

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS COEFICIENTES TÉRMICOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COM A IRRADIÂNCIA

Felipe Detzel Kipper – felipedkipper@gmail.com
Fabiano Perin Gasparin – gasparin.fabiano@gmail.com
 Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul

4.2 – Tecnologias e ensaios de módulos fotovoltaicos

Resumo. Os coeficientes térmicos da corrente de curto-circuito (α) e da tensão de circuito aberto (β) dos módulos fotovoltaicos são fundamentais para a correção das curvas I-V em diversas temperaturas, sendo em geral considerados constantes com a irradiância. Neste trabalho foram obtidos, a partir de medidas em quatro módulos fotovoltaicos de silício cristalino, os coeficientes térmicos α e β a fim de estudar seu comportamento em diversas irradiâncias. A determinação desses coeficientes se deu por meio de ensaios com um simulador solar do tipo LAPSS (Large Area Pulsed Solar Simulator), modelo PASAN SunSim 3C. As curvas I-V foram medidas com o módulo fotovoltaico em diversas temperaturas controladas por um sistema composto por uma câmara de aquecimento instalada no plano de irradiação do simulador solar. Os módulos fotovoltaicos foram ensaiados em irradiâncias de 75 a 1000 W/m² e em temperaturas de 25 a 65 °C, sendo que o incremento de temperatura foi de 10 °C. O coeficiente α apresentou variação mínima e pode ser considerado constante com a irradiância, já o coeficiente β não é constante com a irradiância. Foi determinada uma função que modelasse o comportamento do coeficiente térmico β de qualquer módulo fotovoltaico a partir do valor do coeficiente térmico β na irradiância de 1000 W/m². A função obtida tem caráter logarítmico do tipo $\beta = a \ln G - b$. O valor do coeficiente angular (a) foi calculado a partir de uma média aritmética dos coeficientes da equação de regressão obtida para cada um dos módulos. O coeficiente linear (b) deve ser recalculado utilizando o valor de β a 1000 W/m² utilizando a função $b = 0,00243505 - \beta_{1000}$. A modelagem da variação do coeficiente β com a irradiância permitirá um incremento na precisão da simulação de curvas I-V por meio do modelo de um diodo.

Palavras-chave: Energia solar, Módulos fotovoltaicos, Coeficientes térmicos.

1. INTRODUÇÃO

A redução das emissões dos gases resultantes da queima de combustíveis fósseis é um tema bastante discutido em nossa sociedade, visto que a demanda energética é cada vez maior. No Brasil, onde a geração de energia elétrica se dá majoritariamente por meio de hidroelétricas, há a necessidade de diversificação da matriz elétrica, uma vez que o país é dependente de uma fonte cuja disponibilidade varia conforme o período de chuvas. Assim sendo, é necessário que exista um suporte de fontes térmicas em momentos no qual a intensidade das chuvas não é suficientemente elevada para que se mantenha a geração necessária para suprir a demanda de energia elétrica no Brasil. Na busca de fontes alternativas de geração de eletricidade, a energia solar fotovoltaica, que é a conversão direta da radiação solar em energia elétrica, está em expansão mundial desde meados dos anos 2000.

A energia solar fotovoltaica é uma fonte intermitente de energia dependente de diversos fatores, tais como disponibilidade de radiação solar, inclinação do painel fotovoltaico, temperatura de operação da célula, eficiência dos módulos, eficiência dos inversores, degradação do sistema ao longo do tempo, recobrimento dos módulos por partículas, dentre outros. Tendo em vista essas particularidades, é necessário que se tenha disponível uma ferramenta capaz de estimar o desempenho dos diferentes componentes do sistema. Normalmente, são empregados programas de simulação computacional que utilizam modelos matemáticos para estimar o desempenho do sistema. A precisão, confiabilidade e uma interface amigável são fundamentais nestas ferramentas. O modelo mais empregado para a simulação de desempenho dos módulos fotovoltaicos é o de um diodo, que se baseia na física de semicondutores (Ruschel *et al.*, 2016).

Os módulos fotovoltaicos possuem coeficientes térmicos que representam a variação dos diversos parâmetros com a temperatura, sendo necessários para a simulação do sistema em diversas condições de operação. Em geral, os coeficientes térmicos são determinados com irradiância (G) de 1000 W/m² e espectro AM 1,5 e considerados constantes ao longo da faixa de irradiâncias de operação dos módulos fotovoltaicos.

