



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

# Análise Comparativa de Técnicas Metaheurísticas de MPPT em Sistemas Fotovoltaicos

## *Comparative Analysis of Metaheuristic MPPT techniques in Photovoltaic Systems*

Vinicius Cesar Rodrigues Godinho \*, Leonardo Poltronieri Sampaio †,

Sérgio Augusto Oliveira da Silva ‡

### RESUMO

Sistemas fotovoltaicos podem estar sujeitos a condições de sombreamento parcial, apresentando vários pontos de potência máxima (MPP), sendo um ponto global (GMPP), e os demais pontos locais (LMPP). Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre métodos metaheurísticos capazes de lidar com otimização de problemas relacionados ao rastreamento do ponto de potência máxima (MPPT). A análise comparativa será conduzida por meio da avaliação das seguintes técnicas metaheurísticas: *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Gravitational Search Algorithm* (GSA), otimização pelo algoritmo *Gray Wolf Optimizer* (GWO), *Fish Swarm Algorithm* (FSA), *Artificial Bee Colony* (ABC) e o algoritmo baseado no comportamento dos *Bats* (BAT). As técnicas de MPPT são avaliadas empregando um conversor elevador CC-CC, no qual os algoritmos através do ciclo de trabalho controlam a tensão do painel fotovoltaico. Por meio dos resultados da simulação, as técnicas de MPPT são avaliadas e comparadas entre si considerando cinco cenários de testes diferentes e quatro critérios.

**Palavras-chave:** técnicas de MPPT, sistemas fotovoltaicos, energias renováveis, eletrônica de potência

### ABSTRACT

Photovoltaic systems may be subject to partial shading conditions, resulting in multiple maximum power points (MPP), one global point (GMPP) and the remaining local points (LMPP). This work presents a comparative analysis of metaheuristic methods capable of dealing with optimization problems related to maximum power point tracking (MPPT). The comparative analysis will be carried out by evaluating the following metaheuristic techniques: Particle Swarm Optimization (PSO), Gravitational Search Algorithm (GSA), optimization by the Gray Wolf Optimizer (GWO), Fish Swarm Algorithm (FSA), Artificial Bee Colony (ABC), and the algorithm based on Bat behavior (BAT). The MPPT techniques are tested using a DC-DC step-up converter, with the algorithms controlling the voltage of the photovoltaic (PV) array through the duty cycle. The MPPT procedures are reviewed and contrasted using simulation results, taking into account five different test scenarios and four criteria.

**Keywords:** MPPT techniques, photovoltaic systems, renewable energies, power electronics

\* Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; [viniciuscrgodinho@gmail.com](mailto:viniciuscrgodinho@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio; [sampaio@utfpr.edu.br](mailto:sampaio@utfpr.edu.br)

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; [augus@utfpr.edu.br](mailto:augus@utfpr.edu.br)



## 1 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. Devido a esse crescimento no uso de energias renováveis, é necessário realizar a otimização do sistema FV para que opere aproveitando toda potência disponível, aumentando sua eficiência e conseqüentemente elevando sua relação custo benefício.

As condições atmosféricas (temperatura e irradiação solar) influenciam diretamente na potência disponível no arranjo FV, sendo responsáveis por alterarem as curvas características do arranjo: potência em função da tensão (P-V) e corrente em função da tensão (I-V). Por meio das condições atmosféricas e também pelo efeito do sombreamento parcial o arranjo pode suceder a uma perda de potência em relação à sua máxima potência em condições padrões de teste (STC).

Devido ao efeito do sombreamento parcial, a curva característica P-V do sistema FV apresenta mais de um ponto de máxima potência, que pode ser composto por um ponto global de máxima potência (GMPP, do inglês *Global Maximum Power Point*) e diversos pontos locais de máxima potência (LMPP, do inglês *Local Maximum Power Point*). Para manter o sistema FV no ponto de máxima potência (MPP, do inglês *Maximum Power Point*) são utilizados os algoritmos de busca do ponto de máxima potência (MPPT, do inglês *Maximum Power Point Tracker*).

Este trabalho emprega algoritmos metaheurísticos baseados nos comportamentos da natureza para a realização do MPPT em um sistema FV composto por um arranjo FV, um conversor CC-CC Boost e um estágio de saída composto por uma carga puramente resistiva. Os algoritmos são empregados sob quatro cenários de testes diferentes e comparados através dos indicadores: tempo de convergência, eficiência, fator de rastreamento e tempo de simulação.

