

T2 (Elétrica, Automação, Energia Renovável e Manutenção Industrial)

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO SEGUIDOR DE MÁXIMA POTÊNCIA (SMPPT) DO INVERSOR UTILIZADO EM UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID INSTALADO NA CIDADE DE MACEIÓ-AL

Izabella Colatino de Lima Veiga¹ ; Leandro Vinícius Gomes da Silva² ; Natália Angelita Albuquerque de Melo³; Markus Antônio de Oliveira Porangaba⁴ ; Igor Cavalcante Torres⁵

RESUMO: A energia solar tem sido destaque dentre as fontes de energias renováveis, está entre as que mais cresce no Brasil. O inversor é o instrumento responsável pela conversão de corrente contínua em alternada, possibilitando conectar os sistemas fotovoltaicos a rede convencional de energia elétrica, além disso gerencia a energia entregue a rede e é dotado um sistema de seguimento do ponto de máxima potência (SMPPT) que tem como finalidade extrair o máximo rendimento do gerador. Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar a importância da técnica de seguimento do ponto de máxima potência (SPMP) na potencialização da quantidade e qualidade de energia extraída de um sistema fotovoltaico. O presente estudo basear-se-á em revisão bibliográfica que avalia eficiência do SMPPT, de um inversor utilizado em um sistema de microgeração on-grid na cidade de Maceió-AL, sob condições de céu claro e céu nublado e em arranjos de módulos policristalino e monocristalino de diferentes fabricantes. Diante dos resultados mostram que o SPMPPT dos inversores utilizados possui baixa eficiência e, que o mesmo interfere na quantidade de potência CC entregue ao inversor, fortalecendo assim a importância de seguidores de máxima potência que apresentem boa eficiência.

Palavras-Chave: Inversor, Eficiência, Seguidor do ponto de máxima potência (SMPPT).

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a preocupação com a necessidade de contribuir para a redução do efeito estufa, bem como produzir energia elétrica que seja proporcional ao consumo, são fatores que impulsionam o uso de geração distribuída através das fontes renováveis. Segundo Veiga et. Al. (2018), o consumo de energia elétrica no Brasil terá um aumento de 23,1% até 2050.

¹ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus AC Simões / CECA
Email: iza.colatino@gmail.com

² Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus AC Simões / CECA
Email: leandrovinicius97@outlook.com

³ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus AC Simões / CECA
Email: natalia_angelita@hotmail.com

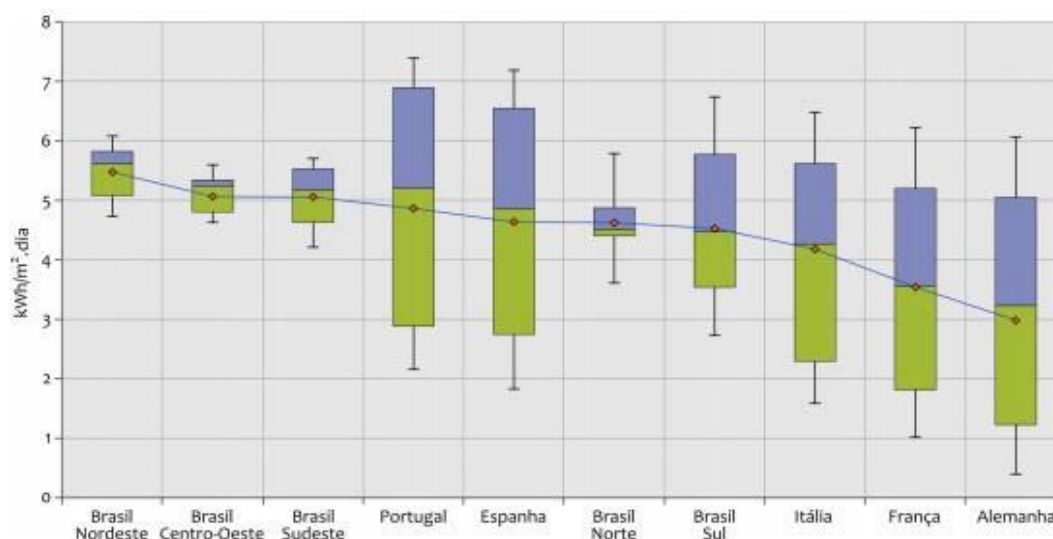
⁴ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus AC Simões / CECA
Email: markus-pj@hotmail.com

⁵ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus AC Simões / CECA
Email: igorcavalcantetorres@hotmail.com

Em 2017, a micro e mini geração distribuída atingiu 359,15 GWh com uma potência instalada de 246,1 MW, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 165,87 GWh e 174,5 MW de geração e potência instalada respectivamente (EPE,2018).

