

ANÁLISE COMPARATIVA DAS CURVAS I-V DO MÓDULO FOTOVOLTAICO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E IRRADIÂNCIA

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE I-V CURVES OF THE PHOTOVOLTAIC MODULE UNDER DIFFERENT TEMPERATURE AND IRRADIANCE CONDITION

GABRIELA SALVADOR BERNARDO DE **SOUZA**¹, JÉSSICA MARIANE BRITO DA **SILVA**^{2*}, CAMILA DE BRITO MIRANDA **FAIA**³

1. Acadêmica do curso de engenharia elétrica da Universidade Estadual de Maringá; 2. Professora Mestra, de engenharia elétrica da UniFeitep; 3. Professora Doutora, do curso de engenharia elétrica da Universidade Estadual de Maringá.

* Av. Paranavaí, 1164 - Parque Industrial Bandeirantes, Maringá, Paraná, Brasil. CEP: 87065-005. prof.jessicasilva@unifeitep.edu.br

Recebido em 03/06/2025. Aceito para publicação em 12/06/2025

RESUMO

O estudo analisou o impacto da temperatura da célula e da irradiância solar no desempenho de um módulo fotovoltaico JinkoSolar JKM-585N-72HL4-BDV, considerando três condições operacionais: condições de teste padrão (STC), temperatura nominal de operação de célula (NOCT) e condições reais para São Miguel do Guamá, no Pará. Foram geradas curvas I-V utilizando o software PVsyst, permitindo a análise detalhada dos parâmetros elétricos, como tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito e potência máxima. Os resultados demonstraram que a temperatura é o principal fator que reduz o desempenho do módulo, afetando especialmente a tensão e a potência de saída, enquanto a irradiância influencia a corrente gerada. Nas condições reais, apesar da alta irradiância, a eficiência do módulo foi limitada devido ao aumento da temperatura da célula. Conclui-se que estratégias de mitigação térmica e a consideração de dados climáticos regionais são essenciais para o dimensionamento eficiente de sistemas fotovoltaicos em regiões tropicais.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, módulos fotovoltaicos, temperatura da célula, irradiância solar, condições reais.

ABSTRACT

The study analyzed the impact of cell temperature and solar irradiance on the performance of a JinkoSolar JKM-585N-72HL4-BDV photovoltaic module, considering three operating conditions: STC, NOCT, and real conditions specific to São Miguel do Guamá, Pará. I-V curves were generated using the PVsyst software, enabling a detailed analysis of electrical parameters such as open-circuit voltage, short-circuit current, and maximum power. The results showed that temperature is the main factor reducing module performance, especially affecting voltage and power output, while irradiance influences the current generated. Under real conditions, despite high irradiance, the module's efficiency was limited due to increased cell temperature. It is concluded that thermal mitigation strategies and the consideration of regional climatic

data are essential for the efficient design of photovoltaic systems in tropical regions.

KEYWORDS: Solar energy, photovoltaic modules, cell temperature, solar irradiance, real conditions.

1. INTRODUÇÃO

A energia solar é uma das fontes renováveis mais promissoras, desempenhando um papel crucial na transição energética global e na mitigação das mudanças climáticas. Descoberta em 1839 por Alexandre Edmond Becquerel, a tecnologia passou por avanços significativos, como a criação da primeira célula funcional em 1883 e o desenvolvimento das células solares de silício em 1954, que marcaram o início da modernização dessa forma de geração de energia¹.

Inicialmente aplicada em satélites devido à necessidade de fontes confiáveis, a energia solar expandiu seu uso para o abastecimento terrestre, beneficiada pela queda nos custos de produção e pelo aumento da eficiência dos módulos². Nos anos 2000, países como Alemanha, China e Estados Unidos lideraram a integração de sistemas solares em suas matrizes energéticas³.

