MODELO COMPUTACIONAL PARA GERAÇÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PAINEIS FOTOVOLTAICOS

COMPUTER MODEL FOR GENERATION OF CHARACTERISTIC CURVES OF PHOTOVOLTAIC PANELS

José Airton Azevedo dos Santos[11]

Resumo

Os sistemas convencionais de fornecimento de energia elétrica não são sempre a melhor opção para satisfazer as necessidades do setor rural, por isso, há necessidade de pesquisas envolvendo a utilização de fontes alternativas de energia, dentre elas a solar fotovoltaica. Atendendo a essa necessidade, este trabalho estabeleceu como objetivo implementar um modelo computacional para simulação de curvas características de uma célula fotovoltaica. O modelo permite estimar as características elétricas da célula, com respeito às variações ambientais da irradiação solar e da temperatura. Para validação do modelo computacional um painel fotovoltaico de silício policristalino foi simulado. Resultados obtidos do modelo foram comparados com valores obtidos em campo.

Palavras-chave: Energia solar. Simulação. Sistema fotovoltaico.

Abstract

Conventional systems for the supply of electric energy are not always the best option to meet the needs of the rural sector, so there need for research involving the use of energy alternative sources, among them solar photovoltaics. Given this need, this work established as objective to implement a computational model to simulate the characteristic curves of a photovoltaic cell. The model allows to estimate the electrical characteristics of the cell, with respect to environmental variations of solar radiation and temperature. To validate the computational model a polycrystalline silicon photovoltaic panel was simulated. Results from the model were compared with values obtained in field.

[1] Eng. Eletricista, Dr. Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Medianeira, airton@utfpr.edu.br

Key-words: *Solar energy. Simulation. Photovoltaic system.*

1 Introdução

Atualmente, em virtude da preocupação com o meio ambiente, e também, com o esgotamento das fontes fósseis, tem-se dado mais atenção ao avanço e estudo tecnológico de fontes renováveis de energia.

O Brasil está situado em uma zona tropical, apresenta alta incidência de radiação solar, o que torna viável o desenvolvimento de tecnologias capazes de transformar a energia solar em energia térmica, elétrica, química, mecânicas e outras.

A energia solar fotovoltaica está difundida em várias localidades do Brasil, aplicada a diversas finalidades. Por se tratar de uma fonte versátil, a energia solar fotovoltaica pode ser utilizada em locais remotos onde a rede elétrica ou não está disponível ou torna-se muito cara, sendo, desta forma, uma boa opção para pequenos agricultores (TREBLE, 1991).

O protocolo de Kyoto (ANDRADE; COSTA, 2008), cujo objetivo é fazer com que os países, que participam de tal acordo, reduzam as emissões de gases que causam o efeito estufa, é uma forma de se sugerir a utilização de fontes não poluidoras do meio ambiente, tais como, eólica, geotérmica, solar, dentre outras.

O número de pessoas preocupadas em preservar o meio ambiente vem aumentando substancialmente nas últimas três décadas (ANDRADE; COSTA, 2008),. Leis de proteção ambiental vêm sendo implementadas em um número crescente de países. Isso torna as ações agressivas ao planeta cada vez mais difíceis de serem tomadas. Neste cenário, o espaço destinado às fontes de energia não convencionais, particularmente as renováveis, vem aumentando e, em casos específicos, destacando-se como a solução dos problemas de abastecimento energético (BELARBI, 2006).

Neste contexto, entre as opções por fontes de energia não convencionais, a energia solar fotovoltaica possui lugar de destaque. Suas características específicas, tais como (CEPEL/CRESESB, 1999): a possibilidade de geração descentralizada, o caráter modular, a facilidade na instalação e manutenção e sua característica renovável e não poluidora unida à tendência de diminuição nos preços da energia fotogerada e ao encarecimento da eletricidade convencional, projeta uma ampliação do número de aplicações fotovoltaicas economicamente

viáveis. Com isto, o mercado para esta tecnologia tende a aumentar, possibilitando, através de uma economia de escala, uma nova diminuição em seus custos (GOMEZ, 1999).