Segundo Emery *et al.* (1996), uma maneira adequada para que se determine o coeficiente térmico (CT) consiste na normalização da variação de uma variável genérica Z em função da temperatura T , sendo calculado através da Eq. (1).

$$CT \left(\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right) = \frac{1}{Z(T_n)} \frac{\partial Z}{\partial T} \quad (1)$$

Onde T_n é a temperatura de normalização e deve ser 25 °C, que é a temperatura padrão para testes em dispositivos fotovoltaicos. Utilizando a notação convencional, é possível calcular o coeficiente de variação da corrente de curto-circuito (I_{sc}) com a temperatura (T), denominado α , por meio da Eq. (2)

$$\alpha = \frac{1}{I_{sc}(T_n)} \frac{\partial I_{sc}}{\partial T} \quad (2)$$

Para a tensão de circuito aberto (V_{oc}), o coeficiente de variação com a temperatura é calculado por meio da Eq. (3). A redução de V_{oc} com o incremento da temperatura resulta na alteração da curva I-V característica do módulo fotovoltaico, incorrendo na redução da potência entregue pelo dispositivo com o aumento da temperatura.

$$\beta = \frac{1}{V_{oc}(T_n)} \frac{\partial V_{oc}}{\partial T} \quad (3)$$

Já o coeficiente de variação da máxima potência (P_m) com a temperatura (T), é calculado a partir da Eq. (4).

$$\gamma = \frac{1}{P_m(T_n)} \frac{\partial P_m}{\partial T} \quad (4)$$

O conhecimento desses coeficientes permite que se determine o comportamento do módulo fotovoltaico em diferentes temperaturas. Segundo a literatura, os valores típicos de α , β e γ para o silício cristalino são, respectivamente, de 0,05% $I_{sc} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, -2,2 mV $^\circ\text{C}^{-1}$ para uma célula fotovoltaica e -0,45 % $P_m \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, em uma faixa de temperatura de operação entre 20 e 100 °C.

É possível determinar os coeficientes térmicos usando um simulador solar (*indoor*) ou com iluminação natural (*outdoor*). O método *indoor*, que foi o método utilizado para a obtenção dos coeficientes neste trabalho, consiste em acomodar o módulo em uma câmara termostática e ajustar a temperatura até o valor requerido. Quando a temperatura está estabilizada, a câmara é aberta para a medida da curva I-V e assim o procedimento é repetido para diversos valores de temperatura. Neste método de determinação dos coeficientes térmicos, a temperatura do módulo deve ser uniforme em toda sua extensão de modo a reduzir as incertezas das medidas. Já no método *outdoor*, os módulos fotovoltaicos devem ser acomodados em um suporte para exposição solar com uma cobertura para bloquear a incidência da radiação antes do início das medidas. O módulo fotovoltaico deve iniciar o ensaio com temperatura em valores próximos a 25 °C, temperatura que pode ser atingida por meio de uma câmara climatizada com condicionador de ar, ou mesmo com o módulo em equilíbrio com a temperatura ambiente, caso esta esteja em valores próximos a 25 °C. Pode-se ainda fazer o resfriamento utilizando algum fluido enquanto o módulo fotovoltaico é mantido protegido da radiação solar. Em seguida, a cobertura do módulo é retirada, expondo-o à radiação solar. A própria radiação solar faz o aquecimento do módulo fotovoltaico e o procedimento é realizado com a medida da curva I-V em diversos valores de temperatura, até que seja atingido a temperatura de equilíbrio do módulo fotovoltaico exposto à radiação solar (Gasparin e Krenzinger, 2015). O tempo de ensaio *outdoor* depende da taxa de aquecimento do módulo, que é função da irradiância incidente, da temperatura ambiente e da massa do módulo, sendo em geral de 15 a 20 minutos. No método *outdoor* todas as curvas I-V devem ser corrigidas para a mesma irradiância solar. O método *indoor* é geralmente mais lento, já que o tempo para a temperatura do módulo estabelecer-se depende da potência utilizada no aquecimento. É importante notar que o método *indoor* é independente das condições climáticas e o controle das variáveis é facilitado por conta de o ambiente ser controlado.

Os catálogos dos fabricantes somente apresentam o valor dos coeficientes térmicos determinado a partir de medidas de curvas I-V com irradiância de 1000 W/m², e em geral são tidos como constantes nos modelos de simulação. Skoplaki e Palyvos (2009) por exemplo, realizaram uma revisão dos modelos térmicos para o desempenho de módulos fotovoltaicos, e não verificaram variação do coeficiente β com a irradiância. Entretanto, alguns autores já relataram a existência de variação dos coeficientes térmicos com a irradiância. Dash e Gupta (2015) apresentaram diversas medidas de coeficientes térmicos para vários tipos de tecnologias em diversas irradiâncias, concluindo que os coeficientes térmicos não são constantes, entretanto não propuseram uma relação matemática para a variação. Berthod *et al.* (2016) apresentam diversas curvas do coeficiente de temperatura β em função da irradiância, porém também não é formulada uma relação matemática desta dependência para poder ser diretamente utilizada no modelo de simulação de módulos fotovoltaicos. Dubey *et al.* (2015) apresentam medidas de irradiância entre 600 W/m² e 1000 W/m² e afirmam que a variação de β com a irradiância não é detectável para este intervalo, entretanto, o intervalo das medidas apresentado é relativamente baixo considerando o aspecto logarítmico que a curva de variação de β com a irradiância apresenta, e, portanto, merece ser melhor investigado em irradiâncias menores do que 600 W/m². Em sua pesquisa, Dupré *et al.* (2015) observam que o módulo do coeficiente térmico β diminui com o incremento da tensão de circuito aberto, e isso se deve ao fato de que a tensão de circuito aberto da célula é um bom indicador do balanço de geração e recombinação de pares elétron-lacuna. Um modo de aumentar esse balanço é concentrando mais luz na superfície da célula, o que reduz a sensibilidade à

temperatura e ocasiona o aumento da tensão de circuito aberto. Em outras palavras, quanto maior a irradiância, menor o valor do módulo do coeficiente térmico β .