Atualmente, a energia solar é uma das fontes de maior crescimento no mundo, com expansão anual média de 20 % na última década, impulsionada por políticas públicas e metas globais de descarbonização⁴. No Brasil, a regulamentação da geração distribuída pela Aneel, em 2012, facilitou o acesso à energia solar, permitindo que o país emergisse como um mercado de destaque devido à sua alta incidência solar⁵.

Avanços tecnológicos foram indispensáveis no aprimoramento dos sistemas fotovoltaicos. Inovações como módulos bifaciais, que captam luz solar em ambas as faces, elevaram significativamente a eficiência e reduziram perdas por aquecimento⁶. Além disso, inversores mais eficientes e sistemas de rastreamento solar contribuíram para maximizar a geração de energia

em diferentes condições climáticas.

A irradiância e a temperatura afetam diretamente o funcionamento dos módulos fotovoltaicos. Altas temperaturas reduzem a eficiência devido ao aumento da resistência interna, enquanto baixa irradiância limita a produção de energia. Comparar condições ideais, como STC (Condições de Teste Padrão) e NOCT (Temperatura Nominal de Operação da Célula), com condições reais permite avaliar o impacto das variações ambientais no desempenho do sistema. Simulações no software PVsyst fornecem análises detalhadas sobre o comportamento do módulo em diferentes cenários, destacando o impacto de fatores como sombreamento parcial e variações de temperatura.

Portanto, este trabalho tem como finalidade explorar a influência da temperatura da célula e da irradiância solar no desempenho do módulo fotovoltaico JinkoSolar JKM-585N-72HL4-BDV, instalado em São Miguel do Guamá, PA. A comparação das curvas I-V (corrente-tensão) sob condições STC, NOCT e reais busca avaliar as diferenças de eficiência e potência gerada, fornecendo subsídios para o planejamento e operação de sistemas fotovoltaicos em contextos reais, alinhados às demandas por soluções sustentáveis e eficazes.

2. METODOLOGIA

Apresentamos os procedimentos adotados para a análise comparativa da curva I-V do módulo fotovoltaico JinkoSolar JKM-585N-72HL4-BDV, sob três diferentes condições de temperatura e irradiância, sendo elas:

- I. Condições Padrão STC;
- II. Condições Padrão NOCT;
- III. Condições reais obtidas para São Miguel do Guamá, no estado do Pará.

Inicialmente, coletaram-se os dados necessários nas diferentes condições de temperatura e irradiância. Em seguida, gerou-se um gráfico da curva I-V do módulo sob essas condições variadas, utilizando-se o software PVsyst para a elaboração dos gráficos.

Com os gráficos gerados, sobrepueram-se as curvas e realizaram-se as análises em conjunto, comparando-se os pontos de corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e máxima potência.

Destaca-se foi considerado o modelo de um diodo e cinco parâmetros para análise dos resultados.

Por fim, criou-se, no software PVsyst, o projeto de uma usina solo na localidade de interesse, contendo 336 módulos fotovoltaicos, com o objetivo de analisar a geração da mesma em condições STC. Para comparação da geração em condições ideais da usina, utilizou-se o site de monitoramento da Growatt, disponível na plataforma da empresa Elevo Energy, responsável pelo projeto de uma usina na mesma localidade.

2.1. Definição das condições de análise

O objetivo inicial é criar uma base de dados para avaliar o desempenho do módulo fotovoltaico sob diferentes condições operacionais. Para isso, definem-se as condições de teste, realizam-se os cálculos

necessários para a obtenção dos dados reais de irradiância e temperatura da célula, considerando que os dados coletados correspondem à irradiação e à temperatura do ambiente local, e estruturam-se as simulações de forma a garantir a precisão e a reprodutibilidade dos resultados.

Nas sessões seguintes, dispõem-se dos valores dos dados coletados, os quais serão analisados graficamente. Realiza-se essa análise com foco nos pontos de tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito e ponto de máxima potência. Por meio desses pontos, obtêm-se observações relevantes sobre os dados, permitindo explicar a influência da temperatura e da irradiância nas condições de operação dos módulos fotovoltaicos.