Este trabalho tem como objetivo a implementação de um modelo computacional para simulação de curvas características de uma célula fotovoltaica. Para validação do modelo, compararam-se resultados de simulação com resultados obtidos de campo na cidade de Medianeira/PR.

2 Material e Métodos

2.1 O Sistema Fotovoltaico

O sistema fotovoltaico da Figura 1, com dez painéis, foi montado na cidade de Medianeira, mais especificamente, nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O município está localizado na Região Oeste Paranaense com coordenadas de 25º 17’ 43” latitude Sul, 54º 05’ 38” longitude Oeste e apresenta uma altitude de 500,7 metros. Dez painéis fotovoltaicos foram instalados, mas somente dois foram utilizados neste trabalho. Devido à configuração do sistema os dois painéis foram ligados em série.

Figura 1 - Sistema fotovoltaico.



Fonte: O Autor.

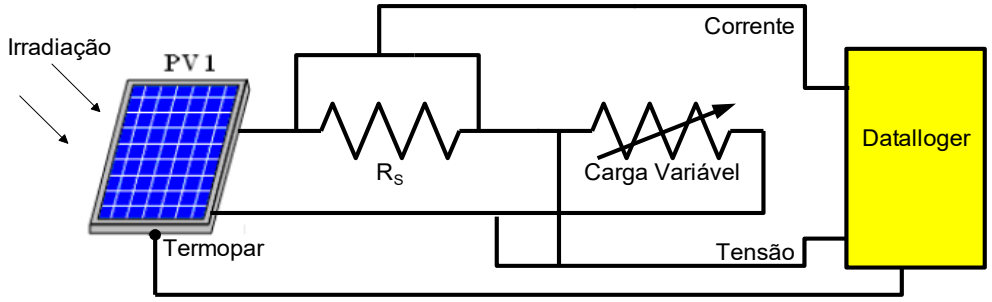
O sistema fotovoltaico foi formado por:

- Dois painéis solares, fabricante Solarex, modelo MSX 56, tensão padrão de 12 V, corrente padrão de 3,35 A e potência de 56 W;

- Um *micrologger* da marca Campbel Scientific-INC, modelo CD23X;
- Um termopar do tipo K (cromo/alumínio) aferido para a aquisição de dados;
- Um piranômetro Kipp & Zonen CM3;
- Dois divisores de tensão;
- Duas resistências *Shunt* (marca ELETELE (25 Ω, 100 W);
- Baterias recarregáveis estacionárias de chumbo-cálcio, marca Concorde, modelo PVX-1285 (85Ah-12 V);
- Controlador de carga e descarga do sistema de armazenamento, marca Morningstar Prostar 30 (30 A).

Os dados de campo (tensão e corrente) foram obtidos através de uma carga variável (variando de curto-circuito a circuito aberto). Sendo que a corrente foi medida através de um resistor de precisão (*shunt*) ligado em série com a carga (Figura 2).

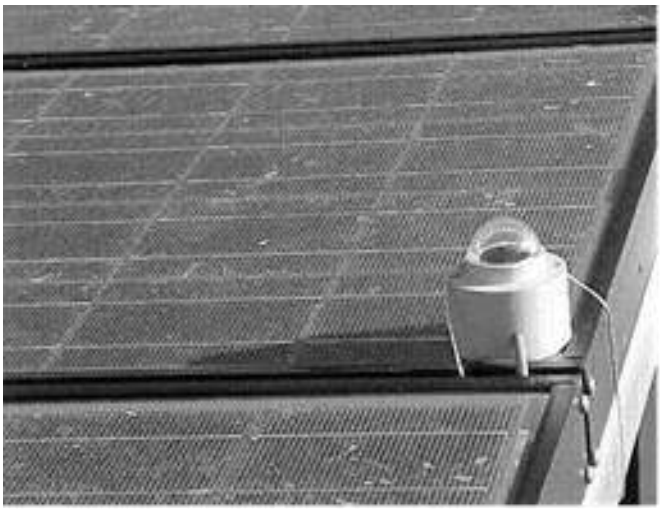
Figura 2. - Diagrama de conexão para medida de corrente e tensão.



