

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS ALIMENTANDO CARGAS INDUTIVAS

Lucas kock Santos<sup>1</sup>, Luciano de Souza da Costa e Silva<sup>1</sup>, Estelio da silva amorim<sup>1</sup>, Edson Italo Mainardi Junior<sup>1</sup>, Diogo Ramalho de Oliveira<sup>1</sup>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul – Três Lagoas - MS

Lucasx5m4@gmail.com, luciano.souza@ifms.edu.br, estelio.amorim@ifms.edu.br, edson.mainardi@ifms.edu.br, diogo.ramalho@ifms.edu.br

### Resumo

Com a crescente demanda de energia elétrica e a grande busca por fontes de energia menos poluentes, a energia fotovoltaica vem sendo uma opção promissora para suprir essa demanda. O ser humano no passar das eras empregou diversos recursos naturais do planeta, a fim de suprir suas necessidades energéticas sem considerar os impactos ao meio ambiente, neste contexto, o sol pode ser explorado como uma fonte de energia limpa e perpétua. Por outro lado, há um problema em relação à eficiência energética e no rendimento da energia fotovoltaica. A proposta do trabalho tem como foco apresentar uma análise do ponto de vista da eficiência energética de um sistema submetido a distintos tipos de carga na geração de energia solar.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Conversão de Energia. Painel fotovoltaico.

### Introdução

Ao longo dos tempos, a humanidade empregou diversos recursos naturais do planeta, a fim de suprir suas necessidades energéticas sem considerar os impactos ao meio ambiente.

A fim de aumentar a presença de fontes renováveis na matriz energética brasileira, se faz necessário reduzir a emissão de poluentes resultante da queima de combustíveis fósseis. Grande parte da fonte energética brasileira vem das diversas instalações hidrelétricas espalhadas pelo país, apesar de ser uma fonte renovável, a mesma enfrenta grandes problemas nos períodos de baixa disponibilidade hídrica.

Neste contexto, o sol pode ser explorado como uma fonte de energia limpa e perpétua. Deste modo, é possível empregá-lo para geração de energia elétrica por meio das células fotovoltaicas, que dispostas em conjunto formam um painel solar. A célula por sua vez, absorve a radiação solar e a converte em energia elétrica, uma maior incidência de raios solares se traduz em mais energia e também mais temperatura, ocasionando perdas por efeito joule.

A proposta deste trabalho é estudar um sistema fotovoltaico isolado do ponto de vista da eficiência energética mediante a variação dos tipos de cargas, resistiva e indutiva. Levando em consideração o comportamento da corrente contínua e alternada, tensão e potência em um inversor de onda modificada.

### Metodologia

Para o desenvolvimento do projeto foi empregado os seguintes materiais:

- 4 placas Fotovoltaicas de 270W (cada);
- 4 baterias estacionárias freedom;
- 1 inversor de onda modificada;
- 1 reostato de 200  $\Omega$ ;
- 4 indutores de 150mH;
- 1 controlador de carga XTRA-N Series;
- 2 disjuntores monopolar 32A STECK;
- 1 osciloscópio;

Devido a uma limitação física no controlador de carga em termos de tensão e corrente suportada pelo mesmo, foi possível empregar somente um painel fotovoltaico de 270 W e uma bateria estacionária. A fim de tornar o processo de análise e comparação mais eficiente, os resultados foram compilados e divididos em três configurações distintas, considerando os diferentes tipos de carga e as situações de emprego do inversor de onda modificada. Para cada cenário descrito foi realizado as medições e análises do comportamento do sistema:

- Cenário 1: Placa fotovoltaica, bateria e controlador de carga, sem inversor e sem carga acoplada.
- Cenário 2: Painel fotovoltaico, bateria, controlador de carga, inversor de onda modificada com carga resistiva acoplada;
- Cenário 3: Placa fotovoltaica, bateria, controlador de carga, inversor de onda modificada com carga indutiva acoplada;

Para o prosseguimento do projeto, foi necessário construir uma nova instalação elétrica, que leva a alimentação dos painéis solares até o quadro de distribuição instalado no laboratório. A fim de manipular de maneira mais prática o esquema de ligação dos painéis solares (série ou paralelo), foi desenvolvido em impressão 3D um borne de acoplamento, com pode ser visto na figura 1 e figura 2. Na figura 1 pode ser observado o sistema em operação com carga indutiva e resistiva respectivamente.

