



## UM ESTUDO DA TEMPERATURA E DA IRRADIAÇÃO SOLAR EM CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Amaury de Souza<sup>1</sup>, Flavio Aristone<sup>1</sup>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 79090-900, Campo Grande, MS, Brasil

\*E-mail: [amaury.de@uol.com.br](mailto:amaury.de@uol.com.br)

Recebido em: 24/11/2017

Aceito em: 13/07/2018

### RESUMO

Esta pesquisa foi desenvolvida no Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. As medidas foram obtidas a partir de um sistema automatizado de coleta e monitoramento de dados para analisar o conjunto de módulos fotovoltaico, constituído por três painéis de 100 Wp conectados em paralelo. Os painéis foram instalados com suas faces voltadas para o norte geográfico e com um ângulo de inclinação de 33° (Latitude Local + 10°). O objetivo é a determinação da eficiência de um sistema fotovoltaico, efetuando medidas de grandezas elétricas e meteorológicas e, a partir desses valores, calcular o fator de forma e a potência máxima gerada. Com os valores calculados do fator de forma, constatou-se que o mesmo tem o seu valor influenciado pela irradiância no plano dos módulos fotovoltaicos e pela temperatura na célula fotovoltaica.

**Palavras-chave:** energia solar; módulo fotovoltaico; eficiência, temperature, irradiância

### 1. Introdução

As características básicas que governam os módulos PV são tensão máxima de potência, corrente máxima de potência, tensão de circuito aberto (Voc), corrente de curto-circuito (ISC), e tensão máxima do sistema.

Determinar o desempenho de um sistema fotovoltaico não depende somente de suas características básicas, mas do ambiente em que eles são colocados. Esse sistema irá medir os efeitos das altas temperaturas ambiente, umidade, velocidade do vento, sobre a sua eficácia de trabalho [1].

A temperatura de operação desempenha um papel central no processo de conversão fotovoltaica. Tanto a eficiência elétrica como a potência de saída de um módulo fotovoltaico dependem linearmente da temperatura de funcionamento, as várias correlações propostas na literatura representam simplificadas equações que podem ser aplicadas aos módulos fotovoltaicos ou geradores fotovoltaicos [1-4].

Vários autores avaliaram o desempenho e o rendimento de sistemas fotovoltaicos para gerar eletricidade [5-11]. O desempenho geral de células solares varia com a variação de temperatura e a irradiância. Com a mudança no tempo durante o dia, a energia recebida do Sol pelo painel fotovoltaico sofre alterações, tanto a irradiância como a temperatura afetam a eficiência da célula solar [12-15].

RHIF [16] afirma que os sistemas fotovoltaicos apresentam um rendimento mais elevado quando a incidência dos raios solares é perpendicular à superfície do painel, o que significa que um sistema de posicionamento automático dos

módulos fotovoltaicos pode aumentar a produção de energia em até 40%. O objetivo é estudar a eficácia de energia gerada, dependendo da temperatura e da irradiação solar na célula fotovoltaica.

### 2 Parte Experimental ou Metodologia

#### 2.1 Caracterização do Sistema Fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é constituído por três módulos fotovoltaicos de 100 Wp conectados em paralelo, instalados com suas faces voltadas para o norte geográfico e com um ângulo de inclinação de 33°, que é o valor da latitude local + 10°.

Os dados das características dos sistemas são fornecidos pelo fabricante para a condição padrão de operação: radiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup> e temperatura de 25 °C, sujeitas a variações de 10%, e uma insolação média diária de 4,5 horas de pico.

Características Elétricas (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1,5); Tensão nominal (Vn): 12 V; Potência máxima (Pmp): 100 Wp; Corrente de curto circuito (Isc): 6.54 A; Tensão de circuito aberto (Voc): 21.6 V; Corrente de máxima potência (Imp): 5.74 A; Tensão de máxima potência (Vmp): 17.4 V; Características Físicas. Número de células em série: 36; Número de células em paralelo: 2; Dimensões C x L x h (mm): 1310 x 652 x 33.8; Peso (kg): 11; TON-(800 W/m<sup>2</sup>, 20 °C, AM 1,5).



Figura 1 - Foto do módulo solar.

## 2.2 Medições e Coleta de Dados

Para determinar a eficiência do sistema fotovoltaico foram necessárias as seguintes medições dos parâmetros elétricos e meteorológicos pertinentes ao sistema: Tensão de circuito aberto do sistema ( $V_{oc}$ ), em Volts; Corrente de curto-circuito do sistema ( $I_{sc}$ ), em Amperes; Irradiância  $G_i$  – paralelo ao plano dos módulos ( $33^\circ$ ), em  $W/m^2$ ;  $G_h$  - no plano horizontal, em  $W/m^2$ ; Temperatura no sistema  $T_c$ , temperatura na superfície (vidro) dos módulos que foi considerada como a temperatura na célula,  $T_a$  - temperatura ambiente, todas em  $^\circ C$ ; e a velocidade do vento ( $V_v$ ), em m/s.