2.1.1. Condições padrão STC

As condições padrão STC, retiradas do datasheet, correspondem aos parâmetros fornecidos pelos fabricantes de módulos fotovoltaicos para testes em laboratório. Estes parâmetros são:

- temperatura da célula: $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$;
- irradiância solar: 1000 W/m^2 .

2.1.2. Condições padrão NOCT

As condições NOCT refletem situações típicas de operação em campo, conforme definido pelos fabricantes. Os parâmetros considerados são:

- temperatura da célula: $45 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$;
- irradiância solar: 800 W/m^2 .

2.1.3. Condições padrão Reais

Os dados reais foram coletados de bases de dados confiáveis e especializados para a região de São Miguel do Guamá, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB). Também foi coletado o valor médio de Horas de Sol Pleno (HSP) para o local, sendo esse valor igual a 5 horas (h).

- Temperatura média anual do ambiente (T_a): $32 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Irradiação solar diária média mensal: $4,88 \text{ kWh/m}^2$.

Os dados coletados de irradiação e temperatura ambiente precisam ser convertidos em valores adequados para análise. Esses cálculos permitem determinar os dois principais parâmetros de entrada para o modelo fotovoltaico: a irradiância incidente efetiva sobre o módulo (G) e a temperatura da célula (T_c).

$$G = \frac{\text{Irradiação}}{\text{HPS}} = \frac{4,88 \text{ kWh/m}^2}{5\text{h}} = 976 \text{ W/m}^2$$

$$T_c = T_a + \left(\frac{\text{NOCT} - T_{ref}}{G_{ref}} \right) \cdot G$$

$$T_c = 32 \text{ }^\circ\text{C} + \left(\frac{46 - 20 \text{ }^\circ\text{C}}{800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) \cdot 976 = 61,28 \text{ }^\circ\text{C}$$

A Tabela 1 reúne todos esses dados citados.

Tabela 1. Valores de Irradiância e Temperatura.

	STC	NOCT	Dados Reais
Irradiância [W/m^2]	1000	800	976
Temperatura da Célula [$^{\circ}C$]	25	45	61,28

Fonte: os Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados de irradiância e temperatura da célula, foram gerados gráficos de curvas I-V do módulo fotovoltaico JinkoSolar JKM-585N-72HL4-BDV utilizando o software PVsyst. Esses gráficos representam o comportamento do módulo em três condições operacionais: condições de teste padrão, temperatura nominal de operação da célula e condições reais para a região escolhida. Com base nas curvas obtidas, foi possível observar e analisar os impactos da temperatura e da irradiância sobre o desempenho do módulo, evidenciando as variações nos parâmetros elétricos e na eficiência em cada cenário. A seguir, será apresentada uma análise detalhada de cada condição.

3.1. Análise da curva I-V padrão STC

Para ilustrar o comportamento do módulo fotovoltaico em condições ideais de teste, a Figura 1 apresenta a curva I-V, enquanto a Tabela 2 detalha os valores de tensão e corrente correspondentes. Esses dados fornecem uma visão clara dos parâmetros elétricos sob irradiância de $1000 W/m^2$ e temperatura da célula de $25^{\circ}C$, permitindo compreender o desempenho máximo do módulo.

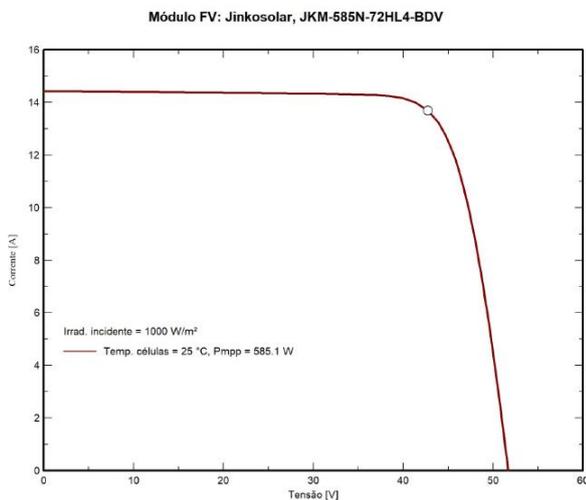


Figura 1. Curva I-V Padrão STC. Fonte: os Autores.