### 1.1 *Artificial Bee Colony*

O algoritmo ABC baseia-se no comportamento de abelhas produtoras de mel, é tão simples quanto o algoritmo PSO e possui poucos parâmetros. Também é um algoritmo baseado em comportamento por enxame de partículas, no qual os indivíduos buscam pelo ponto onde há a maior fonte de néctar e por fim o local onde há a maior quantidade de néctar, o máximo global. O diferencial do algoritmo é o comportamento de algumas abelhas da colônia, em que se baseia por meio da memória e da exploração aleatória dos lugares, ou seja, existem as abelhas que exploram o local e caso possua mais comida esquece o local anterior. E as abelhas que memorizam os locais com maiores concentrações de néctar (AKAY, 2012).

### 1.2 *Bat*

O algoritmo BAT baseia-se na eco-localização pelo bando de morcegos durante o seu voo com o intuito de detectar presas e evitar obstáculos. Essa habilidade dos morcegos é uma capacidade muito sofisticada, pois por meio do tempo de retorno da onda emitida pelo morcego, ele realiza o cálculo da distância até o alvo. Esse sentido aguçado é devido ao seu hábito noturno, pois durante a noite a visibilidade é muito baixa. Os morcegos utilizam da eco-localização individual para encontrar o local onde possui a sua presa. Ao abstrair esse comportamento, pode-se aplicar na busca pelo GMPP em arranjos FV (XIN-SHE, 2013).



### 1.3 *Fish Swart Algorithm*

O algoritmo FSA baseia-se no comportamento de alguns tipos de peixes na busca por comida, ao sair de emboscadas de predadores, assim como na busca por melhores locais de sobrevivência. O comportamento individual e a capacidade de comunicação entre os indivíduos são capazes de promover a busca de pontos onde há maior quantidade de comida. Similar ao método PSO, pode-se traduzir esses conceitos a um algoritmo de enxame de partículas e trazer os seus conceitos à aplicação atual. Os MPPs podem ser traduzidos como os pontos com maior quantidade de comida. O FSA é diferente do PSO pois traz alguns comportamentos dos algoritmos genéticos. Sendo assim, tem a possibilidade de tratar problemas complexos sem a necessidade de um ajuste de parâmetros (FRAN SÉRGIO, 2014).

### 1.4 *Gravitational Search Algorithm*

A técnica GSA é baseada nas leis da gravidade e da dinâmica de Newton e pode ser utilizado para problemas de otimização por meio da interação entre as massas (agentes). Esses agentes possuem quatro especificações, sendo estas: massa inercial, posição, massa gravitacional ativa e massa gravitacional passiva. A posição dos agentes representa a solução particular do problema e as massas podem ser obtidas pela função *fitness*. O algoritmo se comporta ao longo das iterações pela 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 (RASHEDI, 2009).

### 1.5 *Gray Wolf Optimizer*

O algoritmo GWO é baseado no comportamento de caça da Alcateia de Lobos Cinzentos, inspirado na hierarquia de liderança. Essa espécie de lobo normalmente vive em uma alcateia de 5 a 12 lobos. A hierarquia é definida como sendo o lobo Alpha  $\alpha$ , responsável por tomar as decisões de caça, tempo e lugar de descanso (MIRJALILI, 2014).

### 1.6 *Particle Swarm Optimization*

O método PSO é um algoritmo estocástico inspirado na inteligência coletiva dos animais. O algoritmo tem a característica de ser estocástico pois inicia sua população de partículas de forma aleatória, onde cada partícula representa uma possível solução. O processo evolutivo e iterativo do método se baseia na atualização das variáveis características do método com base no histórico coletivo e individual de cada partícula, sendo essas variáveis a velocidade e a posição dessas partículas (SILVA, 2016).

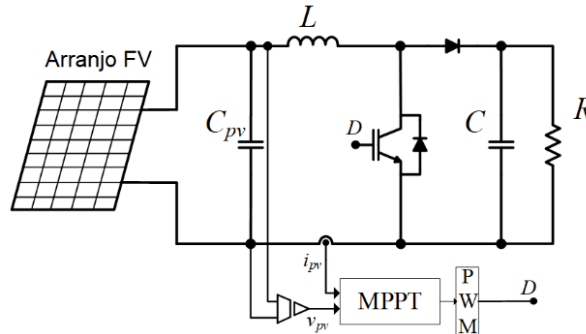
## 2 MÉTODO

O sistema em estudo é composto por um arranjo FV, um conversor elevador e um estágio de saída composto por uma carga resistiva. O conversor CC-CC *Boost* é empregado como conversor elevador e tem a função de elevar a tensão de entrada (alimentação) para sua saída (carga), bem como a de realizar o rastreamento da máxima potência do arranjo FV por meio da razão cíclica gerada pelo algoritmo de MPPT. Como o objetivo deste trabalho é o estudo, análise e comparação de determinadas técnicas meta-heurísticas para realizar o MPPT, é empregada uma carga resistiva conectada na saída do conversor *Boost*, a qual tem por objetivo representar a potência que estaria sendo entregue a rede por meio de um inversor conectado à rede

elétrica de um sistema FV tradicional. O sistema FV implementado é apresentado na Fig. 1. Os valores dos parâmetros do conversor *Boost* implementados em ambiente de simulação são apresentados na Tab. 1.