Para a realização das medições dos parâmetros elétricos foi desenvolvido um sistema de comando, através de relés, para desconectar a carga dos módulos fotovoltaicos e obter a tensão de circuito aberto. Para se obter a corrente de curto-circuito, era feito o curto-circuito dos módulos. Essas medições foram realizadas em intervalos de 1 hora.

As coletas de dados foram feitas pelos sensores meteorológicos: pluviômetro, piranômetro, anemômetro, e termômetros para medir a temperatura ambiente e no módulo (célula), e por sensores elétricos para medir a tensão de circuito aberto e a corrente de curto-circuito dos módulos, e correntes e tensões de entrada e saída dos controladores de cargas e inversores. O armazenamento de dados foi feito utilizando o equipamento datalogger.

O datalogger foi utilizado também para comandar a abertura e fechamento dos relés com a finalidade de efetuar a leitura da tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito dos módulos. O sistema foi programado para realizar leituras de 10 em 10 segundos dos dados meteorológicos e apresentar a média dos valores em intervalos de uma hora. As leituras da tensão de circuito aberto e da corrente de curto circuito dos módulos fotovoltaicos foram realizadas a hora.

## 2.3 Procedimento e Cálculo dos Parâmetros Elétricos

A eficiência do sistema fotovoltaico em cada momento da medição foi calculada pela potência máxima do sistema instantânea e, para isso, foi preciso calcular o fator de

forma ( $FF (G_i)$ ) para cada condição particular de operação. Esses cálculos foram realizados conforme Lorenzo (1994), que considerou em sua metodologia os valores medidos da irradiância no plano dos módulos ( $G_i$ ) e a temperatura na célula fotovoltaica ( $T_c$ ) para obter o Fator de Forma ( $FF$ ) de uma célula fotovoltaica.



Figura 2 - Sistema fotovoltaico de 300 Wp.



Figura 3 - Sistema de comando.

## 3 Resultados e Discussão

A Figura 4 representa as médias horárias diárias para o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2014. Os dados meteorológicos fazem referência à Velocidade do Vento ( $V_v$ ), à Irradiância no plano horizontal ( $G_h$ ) e no plano inclinado ( $G_i$ ), e à Temperatura Ambiente ( $T_a$ ) e Temperatura da Célula ( $T_c$ ). Referem-se também aos parâmetros elétricos medidos nos módulos fotovoltaicos como: Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ ) e Corrente de Curto Circuito ( $I_{sc}$ ), e os valores calculados do Fator de Forma ( $FF (G_i)$ ), da Potência Máxima ( $P_{max}$ ) e da Eficiência ( $\eta$ ).

A Figura 4 relaciona e compara o comportamento da tensão de circuito dos módulos fotovoltaicos medidos em função da variação da temperatura das células e a irradiância

no plano inclinado dos módulos. Os valores das tensões de circuito aberto medidos e observados na Figura 4 são crescentes até o ponto em que a temperatura da célula atinge o valor de 34°C e a irradiância no plano dos módulos o valor de 636 W/m<sup>2</sup>. A partir desse ponto, o valor da tensão de circuito aberto passa a ser decrescente devido ao aumento da temperatura da célula em consequência do aumento da irradiância, comprovando, assim, a teoria de que, mesmo com o aumento da irradiância a partir de um determinado valor da temperatura na célula, a tensão do módulo fotovoltaico começa a decrescer.

Observa-se na Figura 4 que a curva da corrente medida para o sistema fotovoltaico em operação tem a mesma forma da curva da irradiância no plano dos módulos fotovoltaicos, que também se assemelha à curva da temperatura na célula fotovoltaica. Isto comprova o efeito direto da variação da intensidade da irradiância na corrente gerada pelo módulo fotovoltaico. A corrente gerada pelo módulo fotovoltaico aumenta linearmente com o aumento da intensidade luminosa, atingindo o valor de 17,2 A às 13:00 horas. Observa-se que o fator de forma tem o seu valor influenciado pela irradiância no plano dos módulos fotovoltaicos e pela temperatura na célula fotovoltaica. A variação do valor do fator de forma é inversamente proporcional à irradiância no plano dos módulos e à temperatura na célula, como mostra a Figura 4. Como o valor do fator de forma diminui com o aumento da irradiância, deve-se ter, para a condição inicial, um valor do fator de forma maior que o da condição padrão. Isso fará com que, quando a irradiância e a temperatura atingirem a condição padrão, o fator de forma também atingirá o valor fornecido pelo fabricante.

