

Algoritmo GSA para MPPT em sistema FV sob condições de sombreamentos parciais

GSA algorithm for MPPT in PV systems under partial shading conditions

RESUMO

Vinicius Cesar Rodrigues Godinho
viniciuscrgodinho@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Leonardo Poltronieri Sampaio
sampaio@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Considerando que os sistemas fotovoltaicos (FV) podem estar submetidos em condições de sombreamento parcial, apresentando diversos pontos de máxima potência (*Maximum Power Point* - MPP), sendo um ponto global (*Global Maximum Power Point* - GMPP) e pontos locais (*Local Maximum Power Point* - LMPP), este artigo apresenta o algoritmo metaheurístico *Gravitational Search Algorithm* (GSA) com o intuito de lidar com o problema de otimização no rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT). Neste artigo foi avaliada a técnica meta-heurística com o algoritmo de busca gravitacional (GSA), levando em consideração os comportamentos estáticos e dinâmicos do sistema na busca do GMPP em condições de irradiação solar, bem como quando em condições de sombreamentos parciais. A técnica de MPPT é avaliada empregando um conversor CC-CC elevador de tensão, no qual é utilizado o controle multimalhas para a regulação da tensão do arranjo FV. Por meio de resultados de simulação a técnica de MPPT é avaliada e são apresentados alguns indicadores de desempenho, como o tempo para atingir o GMPP, eficiência no rastreamento e a oscilação de potência em regime permanente.

PALAVRAS-CHAVE: Técnicas de MPPT. Sistemas Fotovoltaicos. Técnicas Metaheurísticas.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

ABSTRACT

Considering that photovoltaic systems (PV) may be subject to partial shading conditions, presenting several points of maximum power (MPP), being a global point (Global maximum Power Point - GMPP) and the remaining local points (Local Maximum Power Point - LMPP), this paper presents the metaheuristic Gravitational Search Algorithm (GSA) in order to deal with the optimization problems related to the maximum power point tracking (MPPT). In this paper, the meta-heuristic technique with the gravitational search algorithm (GSA) is evaluated, taking into account the static and dynamic behaviors of the system in the search for GMPP under conditions of solar irradiation, as well as when in partial shading conditions. The MPPT technique is evaluated employing a DC-DC step-up converter, in which the multi-loop control is used to perform the PV array voltage regulation. By means of simulation results, the MPPT technique is evaluated and some performance indicators are presented, such as the time to reach the GMPP, tracking efficiency and the oscillation power in steady-state.

KEYWORDS: MPPT Techniques. Photovoltaic Systems. Metaheuristics Techniques.



INTRODUÇÃO

Globalmente a geração de energia fotovoltaica (FV) está ganhando cada vez mais destaque devido aos seus benefícios em comparação as fontes de energia não renováveis, tais como combustível fóssil, carvão mineral, nuclear, dentre outros. A geração de energia FV está sendo amplamente empregada em países onde há notável quantidade de irradiação solar, vez que a conversão da energia solar em elétrica está diretamente relacionada a esse fator. Babaa *et al.* (2014).

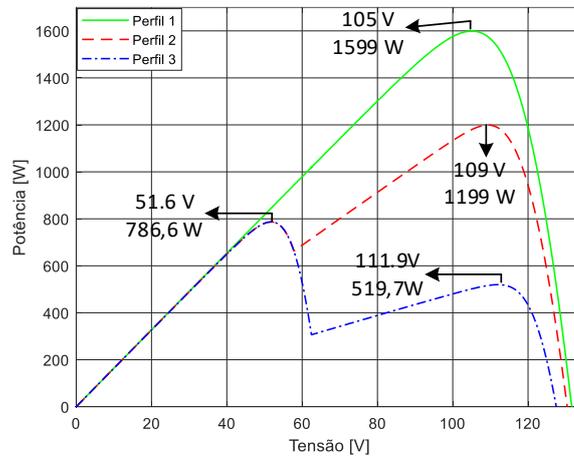
Devido ao crescimento do uso de energias renováveis, é necessário realizar a otimização do sistema FV para que opere aproveitando toda potência disponível, aumentando sua eficiência e consequentemente elevando sua relação custo-benefício. A potência a ser extraída de um arranjo FV está diretamente relacionada às condições atmosféricas (Li *et al.*, 2011), como temperatura e irradiação solar incidente sobre as células FV, condições nas quais são totalmente aleatórias do sistema.