Tabela 2. Dados de Tensão e Corrente da Curva I-V em STC.

Curva	Tensão Inicial [V]	Corrente Inicial [A]	Tensão Final [V]	Corrente Final [A]
Padrão STC	0	14,43	51,27	0

Fonte: os Autores.

A tensão máxima ocorre ao longo do eixo horizontal, onde a corrente é zero. Devido à temperatura da célula ser baixa ($25^{\circ}C$) a tensão de circuito aberto (V_{oc}) é mais elevada. Este ponto reflete a capacidade máxima do módulo de gerar tensão em condições ideais.

A corrente de curto-circuito (I_{sc}) localizada no eixo vertical, representa a corrente máxima gerada pelo módulo quando a tensão é nula. A I_{sc} é maximizada devido à irradiância plena ($1000 W/m^2$).

O ponto de máxima potência (MPP) é identificado pelo ponto na curva onde a multiplicação de I e V é máxima. Com $MPP = 585,1 W$, o módulo opera com eficiência máxima, refletindo o desempenho ideal em laboratório.

A curva tem uma transição suave entre a tensão de circuito aberto e a corrente de curto-circuito, com uma inclinação leve no início da curva, indicando perdas mínimas em condições ideais.

3.2. Análise da curva I-V padrão NOCT

A Figura 2 ilustra a curva I-V para condições que refletem situações típicas de operação em campo com irradiância de $800 W/m^2$ e temperatura da célula de $45^{\circ}C$. A Tabela 3 apresenta os valores de tensão e corrente associados, permitindo analisar o impacto dessas condições sobre o desempenho do módulo fotovoltaico.

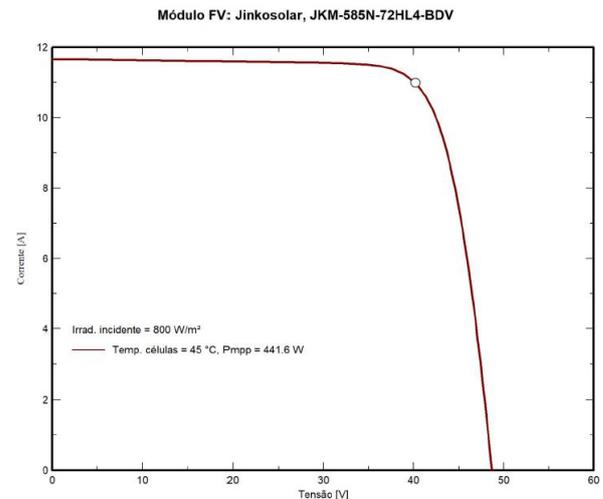


Figura 2. Curva I-V Padrão NOCT. Fonte: os Autores.

Tabela 2. Dados de Tensão e Corrente da Curva I-V em NOCT.

Curva	Tensão Inicial [V]	Corrente Inicial [A]	Tensão Final [V]	Corrente Final [A]
Padrão NOCT	0	11,66	48,68	0

Fonte: os Autores.

A tensão de circuito aberto é menor do que no STC devido ao aumento da temperatura da célula ($45^{\circ}C$), que reduz a tensão em função do aumento na recombinação de portadores de carga no semicondutor. A queda na tensão de circuito aberto reflete o impacto direto da temperatura no desempenho. A corrente é menor em comparação ao STC devido à irradiância reduzida ($800 W/m^2$). Apesar disso, a redução da corrente de curto-circuito é menos acentuada que a da tensão de circuito

aberto, indicando que a irradiância tem maior influência sobre a corrente do que a tensão.