Observa-se que a irradiância no plano dos módulos, para as temperaturas na célula indicam a variação do valor do fator de forma com a variação da irradiância no plano dos módulos fotovoltaicos, como ilustrado pela figura 4.

Observa-se que a curva da potência máxima do sistema fotovoltaico calculado tem a mesma forma da curva da irradiância no plano dos módulos fotovoltaicos para o período de insolação. Isso mostra que a potência gerada por um sistema fotovoltaico é diretamente proporcional à intensidade da irradiância no plano do módulo.

A Figura 4 relaciona as eficiências calculadas do sistema fotovoltaico com a temperatura na célula e com a irradiância no plano dos módulos, considerando o período de insolação. Eberhardt [18] afirma que alguns fatores, como as definições das condições padrões, medição da curva corrente-tensão, fonte de iluminação, medida de área e sensor de referência, influenciam na determinação da eficiência.

Os valores da eficiência do sistema fotovoltaico calculado, ilustrados na Figura 4, atingiram a média horária de 14,05 %, que é igual ao valor da eficiência fornecido pelo fabricante para a condição padrão de operação, igual a 14 %.

Considerando a flutuação de 10% da eficiência fornecida pelo fabricante (12,6 a 15,4 %), para a condição padrão de operação, e pelos resultados obtidos através da metodologia utilizada, pode-se afirmar que, para essa condição particular de operação, os módulos fotovoltaicos apresentam um desempenho satisfatório.

A eficiência média dos sistemas foi igual à eficiência nominal, satisfatória, mesmo considerando que a acumulação de poeira sobre os módulos diminui a radiação incidente sobre as células fotovoltaicas. Isso pode implicar na redução de geração de eletricidade.

O aumento da temperatura das células devido ao aumento do nível de irradiância reduz a eficiência do módulo devido as características intrínsecas das células. A tensão diminui com o aumento da temperatura.

Observa-se na Figura 4 que a curva da irradiância no plano dos módulos fotovoltaicos e a curva da temperatura na célula estão defasadas durante o período de insolação, mas possuem a mesma forma e proporcionalidade. A curva da irradiância está um pouco à frente, o que é justificável, pois a variação da temperatura na célula não responde de imediato à variação da irradiância no plano dos módulos.

A irradiância continua crescente chegando a valer 816 W/m<sup>2</sup> às 12:00 horas, quando a temperatura na célula atinge 34,0°C. A partir desse instante a irradiância diminui. Os resultados mostram que a partir desse momento o período de insolação e a temperatura na célula respondem mais rapidamente à variação da irradiância. A partir das 14:00 horas a irradiância decresce até 274W/m<sup>2</sup> e a temperatura atinge o valor médio de 26.6 °C. Certifica-se que no final do período de insolação tem-se uma temperatura na célula maior para uma irradiância menor do que no início do período de insolação. Isso é devido à inércia térmica do módulo fotovoltaico.

A temperatura diurna de uma célula solar não é simplesmente igual à temperatura ambiente, uma vez que as células solares são de cor escura e, portanto, absorvem maior porção da energia do sol. Durante o dia, uma célula solar opera mais quente do que a temperatura ambiente por um fator que depende do isolamento. À medida que a temperatura da célula aumenta, a corrente de curto-circuito, o  $I_{sc}$  aumenta um pouco, e a potência máxima,  $P_{max}$ , a eficiência,  $\eta$ , a tensão do circuito aberto,  $V_{oc}$  e o fator de preenchimento,  $F.F$  diminuem conforme mostrado na Figura 4.

O aumento da corrente de curto-circuito com a temperatura é atribuído à variação da absorção da luz. Sob as condições consideradas, a borda de absorção solar muda devido a uma diminuição da largura do espaço proibido pelo cristal e ao número de pares gerados no volume que aumenta.

Para explicar a variação do  $V_{oc}$  com a temperatura, os efeitos de todos os parâmetros de controle de tensão (mobilidade, tempo de vida, intervalo de energia e coeficiente de absorção) devem ser incluídos na análise. No caso geral, a tensão do circuito aberto é determinada pela relação  $V_{oc} \approx \ln$

$I_{sc} / I_o$ , de onde se conclue que o  $V_{oc}$  deve crescer à medida que o  $I_{sc}$  aumenta. Dependendo do mecanismo de fluxo atual, o valor de  $I_o$  é proporcional a  $n^2$ . À medida que a temperatura aumenta ela provoca um crescimento exponencial de  $I_o$ . A potência máxima em toda a carga ideal e a eficiência dependem fortemente da temperatura; A forma dessa dependência é próxima de linear.

