Centro de Ensino Tecnológico**. 2018. Disponível em:

<https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_266_526_35547.pdf>. Acesso em: 01/06/2023.

MOREIRA JUNIOR, O.; SOUZA, C.C. **Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha**. 2020. Disponível em: <<https://www.interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/1760>>. Acesso em: 30/05/2023.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2017.

NERES, Aureo Rodrigues Ribeiro. **A Energia Solar Fotovoltaica: AS VANTAGENS E DESVANTAGENS**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/25325/1/AUREO+RODRIG O+RIBEIRO+NERES_ATIVIDADE4.pdf>. Acesso em: 30/05/2023.

PORTAL SOLAR. **Dados do mercado de energia solar no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em: 03/03/2023.

PORTAL SOLAR. **Quantas placas solares eu preciso para uma residência?** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quantos-paineis-solares-preciso-para-residencia.html>. Acesso em: 02 dez. 2023.

SILVA, C. F.; DRACH, P. R. C.; BARBOSA, G. S., **Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formar urbanas R**. *Tecnol. Soc.*, Curitiba, v. 15, n. 37, P. 546-575, jul./set. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9800>>. Acesso em: 01/06/2023.

SIMÕES MOREIRA, J.R. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

SOUZA, R. di. **Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo**. 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>. Acesso em: 30/05/2023.

VAZ, João Miguel R. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico**. 2017. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/15117/1/Tese_Vers%C3%A3oFinal-Jo%C3%A3o%20Vaz.pdf>. Acesso em: 30/05/2023.

ENERGIA SOLAR MASTER. **Etapas de Instalação de um Sistema Solar**. 5 jul. 2022. Disponível em: <https://energiasolarmaster.com.br/2022/07/05/etapas-de-instalacao-de-um-sistema-solar/>. Acesso em: 6 ago. 2023.

PORTAL SOLAR. **Energia solar: como calcular**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-como-calcular>>. Acesso em: 6 ago. 2023.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Dourados no ano todo.** Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29524/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Dourados-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 02 dez. 2023.

9. ANEXOS

ANEXO A - Datasheet módulo Ae Solar modelo AE350M6-72





AE SOLAR
alternative energy

Inspiring green-energy since 2003

AE PLUS

MONOCRYSTALLINE PV MODULES

AE M6-72 Series 340 W-360W

72

CELLS



MICRO-CRACK
FREE



PID
RESISTANT



SALT CORROSION
RESISTANT



SAND
RESISTANT



AMMONIA
RESISTANT



HIGHLY STABLE
AND TOUGH

✓ GERMAN QUALITY
AE Solar photovoltaic modules are produced using high quality materials, automated robotic lines, German technology and standards.

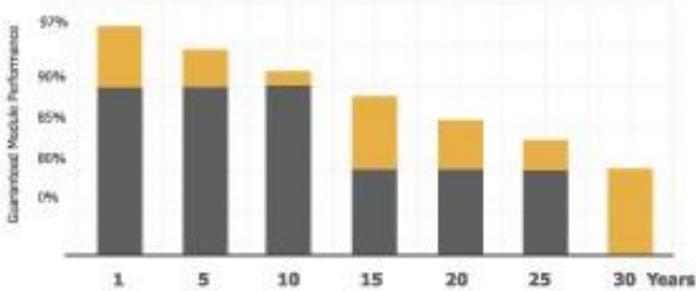
⊙ PERFORMANCE GUARANTEE
AE Solar assures high investment, security and warranty claims by providing linear performance guarantee of 30 years and 12 years of product warranty.

+ PLUS-SORTING
Higher yield due to plus-sorting from 0 up to +5 Wp guarantees the high system efficiency and yield stability.

📄 CERTIFICATES
Lining with international standards, AE Solar Photovoltaic modules are tested and certified under extreme stress conditions and it can bear harsh environment influences.

