

## ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM REGISTRO DE DADOS POR MEIO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO.

Renilton Cardozo Nunes Neto<sup>1</sup>, Estelio da Silva Amorim<sup>1</sup>, Luciano de Souza da Costa e Silva<sup>1</sup>, Edson Italo Mainardi Junior<sup>1</sup>, Diogo Ramalho de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul – Três Lagoas-MS

renilton.neto@estudante.ifms.edu.br, estelio.amorim@ifms.edu.br, luciano.souza@ifms.edu.br, edson.mainardi@ifms.edu.br, diogo.ramalho@ifms.edu.br

### Resumo

O objetivo principal deste projeto é investigar e compreender como a temperatura das células fotovoltaicas afeta a eficiência da geração de energia. Serão utilizados o Método de Concentração Solar e o Método de Resfriamento por Pastilhas Termoelétricas. Esses métodos permitirão variar a temperatura das células fotovoltaicas e realizar as análises necessárias. A avaliação do impacto da proposta no aumento da produção de energia nas células fotovoltaicas será baseada nos resultados experimentais obtidos com a construção dos protótipos que aplicam os métodos mencionados. Ao longo do projeto de pesquisa, também será desenvolvido um sistema de medição e monitoramento as grandezas elétricas do projeto em questão, utilizando sensores e o microcontrolador Arduino, a fim de automatizar a coleta de dados que serão usados nas análises e interpretações. Os resultados finais devem demonstrar de forma efetiva como essa abordagem contribui para o campo da engenharia elétrica, especialmente no contexto das energias renováveis.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética; Energia Fotovoltaica; Lentes de Fresnel, Pastilhas Termoelétricas

### Introdução

Diante das atuais e drásticas mudanças climáticas que afetam o nosso planeta, surge uma necessidade premente de encontrar fontes de energia que tenham um impacto ambiental cada vez menor. Nesse contexto, a energia fotovoltaica se apresenta como uma opção promissora para atender à crescente demanda por eletricidade, em contraste com as fontes tradicionais que geram eletricidade por meio da queima de substâncias altamente poluentes para o meio ambiente. A energia solar, por sua vez, é altamente favorável ao meio ambiente, não gerando poluentes e sendo uma fonte inesgotável de energia. No entanto, é importante mencionar que os painéis fotovoltaicos enfrentam desafios, como a baixa eficiência na conversão da irradiação solar em eletricidade, em parte devido ao aquecimento das células fotovoltaicas causado pelo aumento da temperatura ao longo do dia.

No cenário atual, percebe-se a necessidade de equilibrar as questões econômicas e ambientais. Uma abordagem para

isso é a utilização de recursos naturais para a geração de energia, como as hidroelétricas, que, no entanto, são suscetíveis a fatores climáticos, como estiagens prolongadas, o que reduz sua capacidade de geração e aumenta os riscos de apagões. Além disso, as hidroelétricas têm impactos negativos, como a desapropriação de comunidades, alagamento de territórios e perda de biodiversidade. (MENDES, 2005).

Com o aumento da demanda de energia sendo suprida por fontes como óleo, carvão e gás natural, que geram poluição ambiental, e considerando que o Brasil possui condições climáticas e geográficas ideais para a energia fotovoltaica, a implementação desse tipo de energia se torna viável para atender à crescente demanda de eletricidade. A energia fotovoltaica, por não emitir poluentes durante a geração de eletricidade e por ser inesgotável, é uma opção promissora. Além disso, a necessidade de energia solar é evidente e pode desempenhar um papel crucial na expansão da matriz elétrica brasileira.

A energia fotovoltaica, por não emitir poluentes na produção de energia elétrica e por ser considerada inesgotável, vem sendo uma opção promissora na produção de eletricidade. Além disso, a evidência da necessidade de energia solar é notória, pois pode cumprir papel importante na expansão da matriz elétrica brasileira (PEREIRA, MARTINS, GONÇALVES, et al., 2017). Ela é gerada através da conversão direta da energia solar em elétrica na célula fotovoltaica. Isso é possível em virtude do efeito fotovoltaico, que pode ser explicado como a radiação eletromagnética que ioniza a região dentro ou próxima da barreira de potencial de um semicondutor, gerando eletricidade através da interação entre a luz e o semicondutor (BELOTO, 1983).