Na Figura 5a, encontra-se a eficiência média mensal do módulo fotovoltaico. Observou-se que o valor da eficiência mínima foi de 7.46% (junho) e a máxima de 8.27% (fevereiro), com uma média de 7.93%. Na Figura 5b encontra-

se a eficiência média horaria do módulo fotovoltaico. Observou-se que o valor da eficiência mínima foi de 6.2 (das 5.00 horas às 20.00 horas) e máxima igual a 11.3% (às 12.00 horas), com uma média de 7.8%. Salienta-se, dessa forma, que mesmo tendo sido observada uma variação percentual entre os índices de máxima e de mínima eficiência, fica demonstrado que essa eficiência não apresentou variações significativas durante o período de janeiro a dezembro de 2014. Esse resultado comprova que os índices obtidos podem ser usados para o dimensionamento otimizado de sistemas fotovoltaicos.

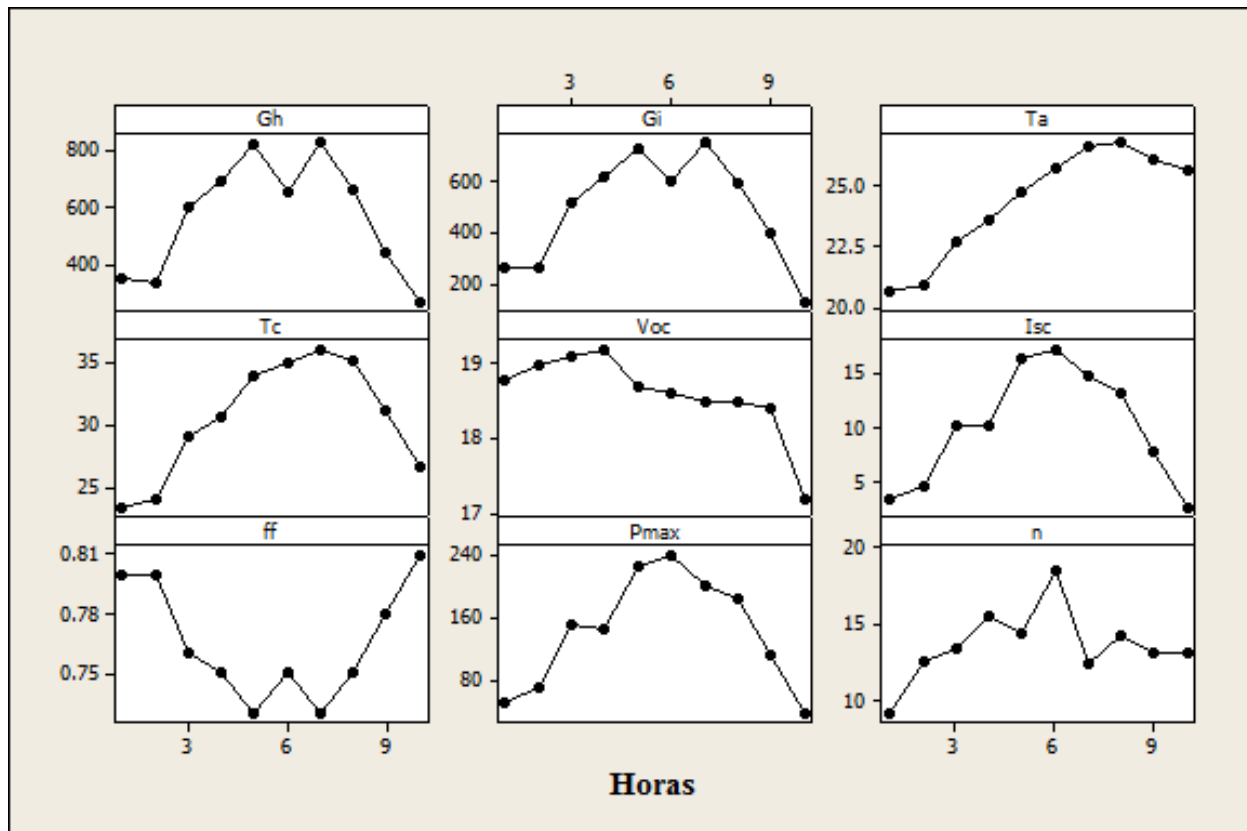


Figura 4- Representação das médias horárias e diárias para o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2014, referente a Irradiância no plano horizontal ( $G_h$ ) e no plano inclinado ( $G_i$ ), Temperatura Ambiente ( $T_a$ ), Temperatura da Célula ( $T_c$ ), Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ ) e Corrente de Curto Circuito ( $I_{sc}$ ), e os valores calculados do Fator de Forma ( $FF$  ( $G_i$ )), da Potência Máxima ( $P_{max}$ ) e da Eficiência ( $\eta$ ).