Figura 1. Protótipo construído.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

## Resultados e Discussão

### Cenário 1:

Uma vez definida a configuração desejada, o passo seguinte é montar a bancada de testes, como pode ser observado na figura 2, esse cenário foi configurado somente com a parte CC do sistema fotovoltaico, ou seja, não está conectada ao inversor e também não possui carga acoplada.

Figura 2. Montagem do cenário 1 em laboratório.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A tabela 1 contém os dados obtidos com o osciloscópio, no primeiro experimento.

Tabela 1: dados obtidos através do osciloscópio.

	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
Placa Fotovoltaica	26,348	7,160	188,657
Bateria	13,056	12,067	157,546

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir da Tabela 1 e do Gráfico 1, observa-se que a diferença de potencial que a placa fornece é de 26,348V e uma corrente de 7,160A. Com esses dois dados é possível calcular a potência da placa ( $P_{pv}$ ), alcançando o resultado de 188,657W.

Gráfico 1: tensão e corrente no painel solar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir da Tabela 1 e do Gráfico 2, nota-se que a tensão da bateria é de 13,056V e a corrente corresponde a 12,067A. Com essas informações foi calculada a potência da bateria ( $P_{cco}$ ) resultando em 157,546W.

Gráfico 2: tensão e corrente na bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com as potências calculadas é capaz quantificar o rendimento pela equação 1:

Equação 1. Fórmula do rendimento.

$$\eta = \frac{P_{cco}}{P_{pv}} \times 100 = \frac{157,546}{188,657} \times 100 = 83,51\%$$

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Sendo:

$\eta$  = rendimento;

$P_{cco}$  = potência da bateria;

$P_{pv}$  = potência da placa fotovoltaica.

A eficiência (rendimento) de um painel solar retrata a sua capacidade de conversão da luz solar em energia elétrica por

metro quadrado.

**Tabela 2:** Dados obtidos por meio de medições.

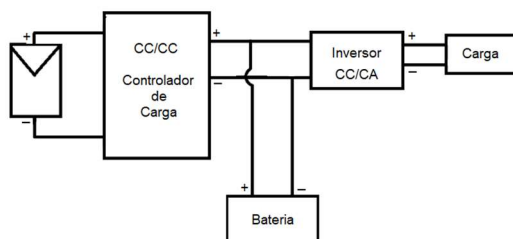
Lado CC				
	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Rendimento ( $\eta$ )
Cenário 2	12,628	10,997	138,87	-
Cenário 3	13,186	4,874	64,269	-
Lado CA				
	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Rendimento ( $\eta$ )
Cenário 2	129,31	735,79m	95,145	68,51%
Cenário 3	133,64	1,721	220,04	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### Cenário 2:

Em seguida, a bancada de testes foi configurada de acordo com as especificações do cenário 2, onde a bateria foi ligada em paralelo com o inversor de onda quadrada e a carga resistiva em paralelo com o inversor. Na figura 3, observa-se o esquema de montagem do circuito.