Apesar do efeito da variação dos coeficientes térmicos com a irradiância ter sido descrito anteriormente, ainda não é comum na simulação do comportamento da curva I-V de dispositivos fotovoltaicos a incorporação deste efeito com uma expressão empírica, especialmente do variação do coeficiente térmico β . Neste contexto, é importante para a modelagem de sistemas fotovoltaicos com base em simulação computacional relações empíricas que modelam o comportamento do coeficiente β em diversas irradiâncias, objeto de estudo do presente artigo.

2. METODOLOGIA

Os módulos fotovoltaicos dispostos na Tab. 1 foram submetidos a ensaios em condições de variação de temperatura numa faixa de 25 a 65 °C, apresentando incrementos de 10 °C a cada nova medida, e irradiância entre 75 e 1000 W/m².

Tabela 1 - Características nominais dos módulos testados

Módulo	Tecnologia	Potência (W)	Células em série	α (% $I_{sc}/^{\circ}\text{C}$)	β (% $V_{oc}/^{\circ}\text{C}$)	γ (% $P_m/^{\circ}\text{C}$)
A	Silício monocristalino	260	60	0,060	- 0,35	-0,45
B	Silício monocristalino	265	60	0,060	-0,35	-0,45
C	Silício multicristalino	315	72	0,060	-0,30	-0,40
D	Silício multicristalino	245	60	0,060	-0,33	-0,45

A caracterização dos módulos foi feita utilizando um simulador solar do tipo LAPSS (*Large Area Pulsed Solar Simulator*), modelo PASAN SunSim 3C, instalado nas dependências do laboratório de energia solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O simulador PASAN tem um flash de 10 ms e uma área de iluminação de 2m x 2m para o dispositivo sob testes. A precisão elétrica é de ao menos 0,2% e a colimação da luz é menor que 15°. As características desse equipamento são substancialmente superiores as de um simulador solar classe A, que o torna adequado para a coleta dos dados para a realização do estudo. A não uniformidade espacial medida no local após a instalação do simulador solar foi de 0,27%, excedendo a característica nominal. A Tab. 2 traz as características do equipamento utilizado e os requisitos de classificação na norma IEC 60904-9 (2007).

Tabela 2 - Características do LAPSS e requerimentos da IEC 60904-9 para simulador solar classe A

Características	Simulador Solar Classe A	LAPSS PASAN SunSim 3C
Não uniformidade	2%	<1%
Instabilidade Temporal	2%	<1%
Relação de correspondência do espectro	0,75 – 1,25	0,875 – 1,125

Para a realização do estudo, foram medidas as curvas I-V de quatro módulos fotovoltaicos, compondo uma matriz de curvas com temperaturas de 25 a 65 °C e irradiâncias de 75 a 1000 W/m², de modo que foi possível obter a variação dos parâmetros da curva I-V com as duas variáveis. A temperatura do módulo é variada inserindo-o em uma câmara de aquecimento com temperatura controlada. A câmara ilustrada na Fig. 1, possui dimensões aproximadas de 2,2 m x 1,35 m, comportando a maioria dos módulos fotovoltaicos convencionais. O aquecimento é realizado por resistências de fio que foram inseridas em uma placa de policarbonato, que juntas totalizam aproximadamente 2500 W. O controle da temperatura é efetuado por um controlador Novus N1100 tendo como sensor um Pt100 que é fixado na parte traseira do módulo. A câmara possui ventiladores na parte inferior e superior do módulo fotovoltaico para proporcionar a convecção forçada e uniformizar a temperatura do módulo.

Os parâmetros extraídos a partir das curvas I-V foram usados para a confecção de uma matriz de dados de cada um dos quatro módulos apresentados na Tab. 1, contendo dados de corrente de curto-circuito e tensão de circuito aberto, em função da irradiância e temperatura. As curvas I-V foram medidas com o módulo em temperatura estabilizada, mantida pela câmara termostática. A porta da câmara termostática era apenas momentaneamente aberta para cada medida, sendo fechada novamente no menor intervalo de tempo possível a fim de limitar a transferência de calor do módulo para o ambiente. Em cada temperatura foram medidas as curvas em diversas irradiâncias. Os parâmetros foram utilizados para o cálculo dos coeficientes térmicos dos módulos para cada valor de irradiância medida.