Por outro lado, mesmo sendo a melhor opção para uma energia elétrica sustentável por ser considerada energia inesgotável, não poluir o meio ambiente, exigindo pequena necessidade de manutenção e não produzir ruído, ainda existem desafios a serem superados como à conversão de energia sob condições atmosféricas irregulares de irradiação solar e a perda de eficácia ao transformar a irradiação solar em energia elétrica, quando as células fotovoltaicas são submetidas as altas temperaturas, causando a diminuição do rendimento na geração de energia nos painéis solares.

(FANGRUI LIU et al., 2008; FARANDA; LEVA; MAUGERI, 2008; KOFINAS et al., 2017).

Neste contexto a relevância do projeto se torna evidente, em razão da necessidade do entendimento da influência da temperatura na geração de energia elétrica em uma célula fotovoltaica, dando suporte para as análises de dados que serão obtidos através da construção dos protótipos e a utilização e comparação dos métodos propostos, possibilitando contribuições concretas nas escolhas, dimensionamentos e aplicações de sistemas fotovoltaicos.

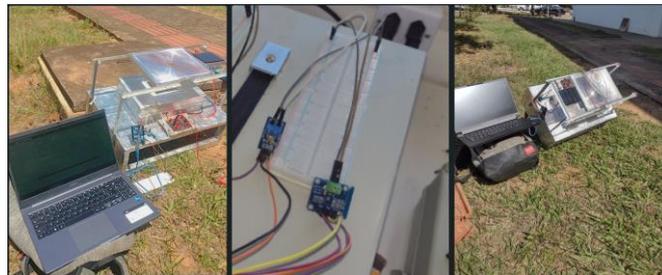
Neste contexto, a importância do projeto reside na observação e análise das flutuações de temperatura em uma célula fotovoltaica. Isso possibilitará a determinação do momento em que a célula atinge seu rendimento máximo, bem como a construção das curvas VxI (Tensão versus Corrente) e VxP (Tensão versus Potência). Por meio dessas curvas, é viável identificar os pontos onde a corrente e a tensão atingem seus valores máximos, o que nos conduz à obtenção da potência máxima do sistema. A análise desses dados fornecerá informações cruciais sobre a eficiência da conversão de energia. As informações serão adquiridas por meio do desenvolvimento de um sistema de medição, capaz de fornecer as variáveis do sistema, utilizando sensores e o microcontrolador Arduino. O objetivo é automatizar a coleta de dados, que posteriormente será utilizada nas análises e interpretações do desempenho do sistema.

## Metodologia

Um protótipo composto por duas células fotovoltaicas de silício cristalino foi empregado neste experimento. Uma das células estava equipada com lentes de Fresnel e um sistema de refrigeração por pastilhas termoelétricas de Peltier, representando o sistema proposto, enquanto a outra célula não possuía as lentes ou o sistema de refrigeração, representando o sistema convencional.

Para avaliar o desempenho desses sistemas, realizaram-se medições manuais de corrente, tensão e temperatura a cada hora, começando às 8h e continuando até às 16h. Simultaneamente, registraram-se medições automatizadas de corrente e tensão usando um sistema de monitoramento automatizado equipado com sensores de corrente e tensão que se comunicavam com um microcontrolador Arduino. Este experimento teve como objetivo destacar a importância da automação no processo de medição, proporcionando maior confiabilidade e precisão. Além disso, a estrutura de alumínio utilizada permitiu o ajuste do ângulo da placa de acordo com a posição do sol, otimizando a captação da radiação solar pela célula fotovoltaica. A Figura 1 ilustra o protótipo utilizado e o sistema de medição automatizado.

**Figura 1** - Protótipo Utilizado Com Aplicação do Sistema de Monitoramento Automatizado



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## Resultados e Discussão

Após a análise das medições realizadas, torna-se claro que a geração de energia elétrica aumenta significativamente com o uso das lentes de Fresnel. No entanto, também é observado que a temperatura na célula fotovoltaica aumenta devido à alta concentração de raios solares, o que resulta na dissipação de parte da energia gerada na forma de calor. Para enfrentar esse desafio, foi implementado um sistema de resfriamento utilizando pastilhas termoelétricas (Peltier) diretamente na célula fotovoltaica, em conjunto com as lentes de Fresnel. O propósito desse sistema é reduzir a temperatura da célula e, por consequência, melhorar a eficiência na conversão da energia solar em energia elétrica. As Tabelas 1 e 2 apresentam as medições de corrente, tensão e potência em momentos simultâneos ao longo do dia, considerando a temperatura e a eficiência das células fotovoltaicas em ambos os sistemas estudados. Na Tabela 1, as medições foram realizadas utilizando um sistema de monitoramento automatizado, enquanto os dados apresentados na Tabela 2 foram obtidos por meio de medições manuais com o uso de um amperímetro e um voltímetro. 65° 48° Tensão (V) Potência (W)