Com $MPP = 441,6 W$, a eficiência do módulo é reduzida em comparação ao STC. Essa redução combina os efeitos de menor irradiância e maior temperatura, demonstrando condições reais de operação no campo.

A curva é mais inclinada perto da tensão de circuito aberto, indicando perdas maiores devido à dissipação de calor. A transição da corrente de curto-circuito para a tensão de circuito aberto é menos suave, o que é característico de condições menos ideais.

3.3. Análise da curva I-V dados reais

A Figura 3 demonstra a curva I-V para condições reais observadas em São Miguel do Guamá - PA, considerando irradiância de $976 W/m^2$ e temperatura da célula de $61 °C$. Os valores de tensão e corrente correspondentes estão detalhados na Tabela 4, evidenciando como as condições climáticas locais afetam o desempenho do módulo.

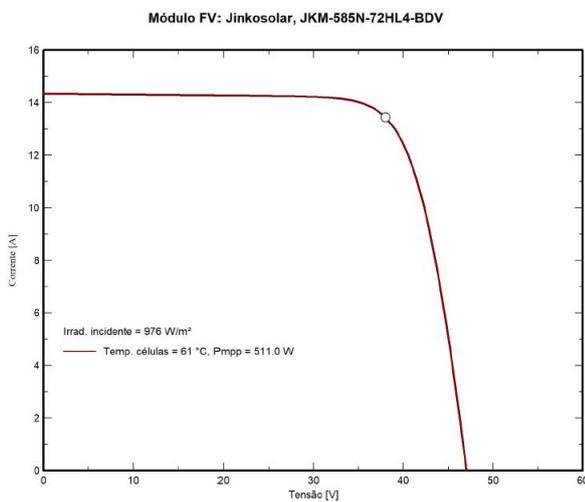


Figura 3. Curva I-V Dados Reais. Fonte: os Autores.

Tabela 4. Dados de Tensão e Corrente da Curva I-V em Dados Reais.

Curva	Tensão Inicial [V]	Corrente Inicial [A]	Tensão Final [V]	Corrente Final [A]
Dados Reais	0	14,34	47,02	0

Fonte: os Autores.

A tensão de circuito aberto é significativamente menor do que nos outros gráficos devido à alta temperatura da célula ($61 °C$). Este ponto reflete uma forte degradação térmica no módulo, já que o aumento da temperatura reduz a banda de energia do material semiconductor.

A corrente de curto-circuito é maior do que no NOCT devido à maior irradiância ($976 W/m^2$). Isso demonstra que a irradiância ainda tem um impacto positivo na corrente, mesmo sob temperaturas elevadas.

O $MPP = 511 W$ é menor do que no STC, mas maior do que no NOCT. Isso ocorre porque a irradiância elevada compensa parcialmente o efeito negativo da temperatura, mas a potência ainda é limitada devido às perdas térmicas.

A inclinação da curva na transição para a tensão de circuito aberto é mais acentuada do que nos outros gráficos, indicando maior dissipação de energia térmica e aumento nas perdas por resistência interna.

3.4. Comparativo das curvas

Para fins de visualização e melhor entendimento, a Figura 4 apresenta as curvas I-V em um único gráfico, permitindo a análise e comparação detalhada entre os diferentes cenários operacionais estudados.

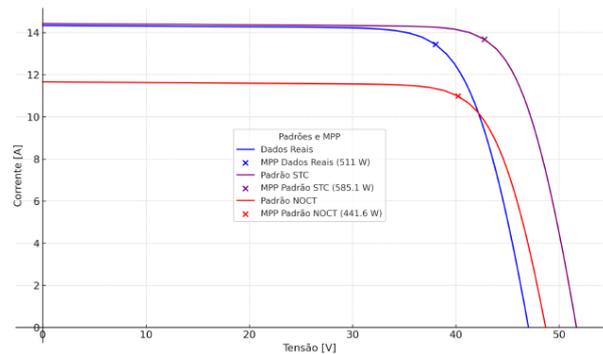


Figura 4. Comparativo das Curvas I-V. Fonte: os Autores.