Realizou-se a implementação do sistema FV utilizando a ferramenta Simulink do software Matlab, com o intuito de simular todos os componentes do sistema, como o arranjo FV, o conversor CC-CC *Boost* e os algoritmos metaheurísticos de MPPT sob estudo (ABC, BAT, FSA, GSA, GWO e PSO).

Figura 1 – Sistema FV implementado em software de simulação.



Fonte: Autoria própria (2021).

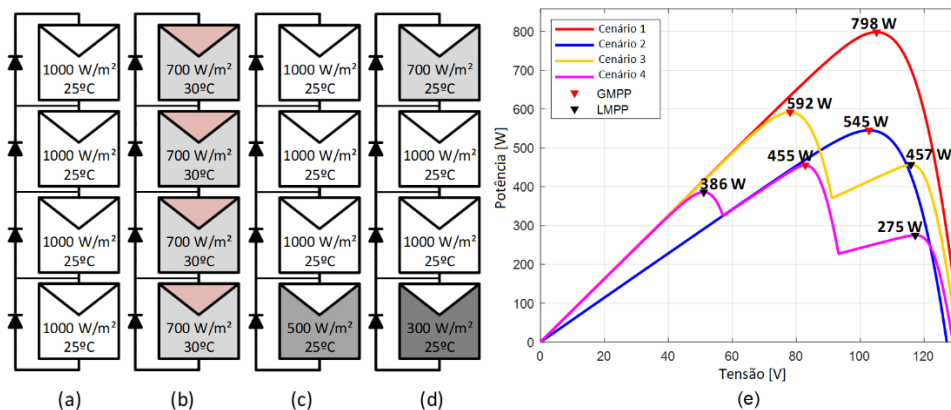
Tabela 1 – Parâmetros do conversor CC-CC *Boost*

Especificações	Valores	Componentes	Valores
Potência de saída	800 W	C	43,7 uF
Tensão de entrada	105 V	C <sub>pv</sub>	1,25 mF
Tensão de saída	220 V	L	2,31 mH
Frequência de chaveamento	20 kHz	R	60,5 Ω

Fonte: Autoria própria (2021).

Com o intuito de analisar o desempenho dos algoritmos em estudo considerou-se 4 cenários de condições climáticas, que afetam diretamente a curva P-V do sistema FV. O cenário simulado é composto pela transição dos quatro cenários propostos, apresentados na Fig. 2. Dessa forma é possível analisar o comportamento dos algoritmos sob uma condição realista de funcionamento.

Figura 2 - Configuração dos cenários simulados: (a) Cenário 1; (b) Cenário 2; (c) Cenário 3; (d) Cenário 4; (e) Curva de potência em função da tensão dos cenários simulados.



Fonte: Autoria própria (2021).

Onde pode ser observado a configuração do arranjo FV à esquerda e a curva P-V à direita. É possível observar na curva P-V a localização do GMPP e do LMPP de cada cenário.

### 3 RESULTADOS

A Fig. 3 apresenta a curva de potência em função do tempo de cada algoritmo na busca pelo GMPP e uma reta representando a potência ideal no qual representa a potência total disponível nesse cenário em cada transição. A Tab. 2 apresenta uma média aritmética dos indicadores de desempenho de cada algoritmo durante sua transição pelos cenários propostos.