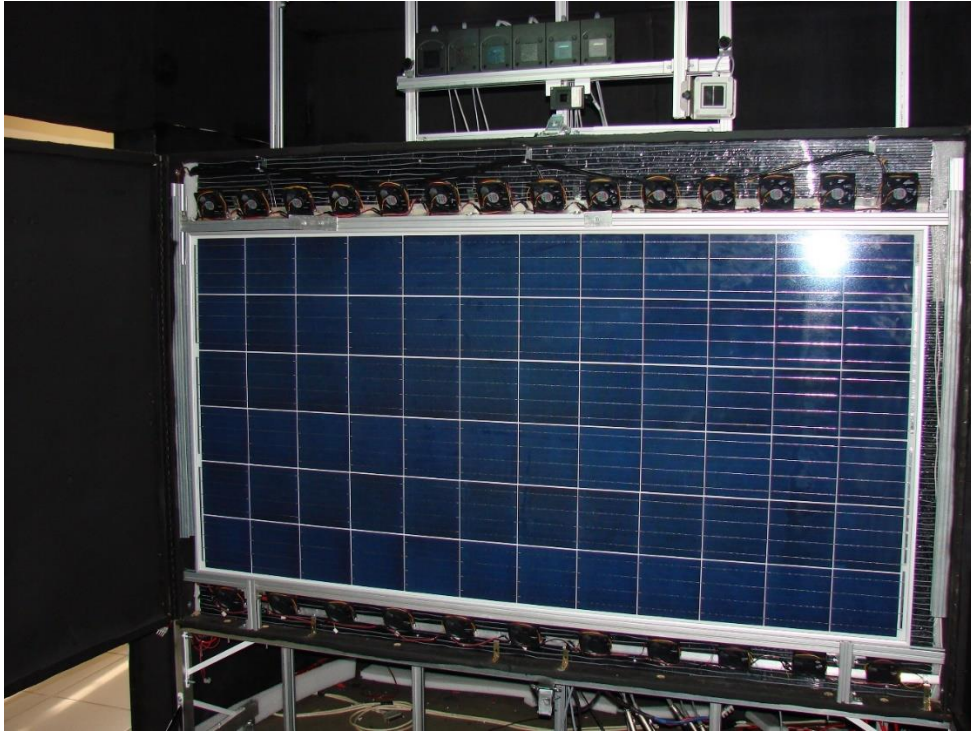


Figura 1 - Câmara de aquecimento aberta com um módulo fotovoltaico inserido.

3. RESULTADOS

A Fig. 2 apresenta as curvas I-V do módulo A, medidas com irradiância de 1000 W/m^2 em diversas temperaturas, a fim de ilustrar o conhecido efeito da temperatura no comportamento da curva I-V.

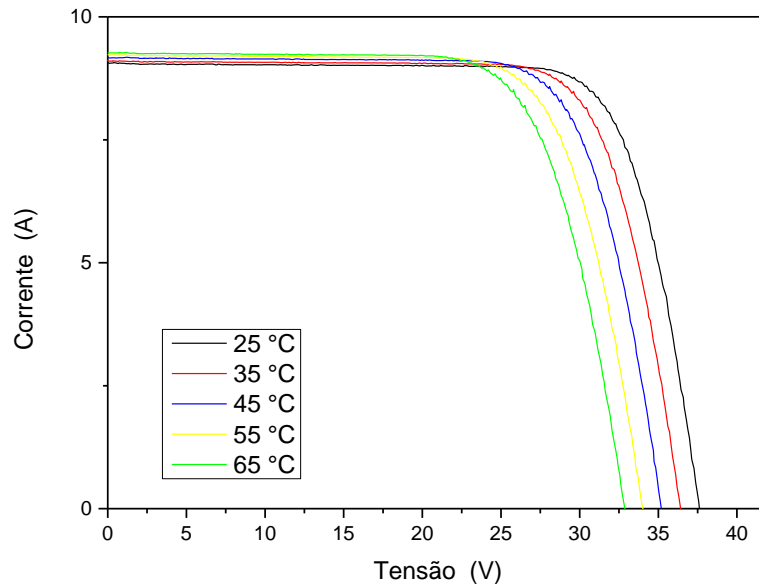


Figura 2 - Curvas I-V do módulo A em diferentes temperaturas e irradiância de 1000 W/m^2 .

A Fig. 3 apresenta os valores de I_{sc} medidos em diversas temperaturas na irradiância de 1000 W/m^2 para o módulo A. A variação de I_{sc} com a temperatura é utilizada para determinar o coeficiente α . O elevado coeficiente de correlação obtido demonstra a qualidade das medidas realizadas e o comportamento linear deste coeficiente. A determinação do coeficiente α depende de condições experimentais de precisão adequada, já que o seu valor representa uma variação da ordem de $5,5 \text{ mA/}^\circ\text{C}$ em uma corrente da ordem de 9 A .

