

Estudos de algoritmos de MPPT aplicados a sistemas de geração distribuída fotovoltaicos utilizando métodos de otimização metaheurísticos

Studies of MPPT algorithms applied to photovoltaic distributed generation systems using metaheuristic optimization methods

RESUMO

Gabriel Ramos Previero
gabrielpreviero@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Comélio Procópio, Paraná, Brasil

Sergio Augusto Oliveira da Silva
augus@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Comélio Procópio, Paraná, Brasil

Rafaela Dizaró Silveira
rafaeladsilveira@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Comélio Procópio, Paraná, Brasil

Este trabalho apresenta a implementação de três diferentes algoritmos de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT - *Maximum Power Point Tracking*) aplicados em um sistema fotovoltaico com duplo estágio de conversão de energia conectado à rede elétrica monofásica. Técnicas heurísticas de MPPT, tal como o P&O (*Perturb and Observe*), possuem bons desempenhos no rastreamento do MPP apenas quando o arranjo fotovoltaico não é submetido a condições de sombreamento parcial. Porém, quando a irradiação solar incidente no arranjo fotovoltaico não é uniforme, pontos de máxima potência distintos podem surgir, sendo eles os pontos de máxima potência local (LMPP) e global (GMPP). Assim, algoritmos de MPPT baseados em métodos metaheurísticos têm sido usados na extração da máxima potência de arranjos fotovoltaicos buscando o GMPP, uma vez que os métodos de MPPT heurísticos nem sempre são capazes de rastrear o GMPP, ficando restritos à busca do LMPP. Este trabalho analisa e compara, por simulações computacionais, os desempenhos de dois algoritmos metaheurísticos de MPPT, sendo eles o método de Otimização por Enxame de Partículas (PSO - *Particle Swarm Optimization*) e Arrefecimento Simulado (SA - *Simulated Annealing*), mais o algoritmo de MPPT heurístico P&O, considerando o arranjo fotovoltaico operando sob condições de sombreamento parcial.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Fotovoltaico. Técnica de Rastreamento de Máxima Potência. Otimização por Enxame de Partículas. Arrefecimento Simulado.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

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



ABSTRACT

This paper presents the implementation of three different Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms applied in a dual stage photovoltaic system of energy conversion connected to the single-phase power grid. Heuristic MPPT techniques perform well only when the photovoltaic array is not subjected to partial shading conditions, because distinct maximum power points may arise, being the local (LMPP) and global (GMPP) maximum power points. Thus, MPPT algorithms based on metaheuristic methods have been used to extract the maximum power from photovoltaic arrays searching for GMPP, since heuristic MPPT methods are not always able to track GMPP. This work analyzes and compares, by computer simulations, the performances of two MPPT metaheuristic algorithms, namely the Particle Swarm Optimization (PSO) and Simulated Annealing (SA) method, plus the Heuristic MPPT P&O, considering the photovoltaic arrangement operating under partial shading conditions.

KEYWORDS: Photovoltaic System. Maximum Power Point Tracking. Particle Swarm Optimization. Simulated Annealing.

INTRODUÇÃO

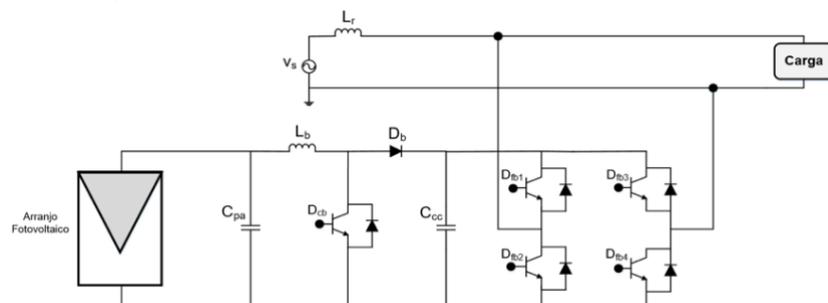
A busca por fontes inesgotáveis e limpas de energia abrigam, grandes focos de pesquisa e investimentos, seja para a diversificação destas ou por uma maior eficiência das já existentes. Neste contexto, a energia solar fotovoltaica tem sido uma das principais alternativas, apresentando o maior crescimento entre as fontes de energias renováveis.

Durante o funcionamento do sistema fotovoltaico existem algumas ocasiões que fazem com que este não atue nas condições esperadas. O sombreamento parcial é uma dessas condições. Pode ser causado por condições naturais, ou qualquer outra situação em que haja a obstrução da passagem da luz solar atingindo apenas parte do arranjo, ocasionando uma dificuldade nas técnicas de MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência, do inglês, *Maximum Power Point Tracking*) heurísticas convencionais na busca pelo GMPP (Ponto de máxima potência global, do inglês, *Global Maximum Power Point*).