Sobre uma distribuição uniforme de irradiação solar sobre o arranjo FV existe apenas um ponto máximo de potência na curva característica de Potência vs. Tensão, como mostrado no perfil 1 da Figura 1. Entretanto, quando a irradiação solar não é uniforme sobre as células FV, ocorre o fenômeno de sombreamento parcial, no qual algumas células do arranjo FV ficam parcial ou totalmente sombreadas. Esse efeito pode ser causado pela formação de nuvens sobre o sistema FV, posicionamento das células, sombra causada por construções, árvores, entre outros. Salem *et al.* (2016). Por conta desse efeito, há o surgimento de máximos globais e locais na curva característica de Potência vs. Tensão, como mostrado no perfil 2 da Figura 1. O máximo local é chamado de GMPP (*Global Maximum Power Point*) e o máximo local de LMPP (*Local Maximum Power Point*). Eltamaly *et al.* (2019). Surge então a necessidade de uma exploração dinâmica do sistema FV em busca do ponto de máxima potência (do inglês *Maximum Power Point* - MPP), afim de explorar o sistema FV de forma rápida e com pouca perturbação ao sistema, esse método de rastreamento é conhecido como métodos e técnicas de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

Encontram-se na literatura técnicas tradicionais de MPPT, como por exemplo, tensão constante, perturba e observa (P&O), condutância incremental (IC), Beta (β), dentre outras. Essas técnicas possuem fácil implementação, porém, os resultados obtidos por esses métodos podem não aproveitar a máxima potência oferecida pelo arranjo FV quando ocorre o efeito de sombreamento. Em contrapartida, algoritmos metaheurísticos podem realizar uma maior exploração do espaço de busca e como consequência ter maior êxito na extração da potência disponibilizada pelo arranjo FV para diferentes condições de operação, já que estes métodos são empregados para tratar problemas de otimização baseados em sua característica estocástica.

Neste trabalho foi implementado o algoritmo metaheurístico *Gravitational Search Algorithm* (GSA), controlado a partir de um conversor *Boost* através do sinal de um controle multimalhas. Através da simulação realizada, obteve-se os indicadores de desempenho do método.

Figura 1 – Curva característica de Potência vs. Tensão de um arranjo fotovoltaico.

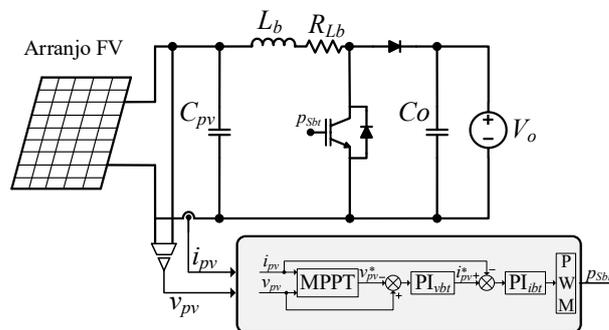


Fonte: Autoria própria (2020).

SISTEMA FV

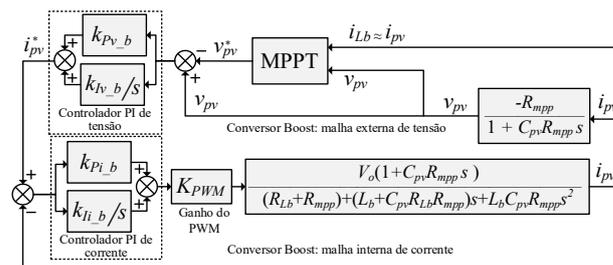
Na Figura 2 apresenta-se o esquema do arranjo em software de simulação utilizado para a obtenção dos resultados. O bloco MPPT representa o algoritmo estudado para obtenção dos resultados, o bloco de controle contém o controle multimalhas e o bloco do conversor *Boost* responsável por elevar a tensão do arranjo FV, realizar o MPPT, bem como fornecer energia para o próximo estágio. Na simulação foi utilizado o modelo apresentado em (Casaro; Martins, 2008). Neste trabalho foi considerado que toda a energia extraída do arranjo FV será fornecida para rede, assim, a fonte de tensão contínua (V_o) representa o barramento CC de um inversor de tensão monofásico, o qual é regulado em um valor constante. Utilizou-se de um conversor CC-CC elevador de tensão (conversor *Boost*) devido à necessidade da elevação da amplitude de saída no arranjo para injetar a energia na rede através de um inversor. A figura 3 apresenta o diagrama de blocos do controle multimalhas aplicado ao conversor CC-CC (Sampaio; *et al*, 2016).