A eficiência média mensal dos módulos em condições reais de campo sofre redução de 67,4% da eficiência média do maior valor dos módulos com relação ao padrão de teste STC. Segundo dados do fabricante, essa eficiência é de 15.4%.

As variações da temperatura das células são quase idênticas até as 12 horas, e a tensão em seus terminais também, até as 11 horas. Esses resultados são semelhantes outros trabalhos relatados encontrados na literatura [19-20].

Vê-se, a partir da Figura 4, que o fator de forma (FF)

varia inversamente com as grandezas física medidas no circuito. Esses resultados estão de acordo com a literatura [17-22] e com dados apresentados em trabalhos anteriores [23-25].

A Figura 5 mostra a variação dos valores médios da eficiência do módulo fotovoltaico contra a temperatura ambiente durante o período de estudo. Vê-se a partir do padrão do gráfico que a temperatura ambiente e a eficiência são correlacionados. A análise estatística demonstra que o valor do coeficiente de correlação ( $r$ ) é 0.852, o que confirma que existe uma forte correlação positiva entre a temperatura ambiente e a eficiência. A equação de regressão obtida a partir

da análise mostra que a temperatura ambiente variável é independente e a eficiência do módulo fotovoltaico é dependente da irradiância solar. Mais uma vez o valor do coeficiente de determinação (R) torna-se 0.852, o que indica que 85,2% de variação total pode ser explicada pela relação linear entre temperatura e eficiência (como descrito pela equação de regressão). Em outras palavras, a linha de regressão passa através de quase todos os pontos, o que significa que existe uma proporcionalidade direta entre as duas variáveis.

A Figura 5b mostra a variação dos valores médios da eficiência do módulo fotovoltaico contra a velocidade dos ventos para o período de estudo. Vê-se a partir do padrão do gráfico que a velocidade dos ventos e a eficiência energética são correlacionadas negativamente uma com o outra. A análise estatística demonstra que o valor do coeficiente de correlação (R) é 0.2082, o que confirma que existe uma fraca correlação negativa entre a velocidade e a eficiência.