MATERIAL E MÉTODOS

Para atribuir maior proximidade com os projetos reais, uma conversão de duplo estágio foi escolhida, sendo o primeiro estágio composto por um conversor CC/CC do tipo Boost, onde o MPPT foi aplicado com base na referência de tensão. A saída desse conversor está conectada a um barramento CC de um inversor de ponte completa, cujo objetivo é possibilitar a injeção de corrente na rede elétrica, completando o segundo estágio de conversão. O diagrama de blocos do sistema de geração e dos conversores está representado na Figura 1.

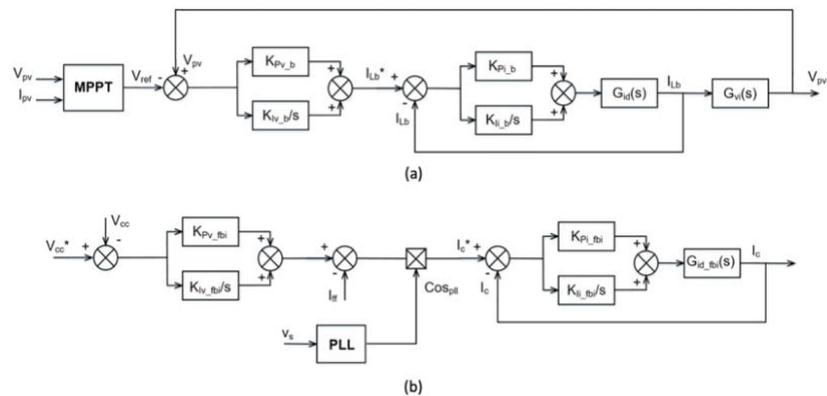
Figura 1 – Esquema completo do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica



Fonte: Autor.

No conversor CC-CC foi utilizado um sistema de controle multi-malhas, no qual a malha interna é referente à corrente e a malha externa, à tensão. Estas grandezas são consideradas as próprias oriundas do arranjo fotovoltaico. O controle do *Boost* está representado pela Figura 2 (a). O barramento CC do inversor *full-bridge* também possui um sistema de controle. Sendo o diagrama em blocos do controle representado pela Figura 2 (b).

Figura 2 – (a) Diagrama em blocos do controle multi-malhas do conversor CC-CC Boost; (b) Diagrama em blocos do controle do barramento CC.

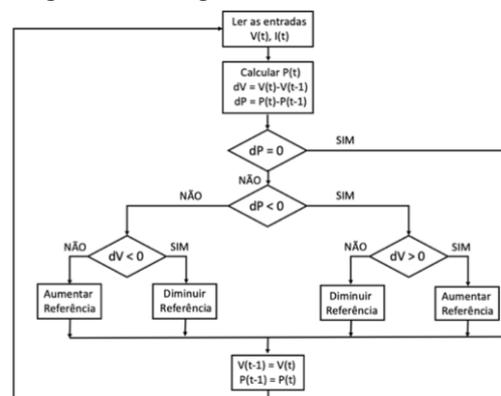


Fonte: Autor.

Para evitar as elevadas variações de tensão no barramento CC, conjuntamente à malha de controle do próprio barramento, uma malha *feed-forward* foi utilizada [2], bem como um sistema PLL (*phase locked loop*), para garantir o sincronismo das correntes injetadas na rede [3].

Diversos métodos de MPPT têm sido utilizados em sistemas fotovoltaicos, de modo a garantir que este atue sempre com a extração da máxima potência. Uma técnica amplamente encontrada na literatura é o P&O. Este método é basicamente definido pela aplicação de uma perturbação no sistema e a partir da análise da resposta obtida, aumentar ou diminuir a referência de acordo com o passo de incremento escolhido. Na Figura 3 está um fluxograma deste método.