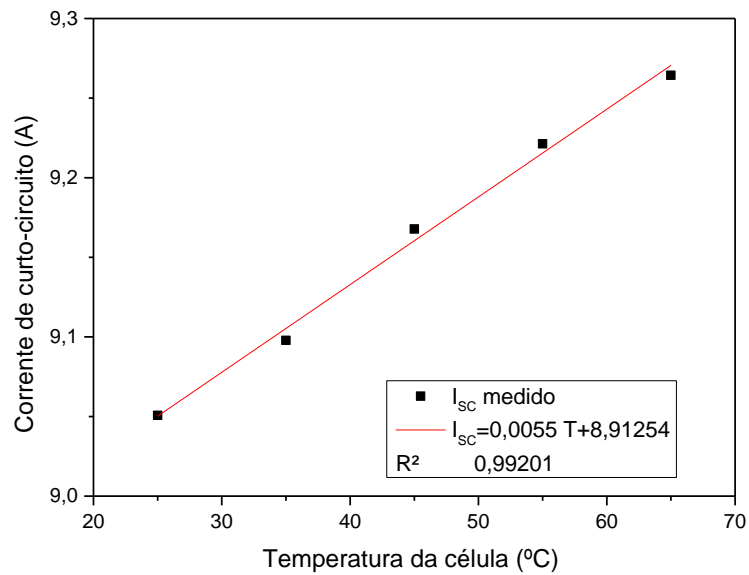


Figura 3 - Gráfico para determinação do coeficiente α na irradiância de 1000 W/m².

A Fig. 4 apresenta a variação da corrente de curto-circuito com a temperatura no módulo A na irradiância de 100 W/m². Neste caso a variação de I_{sc} é de 0,6 mA/°C, para uma corrente de curto circuito da ordem de 0,9 A, sendo que o elevado coeficiente de correlação demonstra a precisão do equipamento para a realização das medidas.

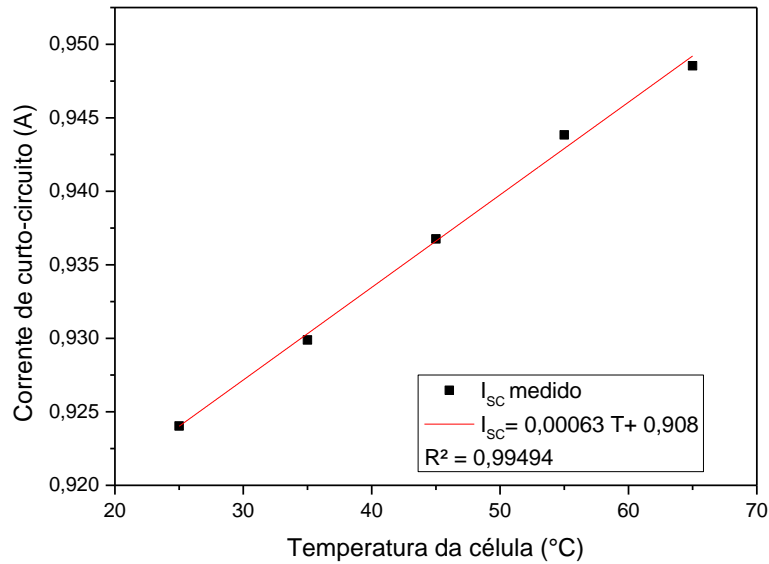


Figura 4 - Gráfico para determinação do coeficiente α na irradiância de 100 W/m².

Os valores do coeficiente α calculados em diversas irradiâncias entre 75 e 1000 W/m² foram determinados a partir da regressão linear conforme os gráficos apresentados na Fig. 3 e Fig. 4 a partir de cinco temperaturas medidas, entre 25 °C e 65 °C, e seus valores estão apresentados na Fig. 5. Verifica-se que há uma pequena elevação percentual de α em baixas irradiâncias (< 200 W/m²), porém não justificam nenhuma abordagem a fim de modelar este comportamento.

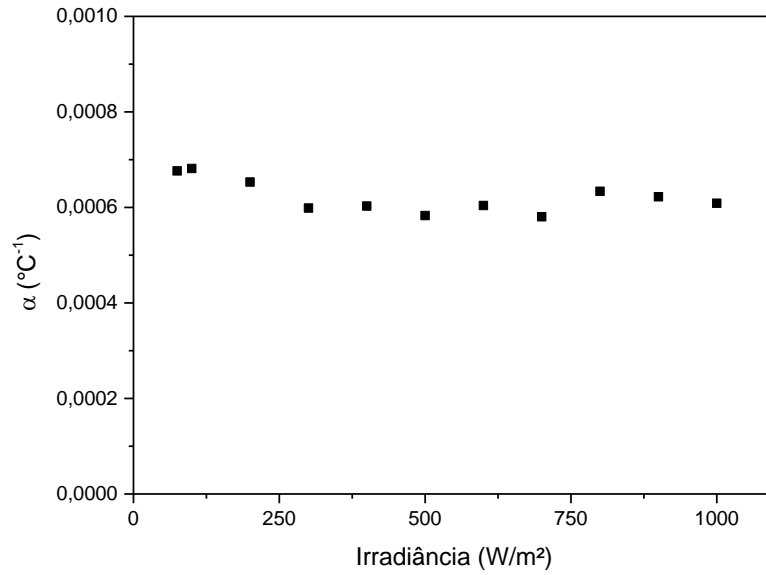


Figura 5 - Variação do valor do coeficiente térmico α do módulo A com a irradiância.