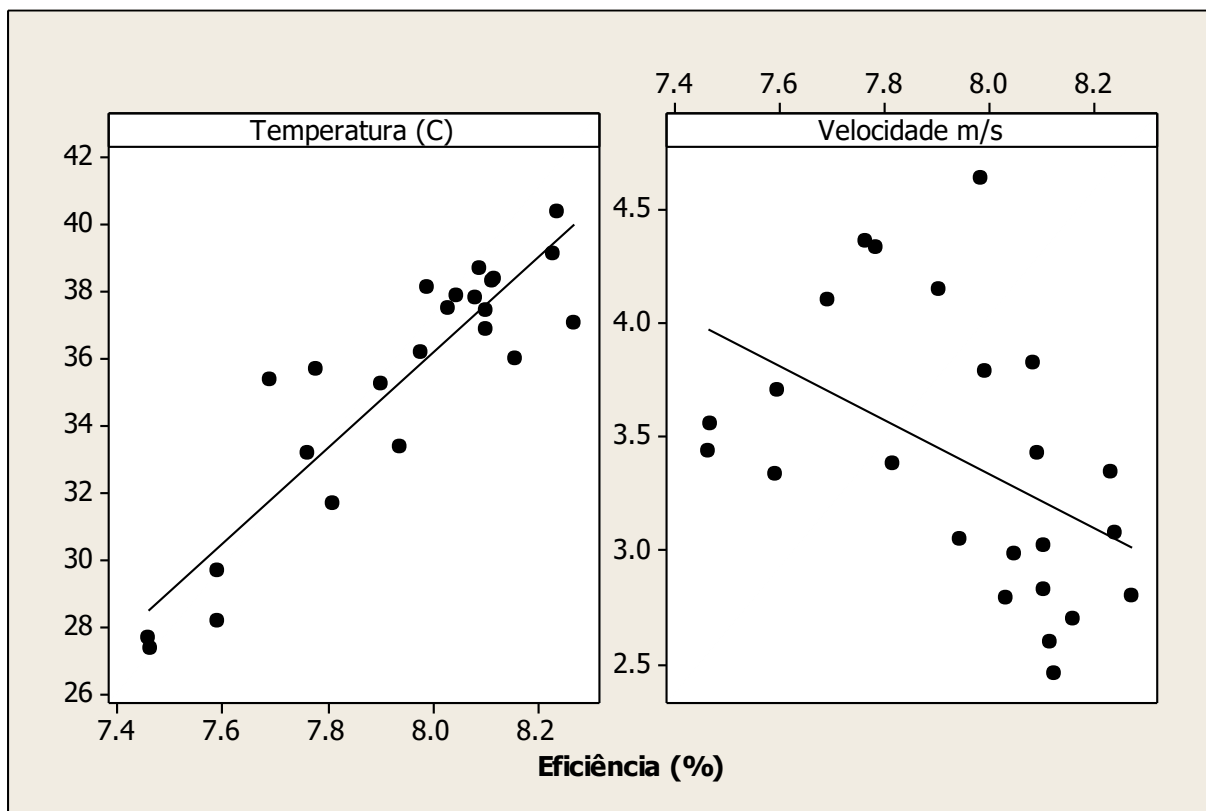


Figura 5 - a) Média dos valores das temperaturas ambientes e eficiência do módulo fotovoltaico para os meses de janeiro a dezembro de 2014; b) Média dos valores da velocidade dos ventos e eficiência do módulo fotovoltaico para os meses de janeiro a dezembro de 2014.

O desempenho de um sistema fotovoltaico depende de outros fatores além de suas características básicas, depende também das questões ambientais, como intensidade de luz ou irradiância, o ângulo de rastreamento e temperatura da célula [13-15]. Problemas ambientais, como variações drásticas da temperatura ambiente, desempenham um papel importante no processo de conversão fotovoltaica [25-26].

A temperatura de operação desempenha um papel central no processo de conversão fotovoltaica. Tanto a eficiência elétrica como a saída de energia de um módulo fotovoltaico dependem linearmente da temperatura operacional, e ambas diminuem com  $T_c$ . As numerosas correlações envolvendo  $T_c$  que apareceram na literatura se aplicam às matrizes fotovoltaicas

montadas livremente, e também aos coletores térmicos e às instalações BIPV (construção integrada de células fotovoltaicas), respectivamente. Eles envolvem variáveis ambientais básicas, enquanto os parâmetros numéricos não são apenas dependentes do material, mas também dependentes do sistema. Assim, é preciso ter cuidado ao aplicar uma expressão específica para a temperatura de operação de um módulo fotovoltaico, porque as equações disponíveis foram desenvolvidas com uma geometria de montagem específica ou nível de integração de construção claramente definido em mente.

Os efeitos da temperatura ambiente e a velocidade dos ventos na análise do desempenho de um módulo fotovoltaico solar foram analisados por [27]. O trabalho de pesquisa foi

efetuado através da monitorização da variação da eficiência do módulo com a temperatura ambiente e a velocidade dos ventos. A análise estatística foi feita e o resultado mostra que os valores do coeficiente de correlação são 96% e 68% para a temperatura ambiente e a velocidade dos ventos, respectivamente. O nível de confiança desses resultados é de 95%. O resultado mostra que existe uma relação linear positiva forte entre eficiência do módulo e a temperatura ambiente e uma relação linear positiva moderada entre eficiência do módulo e velocidade dos ventos.

A célula solar é um dispositivo que converte energia eléctrica diretamente a partir da radiação solar, baseado no efeito fotovoltaico. As primeiras células solares desenvolvidas e utilizadas têm uma série de vantagens como baixo custo de manutenção, alta confiabilidade, e silenciosas [19, 23, 25, 28-31].

A análise teórica decorrente da análise experimental mostra que o efeito da distribuição de temperatura sobre as curvas características dos módulos é muito pequeno. Mesmo assim, para evitar os efeitos de distribuição não uniforme de temperatura, os módulos devem ser preparados para os ensaios de curvas características na condição de circuito aberto e não em curto-circuito. Adicionalmente, ficou evidenciado que a escolha equivocada de uma célula mais aquecida, como representativa da temperatura média do módulo, pode acarretar em um erro importante que é repassado à curva característica quando esta é transladada para uma condição de interesse [32].

Atualmente existe vários exemplares de módulos solares sendo produzidos, podendo ser rígidos ou flexíveis, de acordo com o tipo de célula empregada [33]. Em relação à fabricação dos painéis, torna-se importante ressaltar que, de acordo com Pinho & Galdino [33], a produção dos módulos solares tem sofrido grande interferência governamental a partir de incentivos fiscais e ambientais. Com isso, o aumento da produção desses componentes tem apresentado consistente redução de custos para a efetivação do sistema.

#### 4. CONCLUSÃO

Os valores médios da tensão de circuito aberto medido são menores que o valor da tensão de circuito aberto para a condição padrão de operação, pelo fato do valor médio da temperatura da célula, ser superior à temperatura padrão de operação da célula que é de 25°C, comprovando assim as teorias de sistemas fotovoltaicos que, para temperaturas maiores que a temperatura padrão da célula a tensão começa a diminuir. A curva da corrente de curto-circuito medida para o sistema fotovoltaico tem a mesma forma da curva da irradiância no plano dos módulos fotovoltaicos, mostrando o efeito direto da variação da intensidade da irradiância na corrente gerada pelo módulo fotovoltaico.