Figura 3 – Fluxograma do método P&O



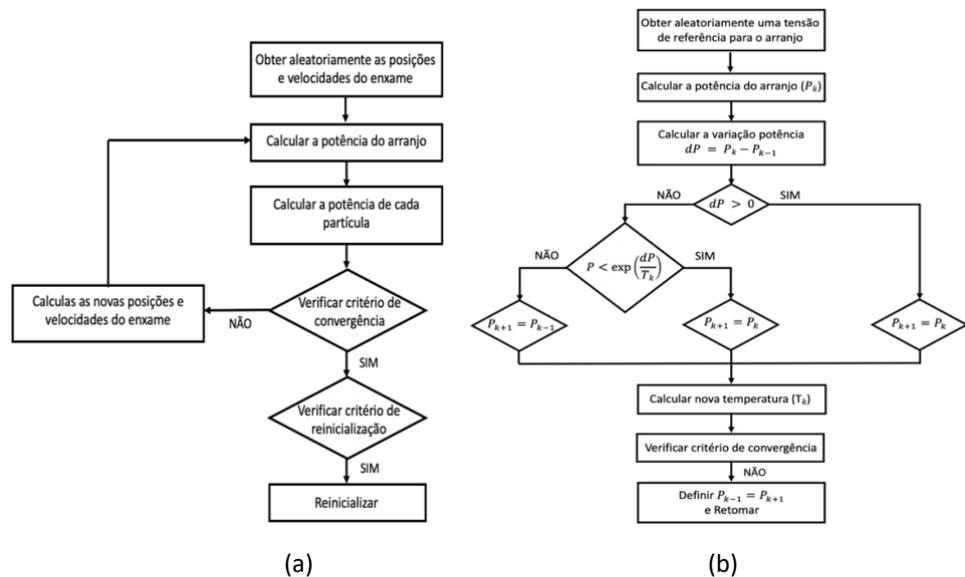
Fonte: Adaptado de [OLIVEIRA, 2015].

Dos algoritmos metaheurísticos, o PSO é um dos mais empregados em técnicas de MPPT, devido a sua simplicidade de implementação. O método de otimização por enxame de partículas é um algoritmo bio-inspirado, baseado na movimentação dos bandos de pássaros.

Os parâmetros iniciais são: coeficiente de inércia, coeficiente de aceleração pessoal e o coeficiente de aceleração global. Os valores utilizados foram de 0,5, 1,4 e 1,6, respectivamente. Na Figura 4 (a) está um fluxograma que ilustra os passos do algoritmo PSO utilizado neste trabalho.

Assim como o PSO, o *Simulated Annealing* também é uma metaheurística bastante conhecida por sua simplicidade de implementação e rapidez de convergência. O método do arrefecimento simulado é baseado no resfriamento de materiais, onde o estágio ideal de resistência é obtido através de um processo gradual de resfriamento. Os parâmetros temperatura inicial e finais do sistema, e o coeficiente de arrefecimento (α) foram definidos respectivamente como: 25°C, 0,001°C e 0,6. O algoritmo deste trabalho foi resumido nos passos definidos pelo Fluxograma presente na Figura 4 (b) [4].

Figura 4 – Fluxograma dos métodos (a) PSO e (b) SA



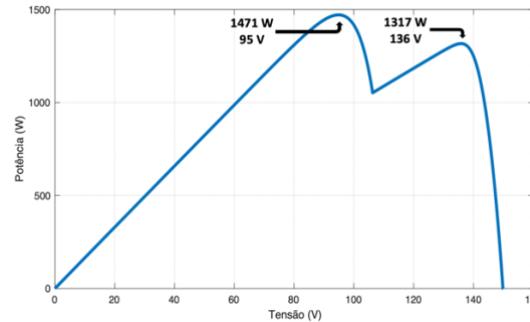
Fonte: (a) Autor; (b) Adaptado de [Y. Fan *et al*].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos por meio de simulações utilizando a ferramenta MATLAB/Simulink®, implementando a estrutura de potência do sistema, bem como as multi-malhas de controle do conversor CC-CC e do inversor de ponte completa.

O sombreamento realizado neste trabalho foi de 600 W/m² em dois módulos, localizados na base do arranjo, sendo um em cada *string*, de um total de duas, com quatro módulos em cada. Dessa forma, foi obtida a curva P-V para este caso, tendo como esperado, dois pontos de máximos, representada pela Figura 5.