OUR PERFORMANCE GUARANTEE

● AE Solar PowerPlus ● Commercial Guarantee



Year	AE Solar PowerPlus (%)	Commercial Guarantee (%)
1	~97	~94
5	~95	~92
10	~93	~90
15	~88	~85
20	~84	~81
25	~81	~78
30	~78	~75

30

years

Performance Guarantee

12

years

Product Warranty



Deutsche
Qualität
Garantiert

TECHNICAL DATA

AE M6-72 Series 340W-360W

SPECIFICATIONS		AE340M6-72	AE345M6-72	AE350M6-72	AE355M6-72	AE360M6-72
Nominal Max. Power	P _{max} (Wp)	340	345	350	355	360
Maximum power voltage	V _{mp} (V)	39.09	39.34	39.46	39.51	39.55
Maximum power current	I _{mp} (A)	8.70	8.77	8.87	8.99	9.10
Open-circuit voltage	V _{oc} (V)	46.94	47.08	47.149	47.3	47.38
Short-circuit current	I _{sc} (A)	9.48	9.51	9.551	9.58	9.62
Module efficiency	(%)	17.52	17.78	18.04	18.30	18.55
Power tolerance	P _{max} (Wp)	0 / + 5				
Maximum system voltage DC	(V)	1000				
Operating temperature	(°C)	-40 to +85				
Temp. coefficients of P _{max}	(%/°C)	-0.38				
Temp. coefficients of V _{oc}	(%/°C)	-0.29				
Temp. coefficients of I _{sc}	(%/°C)	0.05				
Nom. Operating cell temp.(NOCT)	(°C)	45±2				

The electrical data apply to standard test conditions (STC): Irradiance of 1000 W/m² with spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25°C.

MATERIAL CHARACTERISTICS

Cell type	Mono-crystalline 156.75mm x 156.75mm
No. of cells	72 (6 x 12)
Dimensions	1956 x 992 x 40mm
Weight	21 kg
Junction box	IP 67 MC 4 compatible
Output cable	1 x 4.0mm ² , 1200mm length or customised
Connector type	MC 4 compatible
Hall resistance	Max. Ø 28 mm, at 23 m/s
Wind load	2400 Pa / 244 kg/m ²
Mechanical load	5400 Pa / 550 kg/m ²

PACKAGING INFORMATION

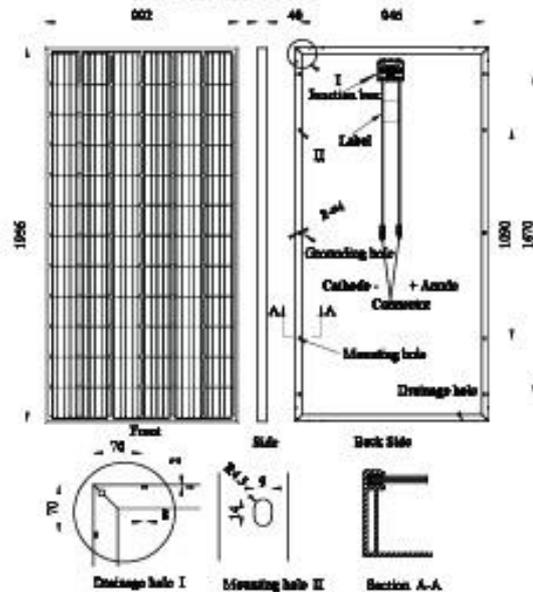
Packing configuration	56pcs/double pallet	52pcs/double pallet
Loading Capacity	672 pcs / 40HQ	624 pcs / 40GP
Size / pallet (mm)	1990x1120x2410	1990x1120x2250
Weight	1300 kg / pallet	1192 kg / pallet

CERTIFICATES



AE-08/009 1/03
All rights reserved. Specifications included in this data sheet are subject to change without notice.

