

Estudo de técnicas de MPPT para aplicações em sistemas fotovoltaicos

Study of MPPT techniques for application in photovoltaic systems

RESUMO

Pedro Henrique Cassins von der Osten
posten@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Sérgio Augusto Oliveira Da Silva
augus@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

O efeito fotovoltaico consiste na transição de elétrons entre bandas de semicondutores a partir da luz solar. Quando a energia absorvida pelo elétron é maior ou igual à energia de gap, o mesmo desloca-se para a banda de condução, gerando uma diferença de potencial, possibilitando o surgimento de corrente elétrica. No entanto, quando painéis solares são associados entre si, acabam interferindo na geração do sistema como um todo ao serem expostos a diferentes níveis de radiação solar ou temperaturas, o fenômeno é conhecido na área como sombreamento parcial, e pode danificar os equipamentos, já que podem passar a agir como carga no sistema. Tendo isso em vista, o presente estudo foca na análise e implementação de métodos de controle a fim de maximizar a potência gerada pelo conjunto de painéis a partir do rastreamento dos pontos máximos de potência do sistema, introduzindo o conceito de otimização heurística e metaheurística assim como a junção de ambas, explicando a lógica dos métodos e realizando simulações para analisar o desempenho geral.

PALAVRAS-CHAVE: Fontes alternativas de energia. Eletrônica de potência. Energia solar.

ABSTRACT

The photovoltaic effect is based on the transition of electrons between semiconductor bands caused by solar light. When the energy absorbed by the electron is greater or equal the gap energy, it moves to the conduction band, creating a potential difference, allowing the appearance of electrical current. However, when solar panels are associated together, they end up interfering on the system generation when exposed to different solar irradiation levels or temperatures, this phenomenon is known by the community as partial shading, and may damage the equipment, as they can act as a load for the system. Knowing that, this study is focused on the analysis and implementation of control methods aiming to maximize the power generated by the set of panels using maximum power point tracking, introducing the concept of heuristic and metaheuristic optimization, along both merged together, explaining the logic of those methods and simulating to analyze the general performance.

KEYWORDS: Alternate energy sources. Power electronics. Solar energy.

Recebido:

Aprovado:

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

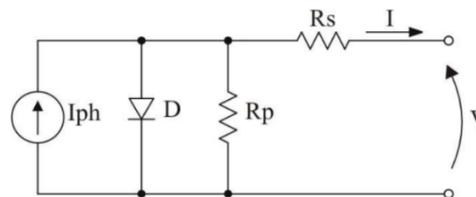


INTRODUÇÃO

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por Edmond Becquerel em 1839 e consiste no surgimento de uma diferença de potencial entre dois materiais de uma célula eletroquímica na incidência de radiação solar (PINHO e GALDINO, 2014). O fenômeno surge (no caso de células solares) quando a luz solar atinge o material semicondutor dopado Tipo-N. Diferente dos metais, os semicondutores possuem a banda de valência completa e a banda de condução vazia, desse modo, quando o fóton incide no material, caso a energia carregada por ele seja maior do que a energia do gap, o elétron salta da banda de valência e passa para a banda de condução. Pelo fato de existir uma sobreposição de dois semicondutores dopados em tais células, quando o elétron deixa o átomo, não consegue retornar, criando uma diferença de potencial, que quando ligada a uma carga, gera uma corrente.

Um painel fotovoltaico é formado por uma série de células fotovoltaicas conectadas, porém, para compreender melhor o seu funcionamento é possível fazer uma representação por meio de um modelo elétrico equivalente, como representado na Figura 1.

Figura 1 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: Casaro e Martins (2008).

O modelo equivalente pode ser representado pela equação (1).

$$I = I_{ph} - I_r * \left[\exp\left(\frac{q(V+I*R_s)}{\eta*k*T}\right) - 1 \right] - \frac{V+I*R_s}{R_p} \quad (1)$$

No entanto, a equação (1) não possui uma solução trivial, logo, deve ser resolvida por meio de iterações Casaro e Martins (2008, p2). Como a temperatura e a radiação solar devem ser considerados parâmetros de entrada, a fotocorrente pode ser calculada pela equação (2).