A curva da irradiância incidente no plano dos módulos fotovoltaicos e a curva da temperatura na célula no período de insolação possuem a mesma forma e proporcionalidade, porém são defasadas, o que é justificável, pois a variação da temperatura na célula não responde de imediato à variação da irradiância no

plano dos módulos. A variação do valor do fator de forma é inversamente proporcional à irradiância no plano dos módulos e à temperatura na célula, implicando, para uma dada condição inicial (irradiância igual a zero), o valor do fator de forma deve ser maior do que o seu valor para a condição padrão de operação, visto que esse valor diminuirá com o aumento da irradiância.

A curva da potência máxima do sistema fotovoltaico apresenta a mesma forma da curva da irradiância no plano dos módulos fotovoltaicos para o período de insolação. Isso mostra que a potência gerada por um sistema fotovoltaico, assim como a corrente, é diretamente proporcional à intensidade da irradiância no plano do módulo fotovoltaico.

Este estudo ilustra um estudo experimental abrangente dos efeitos de fatores ambientais tanto no cálculo da eficiência como na produção de energia eléctrica de módulos fotovoltaicos. As condições atmosféricas, o ângulo de incidência, a posição solar, a orientação da célula e a temperatura celular são considerados os principais parâmetros ambientais neste estudo.

---

#### A STUDY OF TEMPERATURE AND SOLAR IRRADIATION IN PHOTOVOLTAIC CELLS

**ABSTRACT:** This research has been developed at the Institute of Physics of the Federal University of South Mato Grosso. An automated system to collect and monitoring data was developed to analyze the set of photovoltaic panels, which consists of three modules of 100 Wp connected in parallel, being installed with their faces turned to the true north and inclined by an angle of 33° (Latitude location + 10°). The goal is to determine the efficiency of a photovoltaic system, making measurements of electrical and meteorological quantities, and from these values, to calculate the form factor and the maximum power generated. With the calculated values of the form factor, it has been found that the efficiency has its value influenced by the irradiance in the plane of the PV modules and the temperature of the photovoltaic cell.

**Keywords:** solar energy; PV module; efficiency, temperature, irradiance

---

#### REFERÊNCIAS

[1] OMUBO-PEPPEL V B, ISRAEL-COOKEY C AND ALAMINOKUMA G I, "Effects of Temperature, Solar flux and Relative Humidity on the Efficient Conversion of Solar Energy to Electricity". European Journal of Scientific Research, vol.35(2), pp. 173-180,2009.

[2] SOUZA, A; ARISTONE, F., FERRARI, L. F., REIS, R.R. Modelagem da Temperatura do Módulo de Células Fotovoltaicas em Função da Temperatura Ambiente, Velocidade dos Ventos e Irradiância. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, n.4, p.504-518, 2016.

[3] SOUZA, A; ARISTONE, F. Estudo Da Eficiência Energética de células Fotovoltaicas Em Função da Radiação Solar No Centro-Oeste Brasileiro.

Interespaço. V2, n7, p115-128, 2017.