Fonte: O Autor.

O termopar, colocado na parte de trás do painel fotovoltaico, fornece o valor da temperatura dos painéis e o piranômetro (Figura 3) o valor da irradiação.

Figura 3 - Piranômetro Kipp & Zonen.

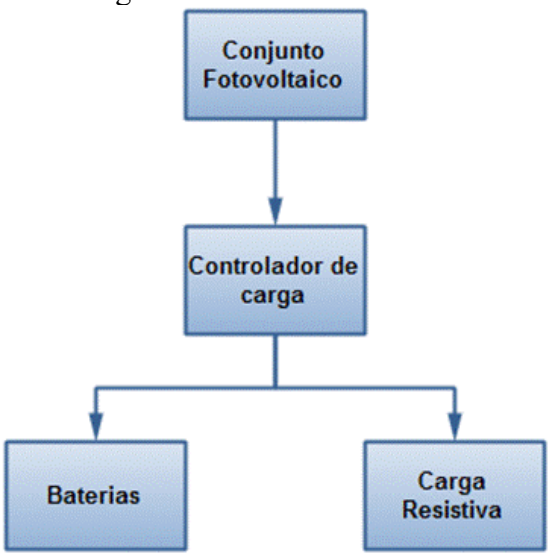


Fonte: O Autor.

O posicionamento do conjunto fotovoltaico foi realizado por meio de uma haste vertical projetada sobre um plano horizontal, pela localização do norte geográfico utilizando o valor do meio-dia real (12 horas, 43 minutos, 44 segundos). O ângulo de inclinação do conjunto fotovoltaico em relação ao plano horizontal foi mantido constante e idêntico à latitude do local.

O sistema, em estudo (Figura 4), é formado por: um conjunto fotovoltaico, um controlador de carga, um banco de baterias e por uma carga resistiva. O sistema de aquisição de dados é constituído por um *datalloger* da CAMPBELL SCIENTIFIC-INC modelo CR23X, programado para realizar uma leitura por segundo de cada canal e armazenar a média aritmética de um minuto dos seguintes dados: componente da radiação global de incidência no painel; temperatura de operação do painel; tensão e corrente do sistema fotovoltaico.

Figura 4. Sistema em estudo.



Fonte: O Autor.

2.2 O Modelo Computacional

O modelo computacional, implementado neste trabalho, foi proposto por El-Tayyan (2006). Este modelo é baseado em parâmetros fornecidos pelos fabricantes (Tabela 1):

V_{oc} – tensão de circuito aberto (V);

I_{sc} – corrente de curto-circuito (A);

V_{mp} - tensão de potência máxima (V) e;

I_{mp} – corrente de potência máxima (A).

Neste modelo, a relação entre a tensão (V) e a corrente (I) é dada por:

$$I = I_{sc} - C_1 e^{-\frac{V_{oc}}{C_2}}\left(e^{\frac{V}{C_2}} - 1 \right) \quad (1)$$

Para I = 0 (V = V_{oc}) tem-se:

$$0 = I_{sc} - C_1\left(1 - e^{-\frac{V_{oc}}{C_2}} \right) \quad (2)$$

No ponto de potência máxima a equação 1 torna-se:

$$I_{mp} = I_{sc} - C_1 e^{-\frac{V_{oc}}{C_2}}\left(e^{\frac{V_{mp}}{C_2}} - 1 \right) \quad (3)$$

Para obterem-se os coeficientes C_1 e C_2, assume-se que:

1. $(V_{oc}/C_2) >> 1$, e a equação 2 torna-se:

$$C_1 \cong I_{sc} \quad (4)$$

2. $(V_{mp}/C_2)>>1$, e a equação 3 torna-se:

$$I_{mp} = I_{sc} - C_1 e^{\frac{V_{mp} - V_{oc}}{C_2}} \tag{5}$$

Rearranjando os termos obtém-se:

$$C_1 = \frac{I_{sc} - I_{mp}}{e^{\left(\frac{V_{mp} - V_{oc}}{C_2}\right)}} \tag{6}$$

Substituindo a equação (4) na equação (5), tem-se:

$$\frac{I_{sc} - I_{mp}}{I_{sc}} = e^{\left(\frac{V_{mp} - V_{oc}}{C_2}\right)} \tag{7}$$

Ou

$$C_2 = \frac{V_{mp} - V_{oc}}{\ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \tag{8}$$

Os parâmetros do painel (Tabela 1) são obtidos dos catálogos de fabricantes de painéis fotovoltaicos. Os mais importantes para descrever o desempenho elétrico da célula fotovoltaica são a corrente de curto-circuito (I_{sc}) e a tensão de circuito aberto (V_{oc}) (TREBLE, 1991). Neste trabalho utilizou-se o painel MSX-56 fabricado pela Solarex (ROGER NABEYAMA MICHELS *et al.*, 2011).

Tabela 1 - Parâmetros do painel.

Parâmetro	Variável	Valor
Potência Máxima	P_{mp}	56 W
Tensão de Potência Máxima	V_{mp}	17,7 V
Corrente de Potência Máxima	I_{mp}	3,16 A
Corrente de Curto-circuito	I_{so}	3,46 A
Tensão de Circuito Aberto	V_{oo}	21,2 V

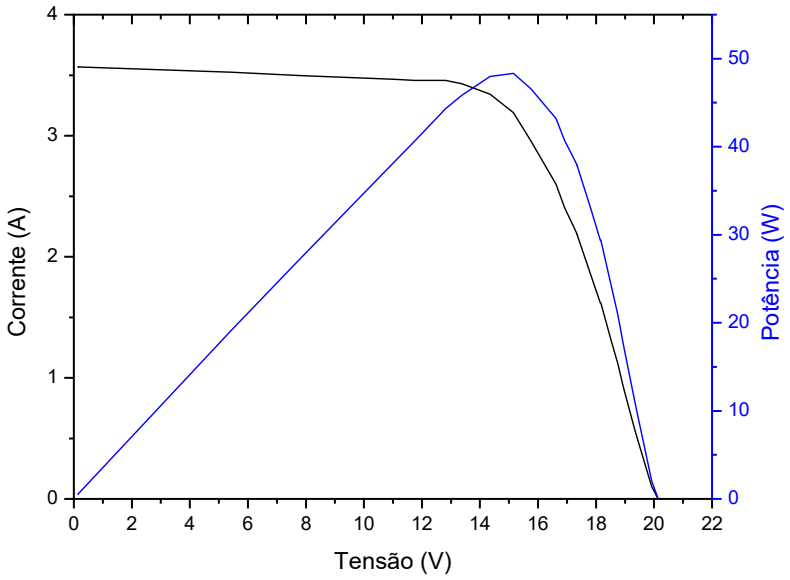
Coeficiente de Temperatura de I_{so}	α	(0,065±0,015) %/^{0}C
Coeficiente de Temperatura de V_{oo}	β	-(80±20) mV/^{0}C
Coeficiente de Temperatura da Potência	γ	-(0,5±0,05) %/^{0}C

Fonte: O Autor.