A fim de expressar o comportamento do coeficiente térmico da tensão de circuito aberto, a Fig. 6 apresenta a variação da tensão de circuito aberto com a temperatura do módulo A na irradiância de 1000 W/m². A variação de V_{oc} com a temperatura é utilizada para determinar o coeficiente β . Verifica-se o comportamento linear do coeficiente e alta correlação obtida.

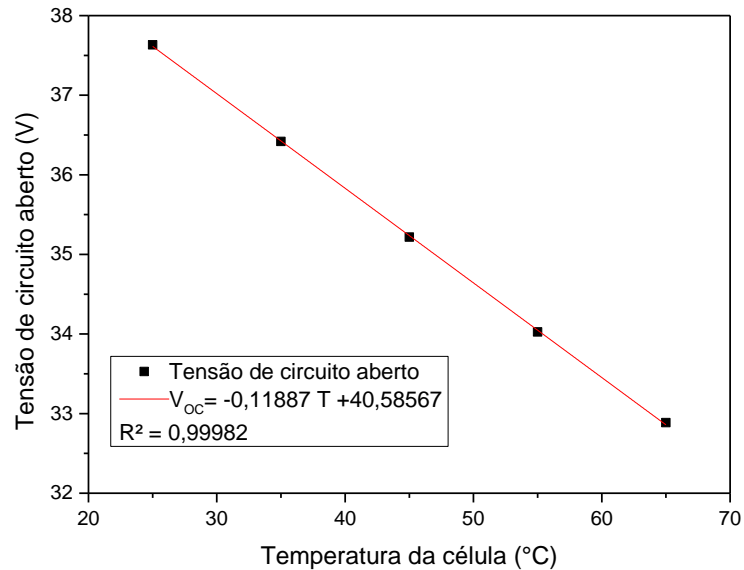


Figura 6 - Gráfico para determinação do coeficiente β na irradiância de 1000 W/m².

A Fig. 7 apresenta o comportamento da tensão de circuito aberto com a temperatura do módulo A na irradiância de 100 W/m².

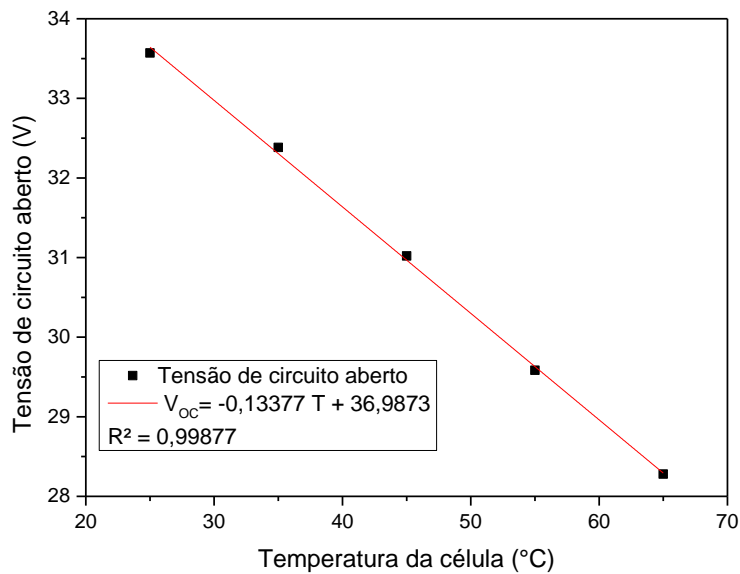


Figura 7 - Variação da tensão de circuito aberto com a temperatura na irradiância de 100 W/m².

O valor do coeficiente β absoluto determinado a partir do cálculo das variações de V_{oc} com a temperatura em diversas irradiâncias foi dividido pelo número de células do módulo A a fim de ilustrar o comportamento da variação de β com a irradiância em valores absolutos de tensão por célula. Este comportamento é ilustrado na Fig. 8, mostrando um comportamento logarítmico desta variação.