**Tabela 1** - Dados Medidos Utilizando o Sistema de Monitoramento Automatizado.

Horário	Tensão (V)		Corrente (A)		Potência (W)		Temperatura (°C)		ΔPmax (W)
	Conv.	Prop.	Conv.	Prop.	Conv.	Prop.	Conv.	Prop.	
08:00	12,76	12,98	0,0861	0,1762	1,098636	2,287076	26	39	1,18844
09:00	12,72	13,19	0,09491	0,20742	1,2072552	2,73587	48	65	1,5286146
10:00	12,74	13,13	0,09814	0,20874	1,2503036	2,740756	50	69	1,4904526
11:00	12,81	13,12	0,10129	0,21011	1,2975249	2,756643	49	75	1,4591183
12:00	12,55	12,94	0,10318	0,21567	1,294909	2,79077	51	77	1,4958608
13:00	12,29	12,83	0,08534	0,17842	1,0488286	2,289129	50	70	1,2403
14:00	12,61	12,72	0,07967	0,17314	1,0046387	2,202341	56	77	1,1977021
15:00	10,68	10,76	0,02347	0,10734	0,2506596	1,154978	58	82	0,9043188
16:00	8,43	8,98	0,00971	0,02374	0,0818553	0,213185	55	74	0,1313299

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

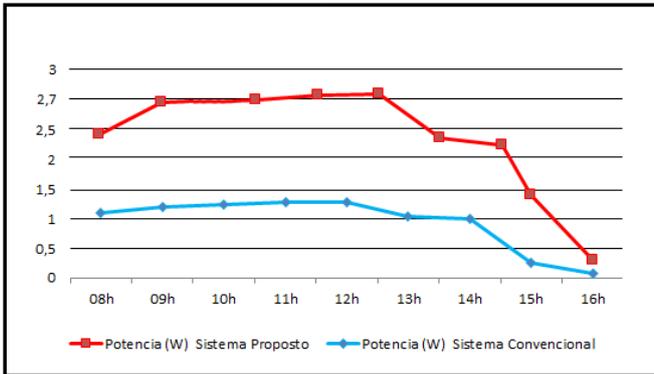
**Tabela 2 - Dados Medidos Manualmente.**

Horário	Tensão (V)		Corrente (A)		Potência (W)		Temperatura (°C)		$\Delta P_{max}$ (W)
	Conv.	Prop.	Conv.	Prop.	Conv.	Prop.	Conv.	Prop.	
08:00	12,83	13,12	0,08589	0,17431	1,1019687	2,286947	26	39	1,1849785
09:00	13,01	13,23	0,09134	0,20657	1,1883334	2,732921	48	65	1,5445877
10:00	12,98	13,29	0,09483	0,20797	1,2308934	2,763921	50	69	1,5330279
11:00	12,93	13,25	0,09821	0,20884	1,2698553	2,76713	49	75	1,4972747
12:00	12,92	13,15	0,10081	0,21172	1,3024652	2,784118	51	77	1,4816528
13:00	12,9	13,13	0,08392	0,17623	1,082568	2,3139	50	70	1,2313319
14:00	12,92	13,18	0,07383	0,17197	0,9538836	2,266565	56	77	1,312681
15:00	11,2	11,27	0,01895	0,09897	0,21224	1,115392	58	82	0,9031519
16:00	8,87	9,54	0,00498	0,02144	0,0441726	0,204538	55	74	0,160365

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Ao comparar os dados apresentados na Tabela 1 com a Tabela 2, é possível notar que os resultados são praticamente idênticos. Isso leva à conclusão de que o sistema automatizado de medição é altamente eficaz, uma vez que oferece precisão nos resultados sem a necessidade de intervenção presencial. Em outras palavras, não é preciso que um profissional dedique tempo à realização dessas tarefas ao longo do dia, ficando sujeito às condições climáticas, como exposição ao sol, vento e sujeira.