Figura 2 – Esquema do sistema em software de simulação.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 3 – Diagrama de blocos do controle multimalhas aplicado ao conversor CC-CC



Fonte: Autoria própria (2020).

TÉCNICAS DE MPPT

O MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) tem o objetivo de encontrar o MPP e manter o sistema FV operando nesse ponto, uma vez que devido às variações na temperatura e na irradiação solar o MPP sofrerá variações. A partir dessa problemática, busca-se em encontrar durante operação o ponto de máxima potência de forma rápida, minimizando perturbações ao sistema, com o intuito de manter a máxima extração de energia do arranjo FV.

Este trabalho usa como alternativa para obter uma maior eficiência no MPPT o método GSA. Esse algoritmo consiste de um ramo da computação evolucionária (CE) na qual a busca por uma solução ótima é encontrada iterativamente e são baseados em padrões da natureza.

A técnica GSA é baseado nas leis da gravidade e da dinâmica de Newton e pode ser utilizado tanto para problemas de otimização quanto de minimização através da iteração entre massas (agentes). Esses agentes possuem quatro especificações, sendo essas massas inerciais, posição, massa gravitacional ativa e massa gravitacional passiva. A posição dos agentes representa a solução particular do problema e as massas podem ser obtidas através da função *fitness*. O algoritmo se comporta ao longo das iterações através da atração entre os agentes, nos quais os agentes que possuem maior massa – possivelmente mais próximo do máximo global – atraem agentes proporcionalmente à distância entre eles. O GSA pode ser considerado um ambiente isolado de massas, como um mundo artificial de massas obedecendo as leis Newtonianas da gravitação e do movimento.

A lei da gravitação universal estabelece que se dois corpos possuem massa, eles estão submetidos à uma força de atração mútua que é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional à distância entre elas.

A lei do movimento estabelece que a velocidade atual de um corpo com massa é igual à soma da sua velocidade anterior e da variação de velocidade ao longo do tempo, dada pela aceleração.

As equações e detalhes do algoritmo podem ser encontrado no artigo (Rashedi; Nezamabadi-pour; Saryazdi, 2009).

RESULTADOS

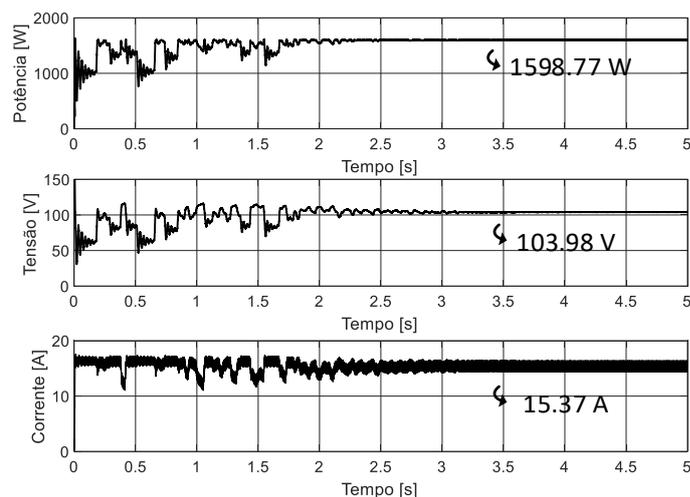
Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da simulação do algoritmo apresentado com o propósito de realizar uma análise de desempenho do método para sistemas FVs com e sem sombreamento. A Figura 1 apresenta duas curvas características do arranjo FV em estudo, sendo o Perfil 1 o sistema em Condições de Teste Padrão (STC). Já o Perfil 2 ilustra a curva característica para o sistema em condição de sombreamento parcial. As especificações da célula fotovoltaica utilizada no trabalho são apresentadas na Tabela 1. O arranjo FV implementado é composto por duas *strings* conectadas em paralelo, no qual cada *string* possui 4 células em série. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para ambos os perfis de simulação. E as figuras 6 e 7 apresentam as curvas de potência, tensão e corrente para cada perfil simulado.