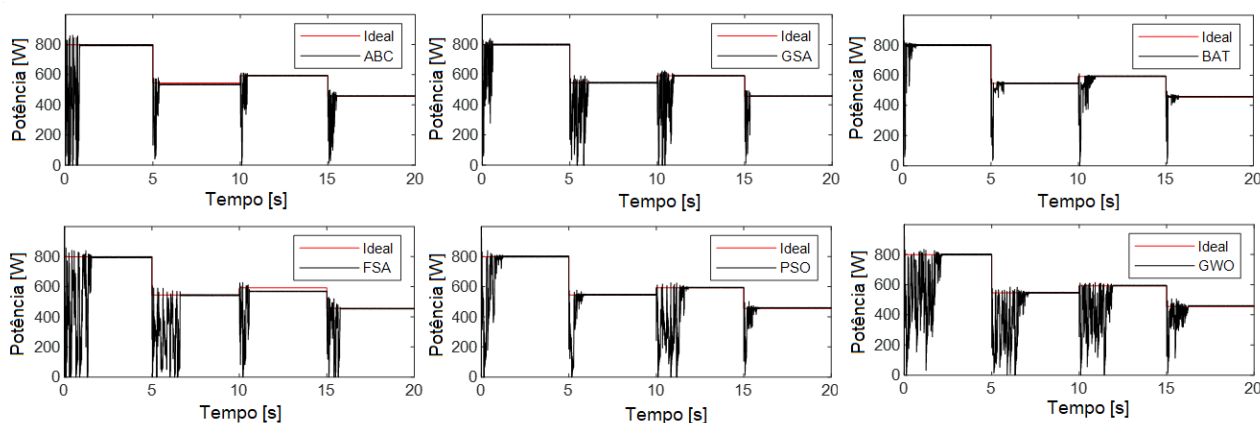
**Tabela 2 – Resultados obtidos**

Algoritmo	Tempo de convergência (s)	Fator de rastreamento (%)	Eficiência (%)
ABC	0,531	95,878	99,12
BAT	0,796	98,900	99,76
FSA	1,123	87,198	98,14
GSA	0,738	95,194	99,71
GWO	1,854	91,472	99,80
PSO	1,247	93,390	99,81

Fonte: A autoria própria (2021).

Observa-se através da Fig. 2 que todos os algoritmos conseguem rastrear o GMPP e por meio da Tab. 2, nota-se que o algoritmo ABC possuiu o menor tempo de convergência médio entre os algoritmos (0,531 s) e o algoritmo GWO apresentou o maior tempo de convergência médio (1,854 s). No fator de rastreamento médio o algoritmo BAT se destaca com 98,9% e o algoritmo FSA com o menor fator de rastreamento médio (87,198%) devido à sua eficiência no cenário 3 ser de 95,68% o que acabou afetando o desempenho do algoritmo em relação a energia total extraída do arranjo. Na eficiência do rastreamento médio os algoritmos PSO e GWO possuíram valores muito próximos (99,81% e 99,80%, respectivamente) e o algoritmo com menor eficiência média foi o FSA devido à sua baixa eficiência no cenário 3. Devido a eficiência ligeiramente próximas dos algoritmos PSO, GWO e BAT, analisou-se o tempo de convergência e o fator de rastreamento de forma a constatar que para este cenário o algoritmo BAT apresentou o melhor desempenho em relação aos demais algoritmos.

**Figura 3 – Curva de potência em função do tempo para cada algoritmo simulado.**



Fonte: A autoria própria (2021).



## 4 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou uma análise comparativa entre 6 técnicas de MPPT utilizando algoritmos metaheurísticos, sendo o ABC, BAT, FSA, GSA, GWO e PSO para determinar o MPP em arranjos FV sob cinco cenários diferentes de simulação, com o intuito de simular condições reais de funcionamento e com a presença do efeito de sombreamento parcial. Por meio dos resultados foi possível analisar e avaliar o desempenho das técnicas metaheurísticas e determinar as técnicas que obtiveram melhor desempenho e resultando em um máximo aproveitamento da potência quando implementadas em um sistema real submetido à diferentes cenários.

O resultado dos algoritmos atendeu à expectativa inicial do trabalho no qual por meio dos resultados observou-se que todos os algoritmos alcançaram o GMPP em todos os cenários de teste.

Por meio de uma detalhada análise dos resultados utilizando os indicadores da seção 3, pode-se constatar o destaque do algoritmo BAT em relação aos demais algoritmos, apresentando os melhores indicadores de desempenho, com uma alta eficiência aliada a um alto fator de rastreamento e com um bom tempo de convergência. Contando com um desempenho excelente na extração da máxima potência, com uma complexidade média de implementação na qual exige-se um esforço não tão elevado observado por meio do tempo gasto na simulação do algoritmo.

## REFERÊNCIAS

- AKAY, Bahriye; KARABOGA, Dervis. **Artificial bee colony algorithm for large-scale problems and engineering design optimization**. J Intell Manuf 23, 1001–1014 (2012).
- YANG, XinShe; HE, Xingshi. **Bat Algorithm**: Literature Review and Applications. International Journal of Bio-Inspired Computation. (2013).
- LOBATO, Fran Sérgio; JR., Valder Steffen. **Fish swarm optimization algorithm applied to engineering system design**. Lat. Am. j. solids struct. 2014, vol.11, n.1, pp.143-156.
- RASHEDI, Esmat; NEZAMABADI-POUR, Hossein; SARYAZDI, Saeid. **GSA: A Gravitational Search Algorithm**. Information Sciences, 179(13), 2232–2248 (2009).
- MIRJALILI, Seyedali; MIRJALILI, Seyed Mohammad; LEWIS, Andrew. **Grey Wolf Optimizer**. Advances in Engineering Software, vol. 69, mar. de 2014, p. 46–61.
- SILVA, Sérgio Augusto Oliveira da; SAMPAIO, Leonardo Poltronieri; DURAND, Fábio Renan; OLIVEIRA, Fernando Marcos de. **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, vol. 21, 2 maio 2016, p. 105–16.