A análise comparativa entre as condições STC, NOCT e as condições reais permite compreender as diferenças de desempenho do módulo fotovoltaico sob diferentes cenários operacionais. Essas condições refletem desde o desempenho ideal do módulo até seu comportamento em situações típicas de operação em campo e em condições climáticas reais, como as encontradas na região de São Miguel do Guamá, no Pará.

Sob condições STC, o módulo opera com irradiância de $1000 W/m^2$ e temperatura da célula de $25 °C$, representando o cenário ideal definido pelos fabricantes para fins de teste e especificação técnica. Nessa condição, todos os parâmetros do módulo atingem valores máximos: a tensão de circuito aberto é cerca de $47,1 V$, a corrente de curto-circuito chega a $13,88 A$ e a potência de máxima saída alcança $585,1 W$. A eficiência do módulo é também a maior possível, refletindo o desempenho ideal em condições de laboratório. No entanto, é importante observar que essas condições raramente são encontradas em operação real, sendo mais úteis como referência para comparação entre diferentes módulos.

Nas condições NOCT, que consideram uma irradiância de $800 W/m^2$ e uma temperatura da célula de $45 °C$, já se percebe uma redução significativa no desempenho do módulo. A tensão de circuito aberto diminuiu para $45,6 V$ devido ao impacto da temperatura na recombinação de portadores de carga no semiconductor. A corrente de curto, por sua vez, também é menor, atingindo $10,94 A$, refletindo a redução proporcional na energia solar incidente. Essas mudanças resultam em uma máxima potência de $441,6 W$.

A inclinação mais acentuada da curva I-V em NOCT indica que tanto a resistência em série quanto a resistência em paralelo do módulo começam a impactar

mais fortemente o desempenho, sobretudo devido ao aumento da temperatura. A resistência em série, que representa as perdas internas no módulo, está associada à resistência nos contatos metálicos, interconexões entre células e cabos internos. À medida que a temperatura aumenta, a resistência série também cresce, reduzindo a tensão de circuito aberto e dissipando parte da energia elétrica como calor, o que afeta diretamente a potência máxima gerada. Já a resistência em paralelo está relacionada às perdas por corrente de fuga, que ocorrem devido a imperfeições no encapsulamento ou no isolamento das células. Em temperaturas mais elevadas, a resistência em paralelo tende a diminuir, permitindo que parte da corrente fotogerada escape antes de contribuir para a saída do módulo, o que reduz a corrente de curto-circuito.

Por outro lado, as condições reais analisadas, com irradiância de 976 W/m^2 e temperatura da célula de $61 \text{ }^\circ\text{C}$, fornecem um panorama ainda mais realista do comportamento do módulo em campo, especialmente em regiões tropicais. Apesar da irradiância mais elevada, que favorece o aumento da corrente de curto, a alta temperatura reduz a tensão de circuito aberto para cerca de 44 V . Como resultado, a potência máxima alcança 511 W , um valor intermediário entre as condições STC e NOCT. Este cenário destaca o impacto significativo da temperatura na eficiência geral do módulo, mesmo em situações de alta irradiância.

Comparando os três cenários, fica claro que a temperatura da célula é o fator que mais influencia negativamente o desempenho do módulo, reduzindo a tensão e a potência de saída. Em contraste, a irradiância tem um impacto mais direto na corrente gerada, mas seu efeito positivo é frequentemente limitado pelas perdas térmicas associadas a temperaturas elevadas.

3.5. Impacto na geração

Para fins de validação das informações apresentadas nas seções anteriores, utilizou-se uma usina fotovoltaica instalada em solo, na cidade de São Miguel do Guamá-PA. A usina é composta por 336 módulos fotovoltaicos JinkoSolar JKM-585N-72HL4-BDV, permitindo a análise prática do desempenho real em comparação com os dados teóricos.

A Figura 5, obtida por meio do software PVsyst, mostra o gráfico de geração diária da usina sob condições STC.