**Figura 2 – Comparação Entre as Potências**



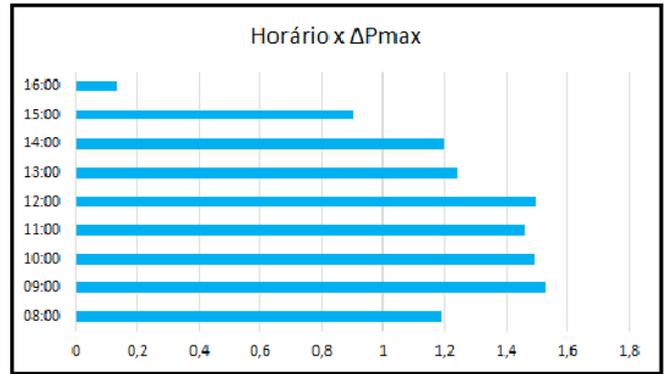
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Com base na Tabela 1 e no Figura 2, a partir do aumento da potência é possível notar o incremento na capacidade de concentração dos raios solares devido à presença da lente de Fresnel. Ao mesmo tempo, há um notável acréscimo na temperatura. A introdução do sistema de resfriamento por pastilha de Peltier desempenha um papel importante na redução da temperatura, o que resulta na diminuição das perdas ôhmicas. Como resultado desse aprimoramento, observa-se um aumento na potência gerada no sistema proposto em comparação com o sistema convencional. O maior ganho de potência foi registrado às 09 horas, com um valor de 1,528W, demonstrando uma melhoria significativa na eficiência energética entre os dois sistemas.

Ao analisar a Tabela 1 e o Figura 3, torna-se evidente que a redução da temperatura tem um impacto direto no desempenho das células fotovoltaicas, mitigando o superaquecimento e diminuindo a degradação da placa, o que resulta na redução das perdas ôhmicas. O ganho de potência pode ser expresso como  $\Delta P_{max} = \Delta P_{Sist.Prop} - \Delta P_{Sist.Conv.}$ . Durante a manhã, às 9 horas, quando a

temperatura é mais amena, foi registrado o maior ganho de potência,  $\Delta P_{max} = 1,528W$ . Por outro lado, o menor ganho de potência foi registrado às 15 horas,  $\Delta P_{max} = 0,904W$ , quando a temperatura chegou ao seu ponto mais elevado, atingindo 82°C. Isso evidencia ainda mais a presença de perdas ôhmicas decorrentes do aumento da temperatura.

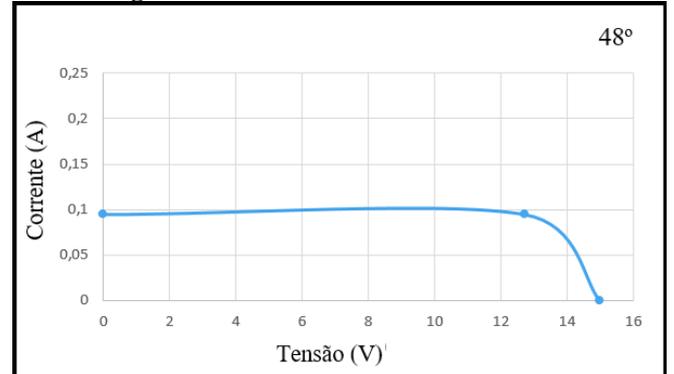
**Figura 3 – Ganho de Potência**



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A Figura 4 representa a curva da tensão *versus* corrente (VxI) do método convencional, onde a tensão máxima de pico ( $V_{mp}$ ) é igual 12,72 V e a corrente máxima de pico ( $I_{mp}$ ) é igual a 0,09491A, sob uma temperatura de 48°C.

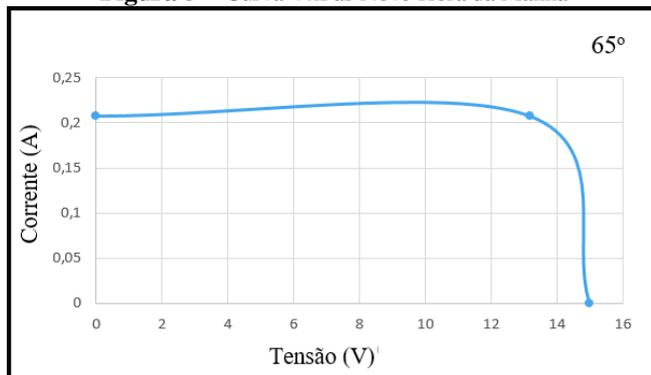
**Figura 4 – Curva VxI às Nove Hora da Manhã**



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A Figura 5 retrata a curva VxI do sistema proposto, sob a temperatura de 65°C com a tensão máxima de pico ( $V_{mp}$ ) igual 13,19 V e a corrente máxima de pico ( $I_{mp}$ ) é igual a 0,2072A. Os valores de  $V_{mp}$  e  $I_{mp}$  oscilam de acordo com as condições de irradiação solar, temperatura e espectro de frequências incidente na placa fotovoltaica.