- [4] KAWAMURA T, HARADA K, ISHIHARA Y, TODAKA T, OSHIRO T, NAKAMURA H, IMATAKI M. "Analysis of MPPT Characteristics in Photovoltaic power system". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol.47, pp. 155-165, 1997.
- [5] OVERSTRAETEN, R. W.; MERTENS, R.P. *Physics, technology and use of photovoltaics*. London: Modern Energy Studies, 1996.
- [6] PARRETA, A. et al. Effects of solar irradiation conditions on the outdoor performance of photovoltaic modules. *Optics Communications*, Amsterdam, v. 153, n. 1, p. 153- 163, 1998.
- [7] CARDONA, M. S.; LÓPEZ, M.L. Performance analysis of a grid-connected photovoltaic system. *Energy*, New York, v. 24, n.1, p. 93-102, 1999.
- [8] GNOATTO, E.; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; FERRUZI, Y. Eficiência de um conjunto fotovoltaico em condições reais de trabalho na região de Cascavel. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 30, n. 2, p. 215-219, 2008.
- [9] LEUCHTER, J., ŘEŘUCHA, V., BAUER, P. The Temperature Effect of Photovoltaic Systems with dc-dc Converters. *Recent Advances in Mechatronics*. P. 97-102. 2010. 10.1007/978-3-642-05022-0\_17
- [10] MICHELS, R. N., CANTERI, M. G., DE AGUIAR, M. A., GNOATTO, E., DOS SANTOS, J. A. A., & DE JESUS, M. M. A. Yield from photovoltaic modules under real working situations in west Paraná-Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, 37 (1),19-24, 2015.
- [11] YERLI, B.; KAYMAK, M. K.; IZGI, E.; ÖZTOPAL, A.; SAHIN, A. Effect of derating factors on photovoltaics under climatic conditions in Istanbul. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, v. 44, p. 1400-1404, 2010.
- [12] CHANDER, S. A., SHARMA, P.A, ARVIND, S.P. NEHRA, M.S. DHAKA. A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline silicon solar cell with cell temperature. *Energy Reports*. Volume 1, Pages 104–109, 2015. doi:10.1016/j.egy.2015.03.004
- [13] KHAN, F., SINGH, SN., HUSAIN, M. Effect of illumination intensity on cell parameters of silicon solar cell. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 94, pp. 1473–1476, 2010.
- [14] SKOPLAKI, E., PALLYVOS, J. A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Sol. Energy*, 83, pp. 614–624, 2009.
- [15] CHEGAAR, M., HAMZAOUI, A., NAMODA, A., PETIT, P., AILLERIE, M., HERGUTH, A. Effect of illumination intensity on solar cells parameters. *Energy Procedia*, 36, pp. 722–729, 2013.
- [16] RHIF, A. A position control review for a photovoltaic system: dual axis sun tracker. *Technical Review*, v. 28, n. 6, p. 479-485, 2011.
- [17] LORENZO E., *Electricidad Solar: Ingeniería de Los Sistemas Fotovoltaicos*, Espanha, Artes Gráficas Gala, S.L., 1994
- [18] EBERHARDT, D. Desenvolvimento de um Sistema Completo para Caracterização de Células Solares. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005. 104 f.
- [19] FESHARAKI, V.J., DEGHANI, M., FESHARAKI, J. J. The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation- ETEC*, Tehran, Iran, November 20–22, 2011.
- [20] SABRY, M., GHITAS, A. E. Influence of temperature on methods for determining Silicon solar cell series resistance. *J. Sol. Energy Eng* 129(3), 331-335 (Jan 18, 2007). doi:10.1115/1.2735350
- [21] ARORA, N.D., HAUSER, J. R. Temperature dependence of silicon solar cell characteristics. *Sol. Energy Mater* 6, pp. 151–158, 1982.
- [22] CAI, W., CHAO, F., LONG, T.J., XIONG, L. D., FU, H. S., GANG, X. Z. The influence of environment temperatures on single crystalline and polycrystalline silicon solar cell performance. *Sci. China-Phys. Mech. Astron.*, 55 (2012), pp. 235–241, 2012.
- [23] SINGH, P., RAVINDRA, N. M. Temperature dependence of solar cell performance-an analysis. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 101, pp. 36–45, 2012.
- [24] LAMMERT, M.D., SCHWARTS, R.J. The integrated back contact solar cell: A silicon solar cell for use in concentrated sunlight. *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-24 (1997), pp. 337–342
- [25] SIDDIQUI, R. e BAJPAI, U. "Deviation in the performance of solar module under climatic parameter as ambient temperature and wind velocity in composite climate," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 2, no. 3, pp. 486–490, 2012.
- [26] GXASHEKA, A. R.; VAN DYK, E. E. e MEYER, E. L. Evaluation of performance parameters of PV modules deployed outdoors, *Renewable Energy*, vol. 30, no. 4, pp. 611–620, 2005.
- [27] BHATTACHARYA, T., CHAKRABORTY, A.K., e PAL, K. Effects of Ambient Temperature and Wind Speed on Performance of Monocrystalline Solar Photovoltaic Module in Tripura, India. *Journal of Solar Energy*. Volume 2014 (2014), <http://dx.doi.org/10.1155/2014/817078>
- [28] CUCE, E., CUCE, P M., BALI, T. An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters. *Appl. Energy*, 111, pp. 374
- [29] AMOUCHE, B., GUESSOUM, A., BELHAMEL, M. A simple behavioural model for solar module electric characteristics based on the first order system step response for MPPT study and comparison. *Appl. Energy*, 91, pp. 395–404, 2012.
- [30] SOLANKI, C.S., ARORA, B.M., VASI, J., PATIL, M.B. *Solar photovoltaics: Fundamentals, Technologies and Applications*, PHI Learning Private Limited, New Delhi (2013)
- [31] RADZIEMSKA, E. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renew. Energy*, 28, pp. 1–12, 382, 2003.
- [32] ANDRADE, A. C. Análise e simulação da distribuição da temperatura em módulos fotovoltaicos. Tese (Doutorado em Energia). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.
- [33] PINHO, J., GALDINO, M. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.