

MODELAGEM DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS NO IFNMG – CAMPUS MONTES CLAROS

SANTOS, H.S¹.; RODRIGUES, N.P¹; MENDES, L.F.S. ²; PEREIRA, L.D.L³.

¹Discente do curso Engenharia Elétrica do IFNMG – campus Montes Claros; ² Docente do IFNMG – campus Montes Claros; ³Docente do IFNMG – campus Teófilo Otoni.

Palavras chaves: Sistemas Fotovoltaicos; Estimação de parâmetros; Algoritmos Genéticos; Método de Newton Raphson.

Introdução

O avanço do desenvolvimento tecnológico culminou no aumento do consumo de energia elétrica, no entanto, as principais fontes de energia utilizadas na geração de energia elétrica são provenientes de recursos não renováveis. O aumento na emissão de gases poluentes que provocam o aquecimento global, também é um fator que corrobora para o investimento em fontes de energias renováveis (COSTA, 2010).

Com isso, o uso de sistemas fotovoltaicos vem crescendo nos últimos anos, exigindo necessidade de novas pesquisas para a redução dos custos e do aumento da eficiência e confiabilidade de novas tecnologias. Com base no contexto apresentado acima, o projeto de pesquisa implementa e compara o modelo de um módulo fotovoltaico cujo circuito equivalente é composto por um diodo e uma resistência série, Fig. 1A, com o modelo cujo circuito equivalente é composto por um diodo e resistências série e paralelo, Fig. 1B, a partir dos dados fornecidos pelo fabricante dos módulos fotovoltaicos instalados no IFNMG – Campus Montes Claros.

Na análise dos módulos fotovoltaicos com as mudanças de condições de carga, diversos valores de corrente e tensão podem ser medidos e arranjados graficamente. A curva gerada é chamada de curva característica I-V, Fig. 2, e está associada às condições de intensidade solar, temperatura, dentre outras. As condições padrão de teste (STC - *standard test conditions*) para o módulo fotovoltaico são: irradiância solar de 1000 W/m² e temperatura da célula de 25°C. Neste projeto os parâmetros estimados foram avaliados na condição STC.

Material e métodos

Um módulo fotovoltaico é composto por um conjunto de células fotovoltaicas, cujo comportamento depende das suas características construtivas. O comportamento elétrico das células e, conseqüentemente dos módulos, são fornecidos pelos fabricantes em um *datasheet*. O modelo dos módulos instalados no IFNMG-Campus Montes Claros é o RSM-340W (Risen, 2010), cujos pontos das curvas I-V foram extraídos de seu *datasheet* com o auxílio da ferramenta *online* WebPlotDigitizer (Rohatgi, 2021).

Os parâmetros para os circuitos equivalentes dos módulos fotovoltaicos foram estimados a partir de um Algoritmo Genético mono-objetivo (AG) de minimização, baseado nos princípios da seleção natural, procedimentos de otimização e busca, cuja função objetivo foi definida como o erro entre a

corrente calculada a partir dos parâmetros estimados pelo AG e os valores de corrente extraídos do *datasheet*. Foram realizadas simulações com 1000 gerações e população de 180 indivíduos.

A função que descreve a corrente do módulo fotovoltaico é uma função transcendente, portanto é necessário aplicar métodos numéricos para sua resolução. O método utilizado para o cálculo da corrente em cada ponto da curva utilizando os parâmetros estimados foi o método de Newton Raphson (NR).

O método NR necessita de chutes iniciais para o cálculo das raízes de uma função, portanto, o AG foi empregado para estimar os chutes iniciais, além dos parâmetros dos modelos. A partir do método de NR foram calculadas as correntes em cada ponto da curva e comparadas aos valores extraídos do *datasheet* do fabricante. Foram desenvolvidas simulações para a validação dos modelos, analisando o comportamento do módulo em um sistema fotovoltaico.

O *software* utilizado para a implementação do AG e do método de NR foi o *software* livre GNU Octave.

Resultados e discussão

Foram obtidos os parâmetros que não são fornecidos pelos fabricantes e o chute inicial para o método de NR: os fatores de idealidade, as correntes de saturação reversa dos diodos de difusão, chute inicial da corrente de saída do módulo e as resistências série e paralelo.

Os parâmetros estimados pelo AG para cada modelo de circuito equivalente estão apresentados na Tabela 1.

O modelo baseado no circuito equivalente com um diodo e uma resistência série apresentou erro quadrático médio igual a 0,063, enquanto o modelo baseado no circuito equivalente com um diodo e resistências série e paralelo, apresentou erro quadrático médio igual a 0,024.

A Fig.2 mostra os gráficos de comparação entre as curvas obtidas a partir dos parâmetros estimados e as curvas extraídas do *datasheet*.

Conclusão

A utilização do AG é de grande auxílio na estimação dos parâmetros, mesmo que alguns dados de referência não sejam fornecidos pelos fabricantes. Com o auxílio do AG, foram estimados parâmetros para os modelos baseados no circuito equivalente com um diodo e resistência série, e circuito equivalente com um diodo e resistências série e paralelo.

Os modelos obtidos foram utilizados para obtenção das curvas I-V do módulo RSM-340W, que foram comparadas às curvas disponibilizadas pelo fabricante no *datasheet*. A partir da análise das curvas obtidas, observa-se que os resultados se assemelham aos dados fornecidos pelo fabricante, apresentado baixos valores erros quadráticos médios.