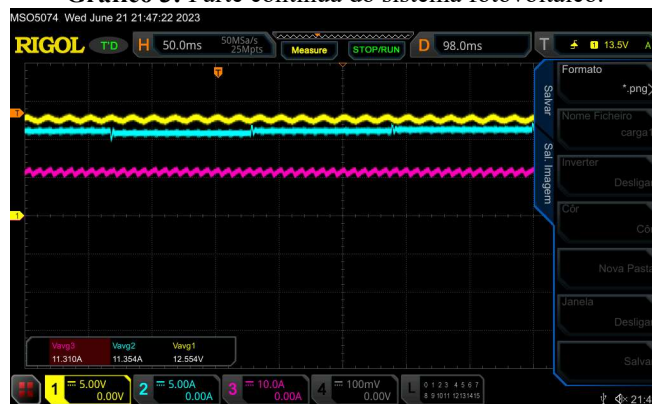
**Figura 3:** ilustração do circuito.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir da Tabela 2 e do Gráfico 3, é possível analisar a parte contínua do circuito, com a tensão da bateria (amarelo), corrente que sai do controlador de carga (azul claro) e a corrente que chega no inversor (rosa). Nota-se no gráfico 3 que apesar de ser a parte CC do sistema, os sinais estão levemente distorcidos.

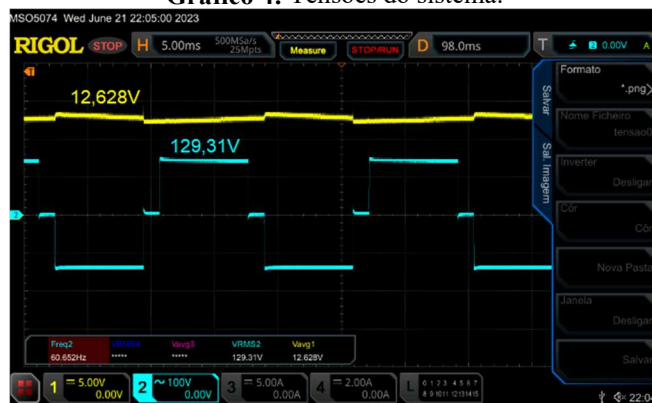
**Gráfico 3:** Parte contínua do sistema fotovoltaico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Posteriormente, foi coletado os dados referentes à parte CC/CA. É possível observar no gráfico 4 que se trata de um sinal alternado de onda modificada, proveniente do tipo de inversor empregado. No gráfico 4, observa-se a tensão da bateria de 12,628V e a tensão alternada de 129,31V.

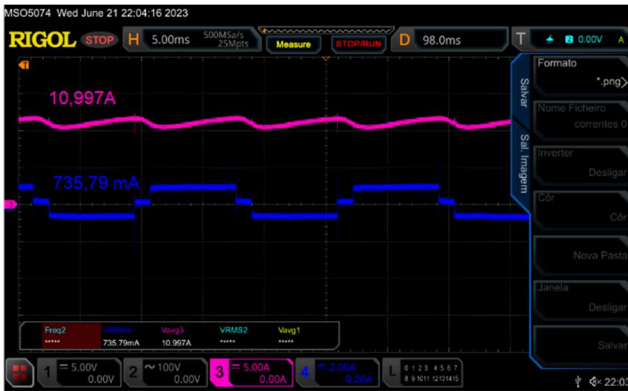
**Gráfico 4:** Tensões do sistema.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Já no gráfico 5 apresentam-se as correntes do sistema, sendo elas a que chega no inversor de 10,997A e a sai do inversor de 735,79 mA.

Gráfico 5: Correntes do sistema.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com as informações dos gráficos 4 e 5 foi calculado as potências do cenário 2. A primeira potência determinada foi da parte contínua (lado CC) sendo ela de 138,87W, posteriormente foi estabelecido a potência da parte alternada (lado CA) resultando em 95,145W.