$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha * (T - T_r)] * \frac{P_{sun}}{1000} \quad (2)$$

E a corrente de saturação reversa pode ser calculada pela equação (3).

$$I_r = I_{rr} * \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 * \exp\left(\frac{q*E_G}{\eta*k} * \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (3)$$

Considerando a temperatura como a temperatura de referência e que quando a corrente de saída é igual zero a tensão de saída é igual a tensão de circuito aberto, a partir da equação (1) é possível determinar a equação (4).

$$I_{rr} = \frac{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_p}}{\exp\left(\frac{q*V_{oc}}{\eta*k*T_r}\right) - 1} \quad (4)$$

Como aplicado por Casaro e Martins (2008, p. 2), através do método de Newton aplicado em um modelo simplificado como apresenta a equação (5).

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (5)$$

Onde n é a enésima iteração.

Considerando que a equação (1) deve ser adaptada para ser utilizada na equação (5), a resultante é dada pela equação (6).

$$f(I) = I_{ph} - I - I_r * \left[\exp\left(\frac{q(V+I*R_s)}{\eta*k*T}\right) - 1 \right] - \frac{V+I*R_s}{R_p} \quad (6)$$

Derivando a equação (6) obtém-se a equação (7).

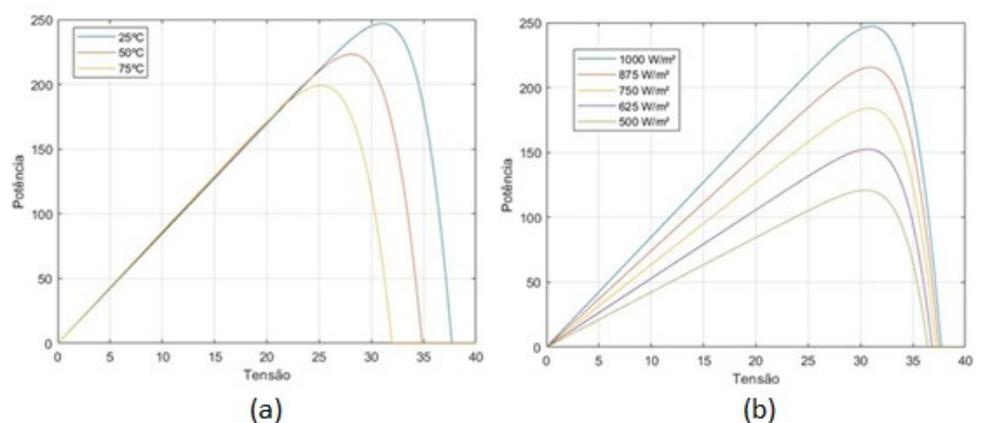
$$f'(I) = -1 - I_r * \exp\left(\frac{q(V+I*R_s)}{\eta*k*T}\right) * \frac{q*R_s}{\eta*k*T} - \frac{R_s}{R_p} \quad (7)$$

Tal modelagem matemática permite a simulação de um arranjo fotovoltaico no software MATLAB.

Sabemos que os fatores climáticos que mais interferem na geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos são a incidência de radiação solar e a temperatura em que o sistema trabalha.

A temperatura afeta a geração devido às condições de operação dos painéis e à condutibilidade dos semicondutores, resultando uma variação na tensão, sem afetar consideravelmente a corrente, no entanto, quando a interferência se dá na irradiância solar, a corrente do sistema é afetada, com variações mínimas nos valores de tensão, e aplicando-as à modelagem matemática no MATLAB anteriormente citada, é possível gerar os gráficos comparativos de potência (W) x Tensão (V) da Figura 2.

Figura 2 – (a) Influência da temperatura na potência do arranjo. (b) Influência da irradiância solar na potência do arranjo



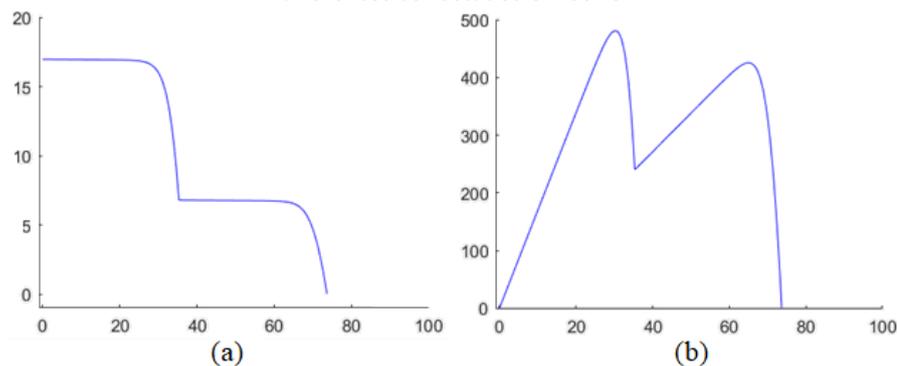
Fonte: Autoria própria (2020).