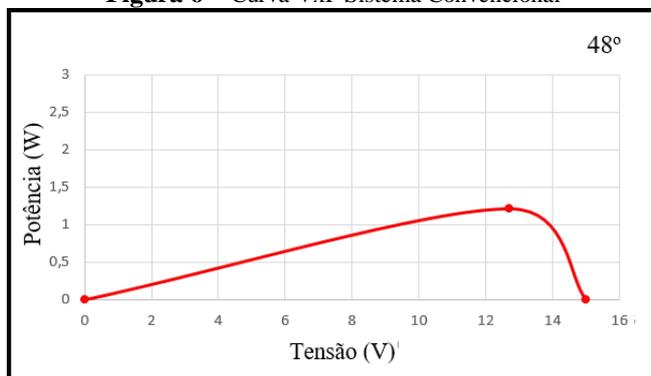
Figura 5 – Curva VxI às Nove Hora da Manhã



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

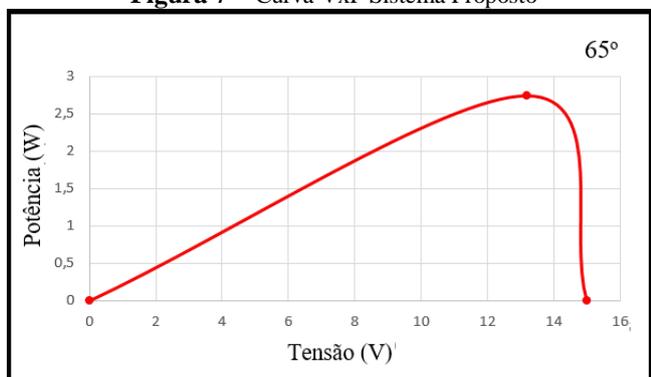
A Figura 6 e Figura 7 representam as Curvas da tensão *versus* potência (VxP) as 9 horas da manhã. Estas curvas variam de acordo com diferentes temperaturas da célula fotovoltaica, com o aumento da temperatura do painel solar a eficiência será menor na conversão da energia. Para realizar a plotagem da curva são utilizados alguns pontos, como por exemplo: de curto-circuito, de circuito-aberto e o ponto de máxima potência (MPP) que se refere ao produto da máxima tensão e máxima corrente no qual a placa fotovoltaica deve funcionar para obter uma conversão mais eficaz.

Figura 6 – Curva VxP Sistema Convencional



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 7 – Curva VxP Sistema Proposto



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## Considerações Finais

Após a análise das medições realizadas, torna-se claro que o uso das lentes de Fresnel resulta em um aumento na geração de energia elétrica. No entanto, é igualmente notável que a temperatura na célula fotovoltaica aumenta devido à concentração intensa de raios solares, levando à dissipação de parte da energia gerada na forma de calor. O impacto adverso das altas temperaturas nas placas solares tem sido um dos principais impulsionadores da busca por novos estudos e tecnologias que possam oferecer desempenho e resultados aceitáveis. Em síntese, pode-se concluir que o sistema fotovoltaico proposto neste trabalho demonstra um aumento significativo na eficiência da geração de energia. A redução da temperatura na célula fotovoltaica tem um impacto direto na conversão da irradiação solar em energia elétrica, resultando na diminuição das perdas por aquecimento.

## Agradecimentos

Agradeço ao IFMS/TL pelo incentivo financeiro de acordo com o Edital nº 029/2022 – IFMS/PROEN.

## Referências

BELOTO, A. F. **Estudo das características de células solares de silício monocristalino**. 1983. 133f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Instituto de Física e Química de São Carlos, São Carlos, 1983. Acesso em: 15 abr. 2022.

FANGRUI LIU et al. **A Variable Step Size INC MPPT Method for PV Systems**. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 55, n. 7, p. 2622–2628, jul. 2008.

MENDES, N. A. S. **As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do Reassentamento Rural de Rosana - Euclides Cunha Paulista**. Universidade Estadual Paulista - Unesp, 2005.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; et al. **Atlas Brasileiro de Energia**. São José dos Campos, 2017. 2. ed. Disponível em: [https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao\\_compressed.pdf](https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf). Acesso em: 09 jun. 2022.