DIMENSIONS



AE Solar GmbH
Hessenschering 14
86343 Koppitzheim
Germany

Tel.: +49 8231 92 92 52 2
Fax: +49 8231 92 92 66 9
Email: sales@ae-solar.com
Web: www.ae-solar.com

ANEXO B - Datasheet Inversor Canadian CSI-5KTL1P-GI-FL



SINGLE PHASE STRING INVERTER

CSI-4KTL1P-GI-FL | CSI-5KTL1P-GI-FL

KEY FEATURES

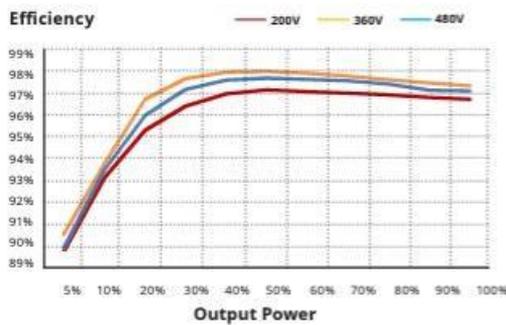
- Max. efficiency up to 98%, wide input voltage range
- Integrated DC switch
- Transformerless topology
- Compact design
- Flexible communication connection: supports RF, WiFi, Ethernet



Standard warranty, extension up to 20 years

EFFICIENCY CURVE

CSI-5KTL1P-GI @220 Vac



HIGH RELIABILITY

- Advanced thermal design and convection cooling
- Built in over-voltage and over-current protection
- DC reverse polarity and AC short circuit protection

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. is one of the most bankable solar companies worldwide.

*For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada | www.canadiansolar.com

TECHNICAL DATA		
MODEL NAME	CSI-4KTL1P-GI-FL	CSI-5KTL1P-GI-FL
DC INPUT		
Max. PV power	4.6KW	5.8KW
Max. DC input voltage	600V	
Start-up DC Input Voltage	120V	
Number of MPP Trackers	2/2	
MPPT Voltage Range	90-520V	
Max. Input Current (Imp)	11A	
Max. Short Circuit Current (Isc)	17.2A	
Number of DC Inputs	1/1	
DC Disconnection Type	Load rated DC switch	
Nominal DC Voltage	330V	
Max. Power per MPPT	4KW	4KW
MPPT Full Power Voltage Range	187-520V	234-520V
AC OUTPUT		
Rated AC Output Power	4KW	5KW
Max. AC Output Power	4.4KW	5KW
Rated Output Voltage	220V/230V	
OUTPUT VOLTAGE RANGE		
Grid Connection Type	1 Φ / PE	
Rated Grid Output Current	18.2/17.4A	22.7/21.7A
Max. Output Current	21A	25A (21.7 for AUS)
Rated Output Frequency	50HZ/60HZ	
Output Frequency Range	47-52HZ OR 57-62HZ	
Power Factor	0.8 Leading ... 0.8 Lagging	
Current THD	<1.5%	
DC Injection Current	<0.5% In	
Max. Apparent Output Power	4.4KVA	5KVA
SYSTEM		
Topology	Transformerless	
Max. Efficiency	98.1%	
EU Efficiency	97.3%	
MPPT Efficiency	>99.5%	
Night Consumption	<1W (Night)	
ENVIRONMENT		
Protection Degree	IP65	
Cooling	Natural convection	
Operating Ambient Temperature Range	-25°C to +60°C	
Storage Temperature Range	-40°C to +70°C	
Operating Humidity	0-100%	
Operating Altitude	4000m	
Noise Emission (typical)	<20dB	
GENERAL DATA		
Display	LCD, 2x20 Z	
Communication Connections	WiFi/RS485 Optional	
Dimensions (WxHxD)	310W*543H*160D (mm)	
Net Weight	11.5kg	
Installation Angle	90 degrees from horizontal	
DC Inputs	MC4	
Warranty	5 Years	
SAFETY		
Safety and EMC Standard	IEC62109-1/-2, NB/T 32004	
Grid Standard	EN50438, G83/2, G59/3, AS4777.2-2015, VDE0126-1-1, IEC61727, VDE N4105, NBR-16149/NBR-16150	

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV equipment requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the product.