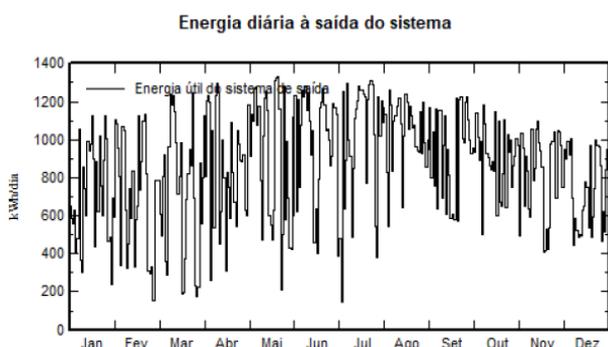


Figura 5. Geração Diária da Usina Solo. Fonte: os Autores.

A partir do gráfico da Figura 5 é possível extrair os valores de geração diária de energia, sendo eles o melhor caso de geração para cada dia e então desses dados calcular os valores de geração mensal, tudo isso no padrão STC, ou seja, valores laboratoriais. Já a Figura 6 mostra o gráfico da geração real da usina em funcionamento. Os dados estão expostos na Tabela 5 para o padrão STC e real da usina.

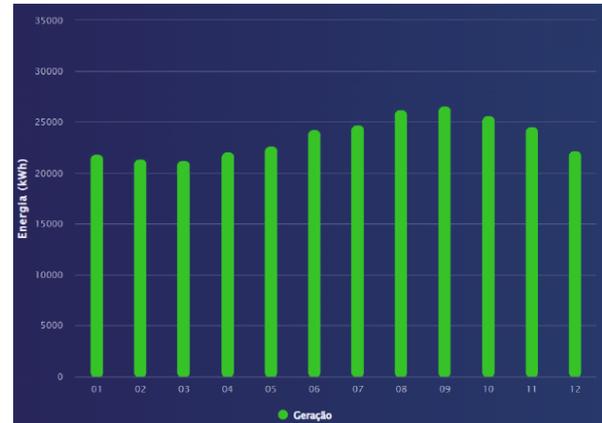


Figura 6. Geração Mensal Real da Usina Solo. Fonte: Monitoramento Growatt.

Tabela 5. Geração de Energia.

Meses	Geração Diária em STC [kWh/dia]	Geração Mensal em STC [kWh]	Geração Mensal Real [kWh]
Janeiro	1120	33600	22083
Fevereiro	1120	33600	21300
Março	1250	37500	21215
Abril	1200	36000	21744
Mai	1320	39600	22567
Junho	1290	38700	24214
Julho	1300	39000	24650
Agosto	1250	37500	26199
Setembro	1210	36300	26780
Outubro	1100	33000	25425
Novembro	1050	31500	24553
Dezembro	1000	30000	22567

Fonte: os Autores.

No contexto de geração de energia, observa-se uma redução significativa quando se compara a geração em condições laboratoriais com a geração em condições reais. Essa diferença corresponde a uma redução de 11.917 kWh , sendo esse valor uma média mensal entre as diferenças de geração, representando uma queda de 33% no desempenho do sistema em relação ao cenário ideal.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou a influência da temperatura da célula e da irradiância solar no desempenho de módulos fotovoltaicos, comparando três condições operacionais distintas. A análise realizada, com base em curvas I-V geradas pelo software PVsyst, evidenciou como as condições ambientais impactam diretamente os principais parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico, incluindo a tensão de circuito aberto, a corrente de curto-circuito e a potência máxima.

Os resultados mostram que a temperatura da célula é o fator mais crítico na redução do desempenho do módulo. À medida que a temperatura aumenta, observa-se uma queda significativa na tensão de circuito aberto e, conseqüentemente, na potência máxima. Por outro lado, a irradiância solar tem uma influência mais direta sobre a corrente de curto-circuito, aumentando à medida que a irradiância cresce. No entanto, mesmo em condições de alta irradiância, o impacto negativo da temperatura elevada limita o ganho de eficiência e potência.