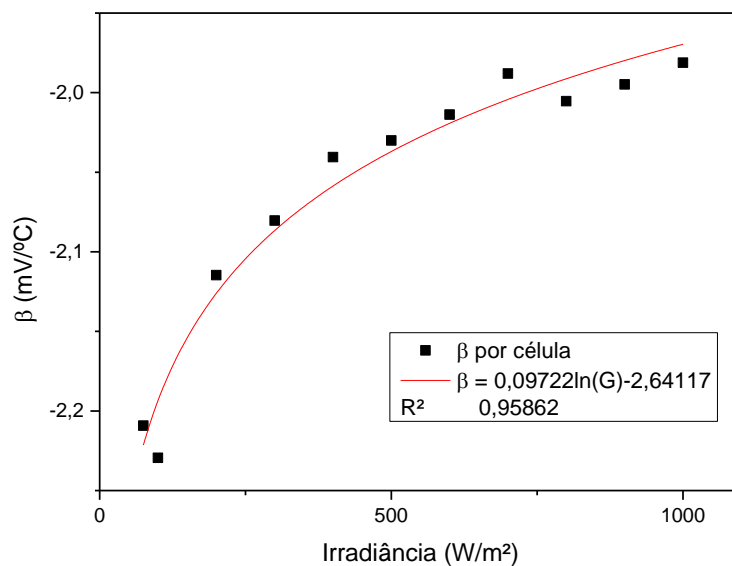


Figura 8 - Variação de β por célula do módulo A com a irradiância.

Os valores dos coeficientes β relativos ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) para cada irradiância foram inseridos em uma planilha de cálculos onde foi obtido o gráfico de variação de β com a irradiância. A determinação de uma equação de regressão linear dos dados experimentais resultou que a função logarítmica foi a mais adequada para representar este comportamento. As equações obtidas foram do tipo $\beta = a \ln(G) - b$, sendo que os valores de a tiveram uma pequena dispersão. Em seguida foi feita uma média aritmética dos coeficientes angulares das equações obtidas para os quatro módulos ensaiados, resultando no valor de a igual a 0,00035251.

Para adaptar o valor do coeficiente linear do modelo para cada módulo específico, o valor de b é recalculado a partir do valor de β a 1000 W/m². Este ajuste do valor de b desloca a curva do modelo de variação de β verticalmente a fim de ajustar o modelo aos valores específicos do módulo. Para a obtenção de b é necessário que se tenha posse do valor de β

para a irradiância de 1000 W/m^2 e ainda multiplicar o logaritmo natural de G a 1000 W/m^2 pelo coeficiente angular a . Isolando o coeficiente linear b a Eq. (6) é obtida:

$$b = a \ln(G) - \beta_{1000} \quad (6)$$

Substituindo os valores do coeficiente linear a e de G , obtêm-se a Eq. (7):

$$b = 0,00243505 - \beta_{1000} \quad (7)$$

Assim, para os módulos fotovoltaicos representados no Tab. 1 foram obtidas quatro expressões que modelam o comportamento do coeficiente β . As Eqs. (8) – (11) descrevem o comportamento do coeficiente β para cada um dos quatro modelos ensaiados:

$$\beta_A = 0,00035251 \cdot \ln G - 0,00559375 \quad (8)$$

$$\beta_B = 0,00035251 \cdot \ln G - 0,00576881 \quad (9)$$

$$\beta_C = 0,00035251 \cdot \ln G - 0,00553132 \quad (10)$$

$$\beta_D = 0,00035251 \cdot \ln G - 0,00546261 \quad (11)$$

As equações que modelam a variação do coeficiente térmico de tensão de circuito aberto dos módulos tiveram resultados bastante satisfatórios, como pode ser visto na Fig. 9. É possível notar que o desempenho do modelo sugerido neste trabalho se adapta aos pontos experimentais de maneira adequada.

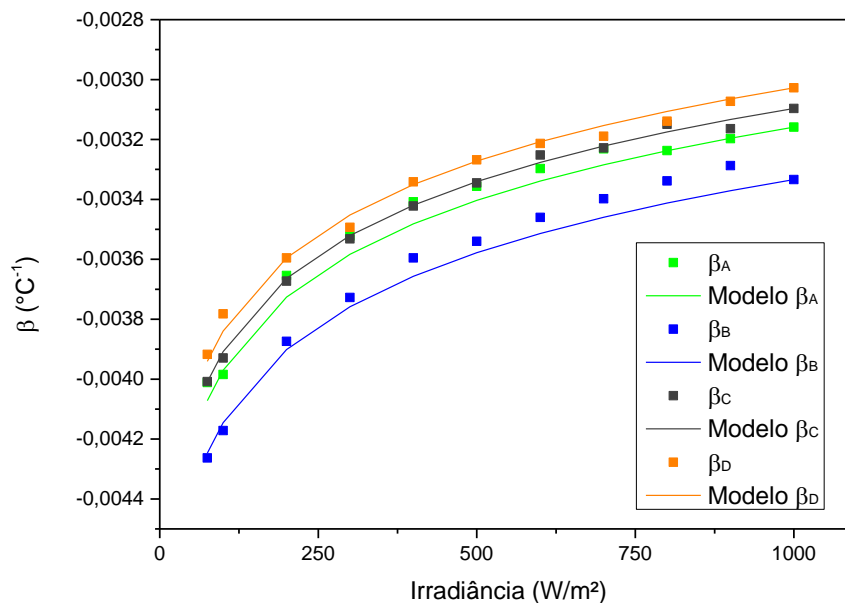


Figura 9 - Comportamento do modelo proposto para simulação da variação do coeficiente β com a irradiância solar.