Tabela 1 – Parâmetros do Painel Kyocera KC200GT em Condições de Testes Padrão (STC)

Parâmetro	Valor
Potência máxima	$P_{max} = 200 \text{ W}$
Tensão no MPP	$V_{mpp} = 26,26 \text{ V}$
Corrente no MPP	$I_{mpp} = 7,59 \text{ A}$
Tensão de circuito aberto	$V_{oc} = 33,06 \text{ V}$
Corrente de curto circuito	$I_{sc} = 8,16 \text{ A}$

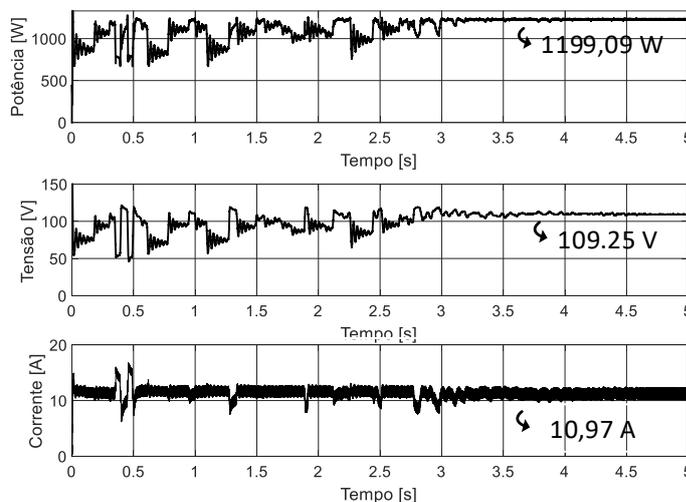
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 6 – Resultados do método GSA para o perfil 1



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 7 – Resultados do método GSA para o perfil 2



Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 2 – Comparação de desempenho para os perfis 1 e 2.

Parâmetro	PERFIL 1	PERFIL 2
Tempo de busca do MPP (s)	2,13	3,38
Potência extraída no MPP (W)	1598,77	1199,09
Oscilação de potência em regime (%)	0,501	0,937
Eficiência do rastreamento (%)	99,923	99,924

Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise de desempenho do método GSA, para determinar o MPP em arranjos fotovoltaicos em diferentes condições de irradiação solar e temperatura. Para a análise de desempenho considerou-se como indicadores, a potência extraída do arranjo FV, tempo de rastreamento e oscilação de potência em regime permanente. Para as condições de testes avaliadas, o método GSA conseguiu atingir o GMP em ambos os perfis, tanto para condições em STC quanto para sombreamento parcial.

Apesar do método alcançar o GMPP, em STC o método apresentou menor oscilação da potência em regime permanente e menor tempo de rastreamento do MPP. Em condições de sombreamento parcial, o algoritmo atingiu o GMPP em um tempo maior e com mais oscilação de potência em regime permanente. O método apresentou um desempenho muito bom, sobre uma complexidade média de implementação.

REFERÊNCIAS

BABAA, S. E.; ARMSTRONG, M.; PICKERT, V. Overview of maximum power point tracking control methods for PV systems. **Journal of Power and Energy Engineering**, Newcastle, UK, v. 2, p. 59-72, 27 ago. 2014. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=49283>. Acesso em: 20 abr. 2020.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. Modelo de arranjo fotovoltaico destinado a análises em eletrônica de potência via simulação, **Eletrônica de Potência**, v. 13, n. 3, p. 141-146, 2008.

ELTAMALY, A. M.; AL-SAUD, M. S.; ABOKHALIL, A. G.; FARH, H. MH. Photovoltaic maximum power point tracking under dynamic partial shading changes by novel adaptive particle swarm optimization strategy. **Transactions of the Institute of Measurement and Control**, Arábia Saudita, v. 42, p. 104–115, 28 ago. 2019. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0142331219865627>. Acesso em: 20 abr. 2020.

LI, S.; ZHENG, H. Energy extraction characteristic study of solar photovoltaic cells and modules. In: IEEE POWER AND ENERGY SOCIETY GENERAL MEETING, 2011., 2011, Michigan. **Anais...** Michigan: 2011 IEEE PES-GM, 2011. p. 1-7.

RASHEDI, E.; NEZAMABADI-POUR, H.; SARYAZDI, S. GSA: a gravitational search algorithm. **Information Sciences**, [s. l.], v. 173, p. 2232-2248, 13 jun. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2009.03.004>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SALEMA, F.; AWADALLAHB, M. A. Detection and assessment of partial shading in photovoltaic arrays. **Journal of Electrical Systems and Information Technology**, University of Zagazig, Egito, v. 3, p. 23-32, 18 mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2015.10.003>. Acesso em: 20 abr. 2020.

Silva, S. A. O., Sampaio, L. P., Oliveira, F. M., Durand, F.R. Sistema fotovoltaico com condicionamento ativo de energia usando MPPT baseado em PSO e malha feed-forward de controle de tensão do barramento CC. **Eletrônica de Potência**, Campo Grande, v. 21, n. 2, p. 105-116, mar./jun. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18618/REP.2016.2.2615>. Acesso em: 20 abr. 2020.