Nas condições STC, o módulo apresentou seu melhor desempenho, com máxima potência de 585,1 W, refletindo a eficiência máxima teórica do sistema. Este cenário, entretanto, é puramente laboratorial e raramente encontrado em situações reais. Em NOCT, que considera irradiância reduzida e temperatura moderada, a máxima potência caiu para 441,6 W, demonstrando o impacto combinado desses fatores em condições típicas de campo. Finalmente, nas condições reais de São Miguel do Guamá, com irradiância elevada e alta temperatura da célula, a máxima potência foi de 511 W. Apesar da alta irradiância, a eficiência foi reduzida devido ao aquecimento das células, que aumenta a resistência interna do módulo e as perdas associadas.

No contexto de geração acumulada, os resultados demonstraram uma queda significativa na geração ao comparar as condições laboratoriais com as condições reais. Essa redução evidencia o impacto das condições ambientais locais sobre o desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Esses dados reforçam a importância de alinhar as expectativas de geração às condições operacionais reais, considerando fatores como temperatura elevada e variabilidade da irradiância. Estratégias de mitigação térmica, como ventilação natural, instalação elevada ou o uso de materiais com menor coeficiente térmico, são fundamentais para minimizar o impacto do aquecimento das células e maximizar a geração de energia.

Além disso, os resultados reforçam a relevância de utilizar simulações baseadas em condições reais, como as realizadas no software PVsyst, para prever o desempenho de sistemas solares com maior precisão. A comparação entre os cenários analisados permite compreender melhor o comportamento do módulo em diferentes condições operacionais, oferecendo subsídios para tomadas de decisão mais assertivas em projetos de energia solar.

Em suma, este trabalho contribui para o entendimento dos desafios e limitações associados à geração de energia fotovoltaica em condições reais, destacando a necessidade de integrar dados climáticos regionais no planejamento e operação de sistemas fotovoltaicos. Essa abordagem não apenas garante maior eficiência e confiabilidade dos sistemas, mas também promove a sustentabilidade e viabilidade econômica em projetos de energia solar, especialmente em regiões de clima equatorial.

Para trabalhos futuros, é possível explorar o impacto de estratégias de mitigação térmica, como ventilação

natural, sistemas de resfriamento ativo ou instalação elevada, para melhorar o desempenho de módulos fotovoltaicos em regiões que possuem uma alta irradiância e temperatura elevada. Outra linha de pesquisa interessante seria o monitoramento do desempenho de módulos fotovoltaicos ao longo do tempo, avaliando sua degradação em condições reais e o impacto cumulativo da temperatura e da irradiância sobre a eficiência dos módulos. Além disso, a realização de análises econômicas detalhadas, considerando os custos de implementação e os benefícios obtidos em diferentes condições climáticas, poderia fornecer uma visão mais completa da viabilidade de sistemas fotovoltaicos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, especialmente as instituições de ensino Unifeitep e a Universidade Estadual de Maringá.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Perlin J. Silicon Solar Cell Turns 50. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, United States. 2004; p.4.
- [2] National Aeronautics And Space Administration (NASA). Space and Terrestrial Photovoltaics – Synergy and Diversity. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20030000611/download/20030000611.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- [3] Pinho JT, Galdino MA. Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos, Grupo de Trabalho de Energia Solar, CEPTEL – DTE – CRESEB, RJ. 2014.
- [4] IEA. Agência Internacional de Energia. Renováveis 2021—Análise e Previsão para 2026. 2021.
- [5] Bezerra FD. Energia solar fotovoltaica. Caderno Setorial ETENE, Banco do Nordeste. 2021; 1(174).
- [6] Lee, Jung-Hun. PVSails: Harnessing Innovation With Vertical Bifacial PV Modules in Agrivoltaics. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2024; 32(5):3841. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.3841>. Acesso em: 26 mar. 2025.