Como no cenário 1, foi calculado o rendimento no cenário 2:

$$\eta = \frac{P_{ca}}{P_{cc}} \times 100 = \frac{95,145}{138,87} \times 100 = 68,51\%$$

Sendo:

$\eta$  = rendimento;

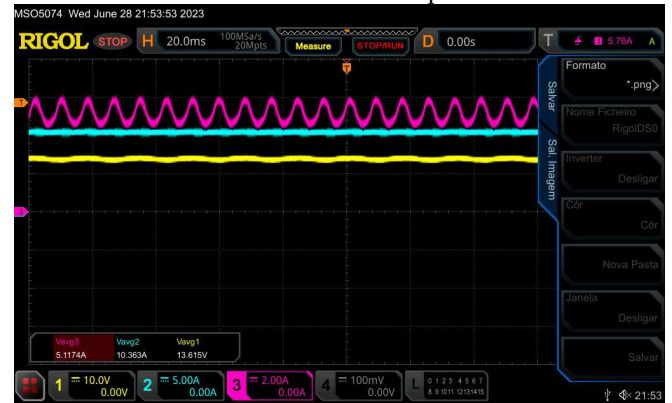
$P_{ca}$  = potência da parte alternada;

$P_{cc}$  = potência da parte contínua.

### Cenário 3:

Na seguinte abordagem, a bancada se manteve com o inversor de onda quadrada, contudo a carga resistiva foi substituída por uma carga indutiva. Sendo assim, foi coletado as informações da parte contínua (CC), como visto no gráfico 6, com a tensão da bateria (amarelo), corrente que sai do controlador de carga (azul claro) e a corrente que chega no inversor(rosa).

Gráfico 6: Dados coletados da parte contínua.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Subsequentemente os dados CC/CA foram medidos e dispostos no gráfico 7, com a corrente que chega no inversor de 8,96A e a corrente alternada que sai do inversor de 1,72A.

Gráfico 7: Correntes do sistema fotovoltaico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Já no gráfico 8 foi possível observar a tensão da bateria de 13,186V e a tensão alternada de 133,64V.

Gráfico 8: Correntes do sistema fotovoltaico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os dados dos gráficos 7 e 8, resultaram na potência da parte CA quantificada em 220,047W e a potência da parte CC no valor de 64,269W. Neste contexto, calcular o rendimento se torna impraticável, uma vez que esse cálculo depende estritamente da potência ativa como base de referência, enquanto a carga indutiva apenas absorve potência reativa no sistema. A potência reativa é aquela que oscila entre a fonte de energia elétrica e a carga, desempenhando o papel de gerar o campo magnético entre os extremos da carga, o que resulta na magnetização das bobinas dos dispositivos elétricos. É crucial ressaltar que a potência reativa não realiza qualquer trabalho, ou seja, não produz calor, movimento, luz ou qualquer efeito similar. A potência reativa desempenha um papel fundamental nos sistemas de distribuição de energia elétrica, o que contribui para a manutenção da qualidade da tensão e a estabilidade do sistema, contudo, suas funções diferem da potência ativa, que é responsável pela realização efetiva de trabalho.

### Considerações Finais

O trabalho desenvolvido teve como objetivo comparar e analisar o desempenho na geração de energia elétrica em um painel fotovoltaico, com propósito de compreender a eficiência energética na conversão de energia solar em energia elétrica, considerando os cenários propostos a serem analisados. O estudo apresentou resultados satisfatórios e eficazes, ostentando conclusões promissoras que permitem a continuidade de projetos relacionados à eficiência na geração solar.

A atuação de forma negativa relacionada à eficiência energética nas placas solares vem sendo um dos principais fatores na busca por novos estudos e novas tecnologias que possam oferecer desempenho e resultados aceitáveis. Existem diversas variáveis que exercem influência na eficácia deste sistema, incluindo fatores como as elevadas temperaturas nas placas solares, a presença de sombreamento, a manutenção inadequada, a inclinação das placas fotovoltaicas, as cargas conectadas, entre outros. Portanto, uma sugestão para futuras investigações poderia ser a comparação entre cargas eletrônicas e outros componentes do sistema.

### Agradecimentos

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

### Referências

HASAN, M. A.; SUMATHY, K. **Photovoltaic thermal module concepts and their performance analysis: A review**. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, v. 14, n. 7, p. 1845–1859, Sep. 2010.

MAKKI, A.; OMER, S.; SABIR, H. **Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance**. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, v. 41, p. 658–684, Jan. 2015.