O modelo baseado no circuito equivalente com resistências série e paralelo foi o que apresentou os melhores resultados, com erro quadrático médio igual à 0,024.

Como continuidade do projeto, outros métodos de estimação de parâmetros podem ser empregados, como, por exemplo, os *algoritmos firefly* e de evolução diferencial. Pode-se obter ainda modelos baseados em dois ou mais diodos. Como a corrente do módulo sofre a influência da irradiância, pode ser implementado um estimador de irradiância para fornecer os dados de entrada do modelo equivalente. Os modelos equivalentes podem ser utilizados em estudos de análise de falhas, que permitem a identificação de falhas incipientes e implementação de manutenção preditiva.

Agradecimentos

Os autores desse artigo agradecem ao IFNMG Campus Montes Claros pelas bolsas de Iniciação Científica concedidas para a realização da pesquisa e por fornecer o espaço para estudo e pesquisa.

Referências

COSTA, W. T., Modelagem, estimação de parâmetros e método MPPT para módulos fotovoltaicos. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 188 f., 2010.

NETO, L. de V. B. M. Caracterização de geradores fotovoltaicos e desenvolvimento de seguidor de potência máxima para sistemas autônomos aplicados à eletrificação rural. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) — Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil, 2006.

RISEN. RSM72-6-330M-350M. Módulo Monocristalino. Datasheet, 2010.

ROHATGI, A. WebPlotDigitizer (Versão 4.5). 2021. Disponível em: < <https://automeris.io/WebPlotDigitizer>>. Acesso em: 01 Out. 2021.

ANEXO I

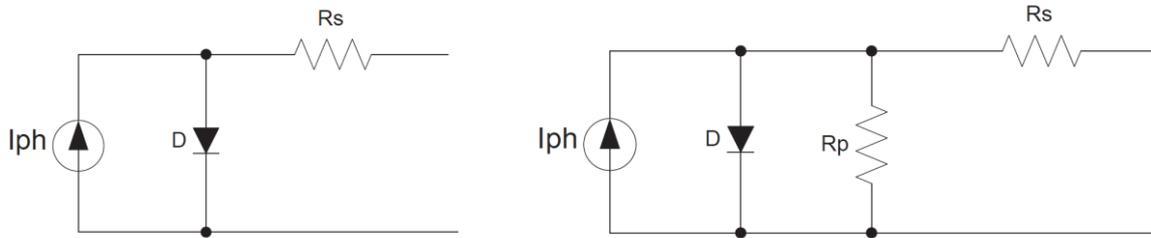


Figura 1. Modelos baseados em circuitos equivalentes com: A - um diodo e resistência série; B: um diodo e resistências série e paralelo. Fonte: COSTA (2010).

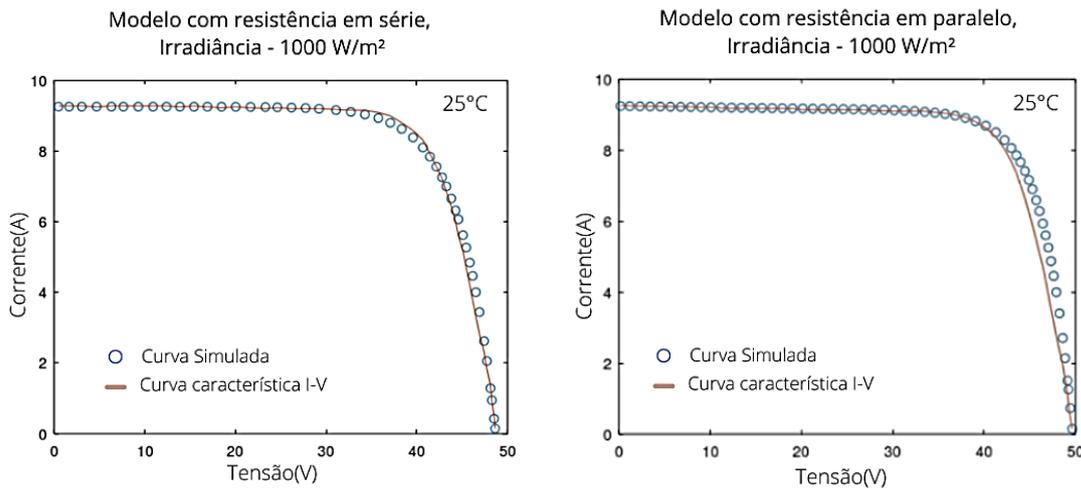


Figura 2. Curvas características I-V e Curvas Simuladas do modelo com resistência em série e o modelo com resistências série e paralelo. Fonte: Arquivo Pessoal (2022).

Tabela 1. Resultados das simulações.

	Modelo com um diodo e resistência série		Modelo com um diodo e resistências série e paralelo	
	Parâmetros estimados	Erro quadrático médio da corrente estimada	Parâmetros estimados	Erro quadrático médio da corrente estimada
Chute inicial da corrente de saída I_{s0} (A)	9,26		9,43	
Fator de idealidade m	$3,08 \times 10^{-5}$		$3,37 \times 10^{-5}$	
Resistência série R_s (Ω)	1,26	0,063	1,20	0,024
Corrente fotogerada I_{ph} (A)	$1,09 \times 10^{-4}$		$7,95 \times 10^{-2}$	
Resistência paralelo R_p (Ω)	-		1158,3	

Fonte: Arquivo Pessoal (2022).