Devido ao fato de um módulo fotovoltaico gerar uma potência limitada, são feitas associações em série ou paralelo de um número maior de módulos a fim de fornecer mais energia para a rede ou carga. Porém, quando feitas associações de módulos o sistema fica vulnerável ao chamado efeito de sombreamento parcial, que é quando um módulo recebe menos incidência solar do que os outros conectados a ele. Como a corrente fornecida depende diretamente da incidência de luz solar, quando conectados em paralelo, a corrente total disponibilizada é

drasticamente afetada, e, quando conectados em série, pode gerar problemas para o arranjo.

Para verificar os efeitos do sombreamento, foi montado um circuito no software Simulink para analisar as correntes e a potência de um arranjo, gerando os gráficos da Figura 3.

Figura 3 – (a) Gráfico I-V de módulos com irradiâncias solares diferentes conectados em série. (b) Gráfico de potência em função da tensão de módulos com irradiâncias solares diferentes conectados em série



Fonte: Autoria própria (2020).

Como observado na Figura 3, a potência gerada pelo sistema é reduzida drasticamente quando os painéis operam em condições não favoráveis, dificultando, desse modo, a utilização da máxima potência fornecida pelo painel. Para contornar este problema são aplicados os algoritmos de *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), que são implementados por microprocessadores ou microcontroladores e tem por objetivo rastrear os pontos de máxima potência, garantindo que o sistema opere com maior eficiência dos painéis.

Dentre as técnicas de MPPT, existem as técnicas chamadas Heurísticas e as Metaheurísticas. As técnicas heurísticas são algoritmos de simples implementação e normalmente apresentam uma boa precisão. Porém, necessitam de uma quantidade maior de iterações, o que os torna algoritmos mais lentos. Já as metaheurísticas, são técnicas que são muito mais rápidas, porém não apresentam uma boa precisão, além de dependerem de fatores e dados de fabricante.

METODOLOGIA

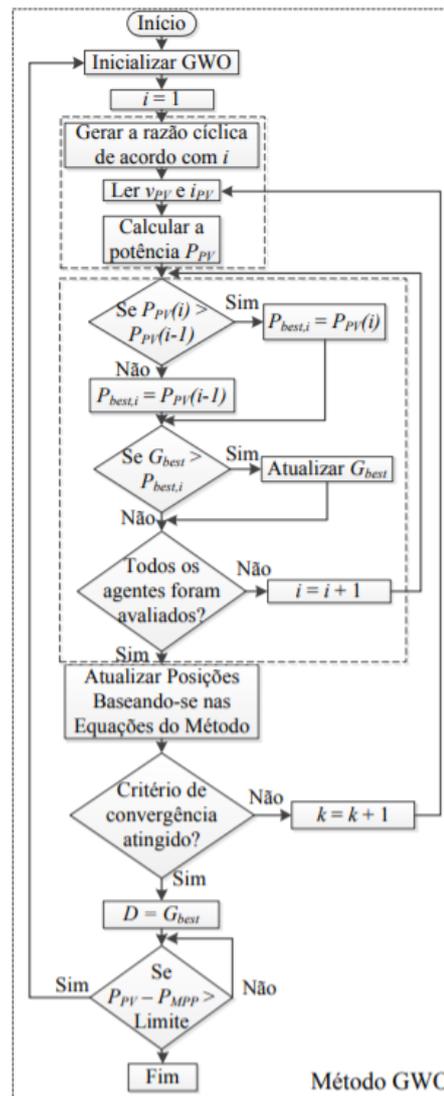
Para realizar os estudos necessários foram realizadas simulações nos softwares MATLAB e Simulink utilizando painéis configurados como o painel *Sunmodule SW245 mono/Version 2.0* assim como um conversor *boost* acoplado na saída dos módulos fotovoltaicos.

Os estudos das técnicas Heurísticas serão focados no algoritmo P&O, já as Metaheurísticas no algoritmo GWO.