4. CONCLUSÕES

O comportamento do coeficiente térmico α é praticamente constante com a irradiância solar, apresentando pequena variação como pode ser concluído a partir da série de medidas realizadas. A modelagem da variação do coeficiente α com a irradiância não se faz necessária, podendo considerar o coeficiente α constante com a irradiância.

De maneira diversa ao comumente utilizado na simulação da curva I-V de módulos fotovoltaicos, o coeficiente β não é constante com a irradiância. O valor do módulo do coeficiente é maior em baixas irradiâncias, indicando que em baixas irradiâncias a sensibilidade à temperatura é maior. A equação empírica proposta baseada em uma função logarítmica apresentou resultados compatíveis com os dados experimentais e pode ser inserida em programas de simulação de desempenho de dispositivos fotovoltaicos. A inclusão desta função permitiria melhor qualidade da

simulação do comportamento dos sistemas em diversas condições de irradiância e temperatura, especialmente nas condições de baixa irradiância, onde o uso de um valor constante de β tende a produzir maiores desvios na simulação. A determinação da variação do coeficiente térmico da máxima potência não foi escopo deste trabalho, porém é possível de ser realizada a partir das medidas obtidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Berthod, C., Strandberg, R., Yordanov, G., H., Beyer, H., G., Odden, J., O., 2016. On the variability of the temperature coefficients of mc-Si solar cells with irradiance,
- Dash, P., K., Gupta, N., C., 2015. Variation of temperature coefficient of different technology photovoltaic modules with respect to irradiance,
- Dubey, R., Batra, P., Chattopadhyay, S., Kottantharayil, A., Arora, B., M., Narasimhan, K., L., Vasi, J., 2015. Measurement of temperature coeficiente of photovoltaic modules in field and comparison with laboratory measurements,
- Dupré, O., Vaillon R., Green, M., A., 2015. Physics of the temperature coefficients of solar cells,
- Emery, K., Burdick, Y., Caiyem, D., Dunlavy, H., Field, H., Kroposky, B., Moriarty, T., Ottoson, L., Rummel, S., Strand, T., Wanlass, M., W., 1996. Temperature dependence of photovoltaic cells, modules and systems, 25th PVSC, May 13-17, Washington, D.C.
- Gasparin, F.P., Bühler, A.J., Rampinelli, G.A., Krenzinger, A., 2016. Statistical analysis of *I-V* curve parameters from photovoltaic modules, *Solar Energy*, vol 131, pp. 30-38.
- Gasparin, F.P., Krenzinger, A., 2015. Comparação entre coeficientes térmicos de módulos fotovoltaicos determinados com simulador solar e com iluminação natural, *Solar Energy*, vol 6, n. 2, pp. 102 -111.
- IEC 60904-9 (2007) (International Electrotechnical Commission) Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements
- Ruschel, C.S., Gasparin, F.P., Costa, E.R., Krenzinger, A., 2016. Assessment of PV modules shunt resistance dependence on solar irradiance, *Solar Energy*, vol 133, pp. 35-43.
- Skoplaki, E., Palyvos, J., A., 2009. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations, *Solar Energy*, vol. 83 pp. 614–624.

ANALYSIS OF THE VARIATION OF THE THERMAL COEFFICIENTS OF PHOTOVOLTAIC MODULES WITH THE IRRADIANCE

Abstract. *The operating temperature of the photovoltaic modules is important for analyzing the performance of the photovoltaic systems. The thermal coefficients of the short-circuit current (α) and the open circuit voltage (β) are fundamental for the correction of the I-V curves at various temperatures, and are generally considered constant with the irradiance. In this work, the thermal coefficients α and β were obtained from four photovoltaic modules of crystalline silicon to study their behavior in different irradiances. The determination of these coefficients was done by means of tests with a LAPSS (Large Area Pulsed Solar Simulator), model PASAN SunSim 3C. The I-V curves were measured with the photovoltaic module at various temperatures controlled by a system composed of a heating chamber installed in the irradiation plane of the solar simulator. The photovoltaic modules were tested at irradiances ranging from 75 to 1000 W/m² and at temperatures ranging from 25 to 65 °C, with increments of 10 °C. The coefficient α presented minimum variation with irradiance and can be considered constant. A function that model the behavior of the thermal coefficient β of any photovoltaic module with the irradiance was derived, being necessary only the value of the thermal coefficient β in the irradiance of 1000 W/m². The obtained function has logarithmic character of type $\beta = a \ln G - b$. The value of the coefficient (a) was calculated from the arithmetic mean of the coefficients of the regression equation obtained for each of the modules. The linear coefficient (b) should be recalculated using the β value at 1000 W/m² using the function $b = 0.00243505 - \beta_{1000}$. The modeling of the variation of the coefficient β with the irradiance will allow an increase in the precision of the simulation of curves I-V through the single diode model.*

Key words: *Solar energy, Photovoltaic modules, Thermal coefficients*