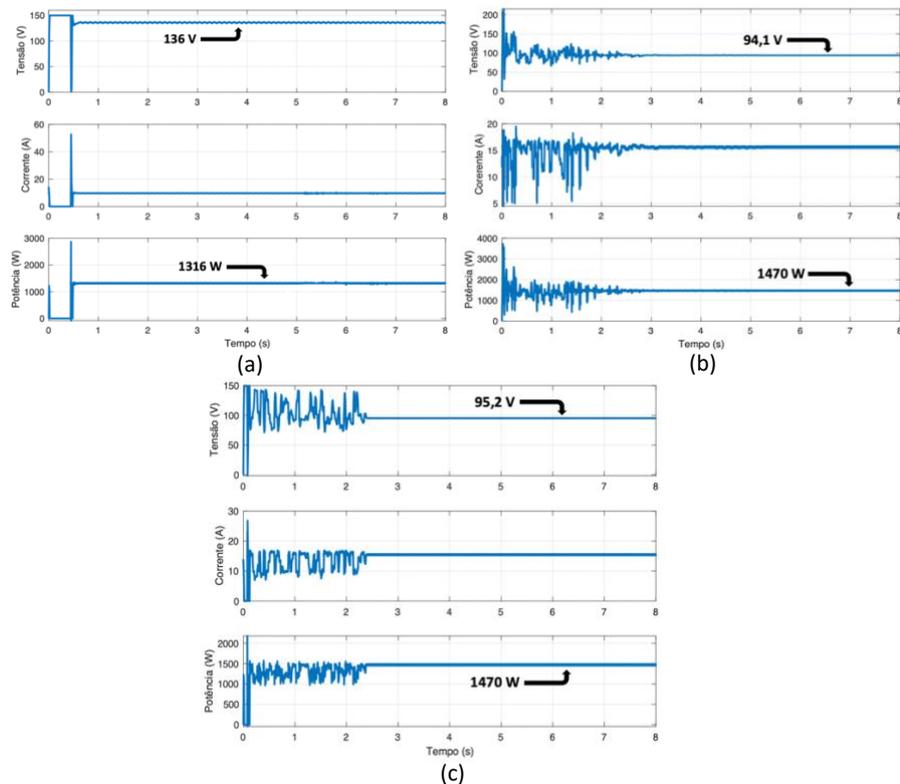
Figura 5 – Curva P-V para arranjo com sombreamento parcial deste trabalho



Fonte: Autor.

Com os métodos de rastreamento P&O, PSO e SA, foram obtidos os resultados apresentados pela Figura 6. Nessas figuras estão apresentadas a tensão, corrente e potência produzidas pelo arranjo PV.

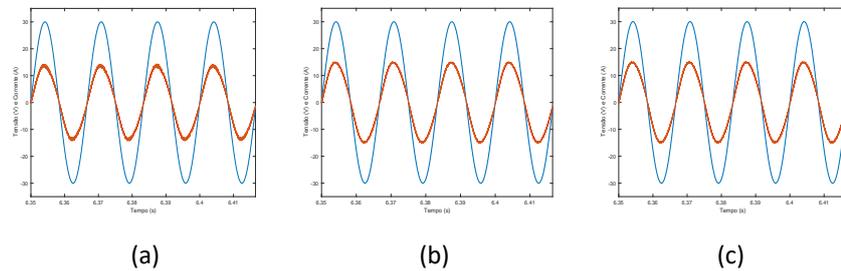
Figura 6 – Comportamento da tensão, corrente e potência do arranjo fotovoltaico com os algoritmos (a) P&O, (b) PSO e (c) SA.



Fonte: Autor.

As correntes geradas pelos módulos são injetadas na rede. Na Figura 7 estão apresentadas tensões e correntes que estão sendo injetadas na rede elétrica com cada método respectivamente.

Figura 7 – Tensão da rede elétrica e corrente injetada com o algoritmo (a) P&O; (b) PSO; e (c) SA.



Fonte: Autor.

Como pode ser observado na Figura 6, o método P&O obteve um desempenho inferior aos outros algoritmos metaheurísticos, os quais extraíram aproximadamente o ponto de máxima potência do sistema. Embora os métodos PSO e SA tenham alcançado um desempenho superior, o tempo de convergência também é maior em relação ao método de busca comum, que convergiu em menos de um segundo.

CONCLUSÃO

A proposta de testar diferentes algoritmos de rastreamento de máxima potência em sistemas de geração distribuída fotovoltaicos foi cumprida, possibilitando a solução para os problemas causados pelo sombreamento parcial. Empregando as técnicas baseadas em métodos metaheurísticos foi possível obter sempre o ponto de máxima potência global e consequentemente extrair o maior nível de potência disponível, algo que, comprovadamente, não foi possível através do método heurístico, o qual buscou o máximo local de operação do arranjo.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, Fernando M. de. **Rastreamento Da Máxima Potência Em Arranjos Fotovoltaicos Sob Efeito De Sombreamento Parcial Baseado No Método De Optimização Por Enxame De Partículas**. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2015.
- [2] SILVA, Sérgio A. O. da. et al. **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*, v.21, n.2, p. 105-116, 2016.
- [3] SILVA, Sérgio A. O. da.; NOVOCHADLO, Rodrigo; MODESTO, Rodrigo A. **Single-Phase PLL Structure Using Modified P-Q Theory for Utility Connected Systems**. In: *Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008*. IEEE. IEEE, 2008. p. 4706-4711.
- [4] Y. Fan *et al.*, "An Improved Simulated Annealing Maximum Power Point Tracking Technique for PV Array Under Partial Shading Conditions". 2016, 18th, *European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe)*, Karlsruhe, 2016, pp. 1-8.