A técnica de otimização dos lobos cinzentos (*GWO - Grey Wolf Optimization*) é um dos métodos metaheurísticos estudados no trabalho por ser um dos métodos que se destacaram no MPPT para convergir ao ponto de máxima potência global, e tem sua lógica apresentada na Figura 4. O método se baseia no comportamento

dos lobos na tentativa de encurralar uma presa, que segue uma ordem “hierárquica” de decisões, logo o algoritmo procura a melhor solução e em seguida considera as outras possíveis soluções do sistema, a fim de otimizar a decisão inicial (Sampaio, Rocha e Silva, 2019, p.4). No entanto, pelo fato de a técnica ser rápida, qualquer variação na irradiância solar ou temperatura causa oscilações, já que o sistema passa a buscar novos pontos de máximo global, o que reduz sua eficiência.

Figura 4 – Fluxograma GWO

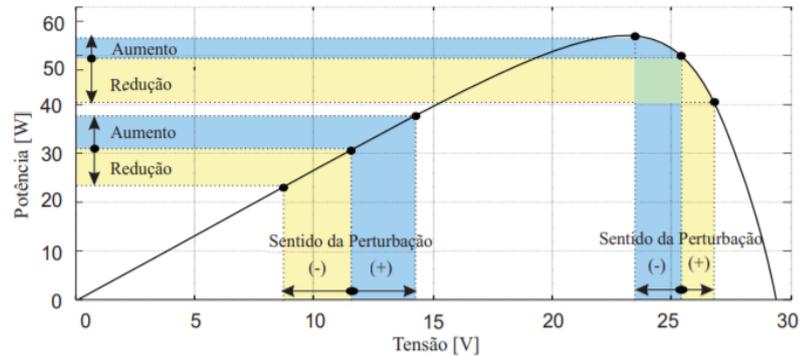


Fonte: Sampaio, Rocha e Silva (2019).

A técnica utilizada como estudo de otimização heurística foi a denominada P&O (Perturbação e Observação), que é a mais utilizada em sistemas fotovoltaicos convencionais devido ao seu desempenho e simplicidade (Barreto, 2014, p.10). O método consiste na perturbação do sistema e em seguida uma análise da resposta.

Gerando uma perturbação positiva, caso a resposta seja positiva, o sistema segue para o ponto de máxima potência (MPP), caso a resposta seja negativa, o sistema está se afastando do MPP. Para perturbações negativas, vale o oposto, como observado na Figura 5.

Figura 5 – Comportamento da potência sob perturbação de tensão



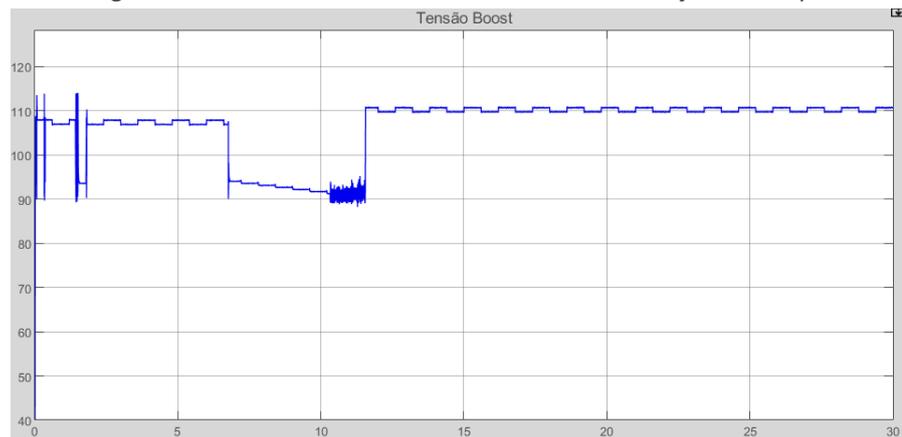
Fonte: Barreto (2014).

A implementação do método foi realizada no Simulink com dois arranjos fotovoltaicos com irradiâncias diferentes conectados a um conversor CC-CC *Boost*. A resposta do algoritmo P&O gera uma razão cíclica, que ao ser comparada com uma onda dente de serra cria um sinal PWM (*Pulse Width Modulation* - Modulação por Largura de Banda) que atua no chaveamento do conversor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quando executadas as simulações utilizando arranjos fotovoltaicos em sombreamento parcial, é perceptível a mudança no comportamento do sistema, sabendo que a potência de cada arranjo varia, o algoritmo P&O a monitora constantemente em busca do ponto de máxima potência, como observado na Figura 6.