3 Resultados e Discussão

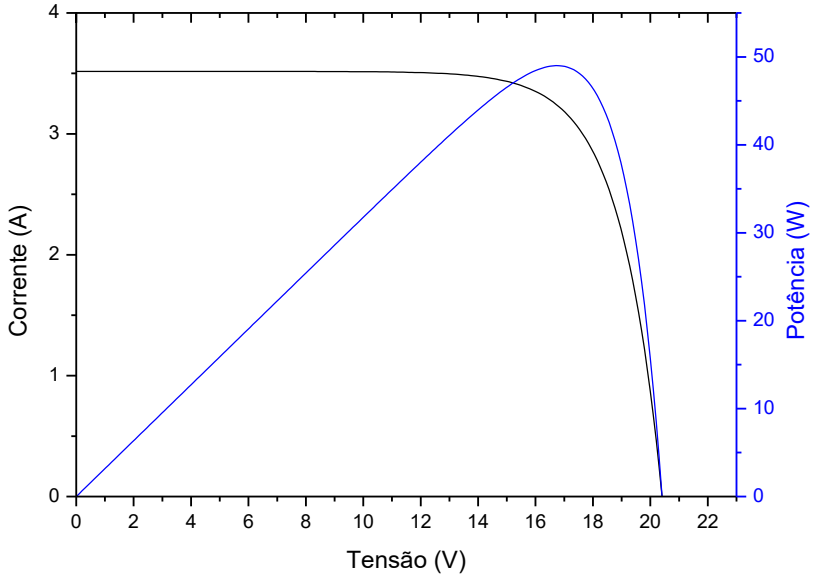
A Figura 5 apresenta as curvas da corrente em função da tensão (I x V) e da potência em função da tensão (P x V), obtidas em campo na cidade de Medianeira/PR, para uma temperatura T = 35º C e uma irradiação G = 1000 Wm^{-2}. Na Figura 6 têm-se as curvas I x V e P x V, obtidas de simulação, através do modelo, apresentado neste trabalho, para os mesmos valores de temperatura e irradiação solar.

Figura 5 - Curvas I x V e P x V - Campo (T = 35ºC).



Fonte: O Autor.

Figura 6 - Curvas I x V e P x V - Simulação (T = 35ºC).



Fonte: O Autor.

Observa-se, através dos gráficos apresentados nas Figuras 5 e 6, que as curvas obtidas de simulação, para as condições avaliadas neste trabalho na temperatura de 35^0C, apresentam similaridades com as curvas obtidas em campo.

4 Conclusões

Neste trabalho apresentaram-se resultados, de campo e de simulação, de um gerador fotovoltaico, de silício policristalino, da marca Solarex, modelo MSX-56. Observou-se que as curvas obtidas de simulação apresentaram similaridades com as curvas obtidas em campo. Portanto, o modelo, forneceu curvas, que representaram, na temperatura de 35^0C, o comportamento do painel fotovoltaico em estudo.

Verifica-se que a simulação pode ser de grande ajuda para a análise do funcionamento de um sistema fotovoltaico e redução de seus custos, já que situações das mais diversas podem ser supostas e avaliadas, melhorando todo o desempenho do sistema.

5 Referências

ANDRADE J. C. S., COSTA P. **Mudança Climática, Protocolo de Kyoto e Mercado de Créditos de Carbono: desafios à governança ambiental global.** Organizações & Sociedade, Vol. 15, N° 45, 2008.

BELARBI, M. **Modélisation et simulation d'un système de pompage photovoltaique.** D'Oran : 2006.

CEPEL/CRESESB **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 1999.

EL-TAYYAN A. **An Emperical model for generating the IV Characteristics for a photovoltaic System.** J. al-Aqsa Univ., 10 (S. E.), 2006.

GOMEZ, C. **Engineering and scientific computing with Scilab.** Birkhauser: 1999.

ROGER NABEYAMA MICHELS et al. Relationship Between Temperature and Electrical Power in a Polycristalline Photovoltaic Panel: Study of a Case. In: Latin Dysplay e XXXII CBRAVIC, 2011, Itajubá. Latin Dysplay e XXXII CBRAVIC, 2011.

TREBLE, F. C. **Generating electricity from the sun.** New York: Pergamon Press, 1991.