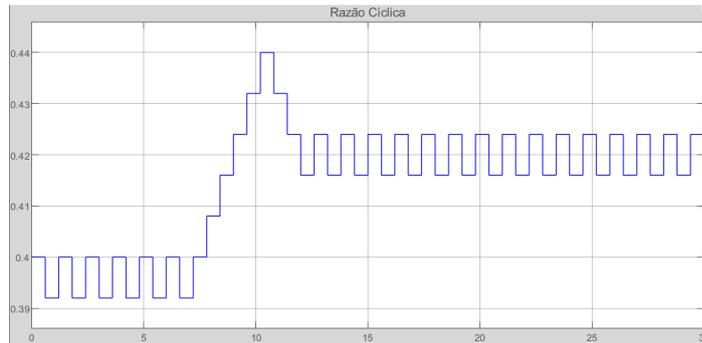
Figura 6 – Tensão na saída do conversor *boost* em função do tempo



Fonte: Autoria própria (2020).

São notáveis ainda mudanças abruptas no início da simulação, possivelmente causadas enquanto o algoritmo P&O se ajustava devido aos valores inicialmente definidos para a razão cíclica. Continuando a linha temporal é possível perceber a constante verificação do algoritmo, enquanto a tensão é perturbada e ajustada após cada ciclo até o sistema se estabilizar no ponto de potência máxima, visível mais claramente na variação da razão cíclica na Figura 7.

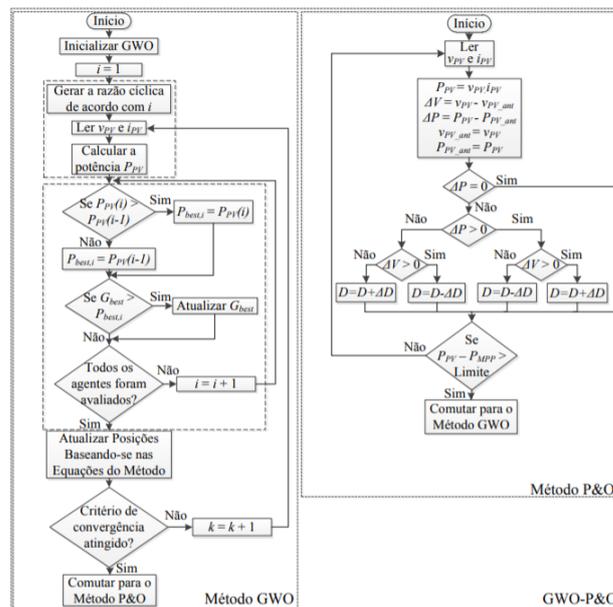
Figura 7 – Razão cíclica em função do tempo



Fonte: Autoria própria (2020).

Como o método dos lobos cinzentos é focado na rápida aquisição dos pontos de máximo global, as mínimas variações geram oscilações no sistema como um todo. Tendo isso em vista, surgiu o conceito de técnicas de MPPT híbridas, que junta as funções heurísticas e metaheurísticas a fim de um sistema que adquira o ponto máximo de potência rapidamente e se mantenha estável perante variações de condições ambientais mínimas. Sua lógica de funcionamento é apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma GWO-P&O



Fonte: Sampaio, Rocha e Silva (2019).

CONCLUSÃO

O trabalho em questão apresentou o conceito inicial do funcionamento dos painéis fotovoltaicos assim como as condições de operação dos arranjos e algumas dificuldades existentes neste método de geração de energia. Com elas, foram apresentados os principais métodos utilizados para solucionar as mesmas, sendo estes as técnicas P&O e GWO, assim como a junção híbrida de ambas o MPPT GWO-P&O, a fim de utilizar a velocidade de convergência do GWO e a precisão do P&O.

REFERÊNCIAS

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

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

SAMPAIO, Leonardo P.; ROCHA, Maykon V.; SILVA, Sergio A.O. **Análise Comparativa de Algoritmos de MPPT Bioinspirados nos Lobos Cinzentos Empregando Um Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede Elétrica Trifásica**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, 2019.

BARRETO, Rodrigo Lopes. **Contribuições ao método de rastreamento de máxima potência para sistemas fotovoltaicos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

SILVEIRA, Rafaela Dizaró. **Análise Comparativa Entre Sistemas Fotovoltaicos Multifuncionais de Único e Duplo Estágios de Conversão de Energia**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2019.