Dentre as energias renováveis, a energia solar é destaque no Brasil devido ao elevado potencial de irradiação disponível no país. “Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro ($1500 - 2500 \text{ Wh/m}^2$) são significativamente maiores que, por exemplo, os da Alemanha ($900 - 1250 \text{ Wh/m}^2$) que é atualmente o país líder em geração de energia solar no mundo” (SOUZA, 2016). Tal afirmação pode ser observada na Fig.1, onde destaca-se o potencial da irradiação das regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste e assegura que nas regiões brasileiras onde a irradiação é menor, o potencial ainda é maior comparado a outros países como Itália, França e Alemanha. Além da localização próxima ao Equador, o destaque para as regiões brasileiras citadas anteriormente se deve a existência de poucas nuvens, maximizando o potencial de radiação direta à medida que há a redução de radiação difusa.

Figura 1: Comparativo das médias mensais da irradiação global horizontal no Brasil e em alguns países da Europa ($\text{kWh/m}^2.\text{dia}$). As caixas indicam 50% de probabilidade e as linhas os máximos e mínimos valores encontrados.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017.

Em qualquer fonte de energia, o recurso primário energético tem fatores que influenciam na qualidade, quantidade e segurança da energia fornecida. A energia solar sofre grandes variações, pois segundo Ramalho (2015) “o recurso solar varia em escala anual, mensal, diária e horária devido aos fatores geográficos e climáticos”. Dessa forma, é de suma

importância o investimento em pesquisas para a melhoria da eficiência dos equipamentos que compõem o sistema (módulos e inversor) e para uma melhor compreensão do comportamento dos equipamentos, como a perda da eficiência em função, principalmente, da radiação solar, da temperatura ambiente e da velocidade do vento.

Com o amadurecimento da tecnologia solar, foi possível obtermos sistemas fotovoltaicos mais eficientes em função das variações apresentadas acima. Tal resultado se deve ao melhoramento dos materiais do módulos e, pelas técnicas de gestão e rastreamento do seguidor de máxima potência (SMPPT) pelos inversores.

No gerador fotovoltaico, o inversor é “coração” do sistema. Ele é responsável desde a conversão da corrente contínua em corrente elétrica nas condições adequadas (tensão e corrente) para ser injetado na rede elétrica, do gerenciamento da energia entregue na rede e pelo ponto de máxima potência (MPPT).

Sabendo-se que um gerador fotovoltaico possui perdas associadas as condições naturais, é imprescindível o uso de um mecanismo que detecte as variações sofridas no arranjo fotovoltaico e automaticamente interfira na eletrônica do inversor de modo a minimizar as perdas e maximizar a transferência de potência.

Dessa maneira, “o seguimento do ponto de máxima potência (SPMP) é um processo de controle no qual o inversor procura manter o gerador fotovoltaico operando em uma região da sua curva característica no qual o produto corrente versus tensão tenha o seu valor máximo. A eficiência do SPMP é um número que indica o grau de precisão, tanto em termos de rapidez como de magnitude, com que o seguidor do ponto de máxima potência atinge o seu objetivo” (RAMPINELLI et al, 2014).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a importância da técnica de SMPPT na potencialização da quantidade e qualidade de energia extraída de um sistema fotovoltaico.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho foi fundamentado na revisão bibliográfica de dissertação de mestrado intitulado como: *Análise do desempenho operacional de sistemas fotovoltaicos de diferentes tecnologias em clima tropical - estudo de caso: sistema fotovoltaico comercial conectado à rede*. (TORRES, 2016). No trabalho tomado como referência, o autor avalia a eficiência do SMPPT do inversor usado em seu experimento, microgeração on-grid na cidade de Maceió- AL, sob as condições de irradiância em um dia de céu claro e de céu nublado em três subsistemas diferentes. O autor divide o gerador fotovoltaico em subsistemas distintos, como mostrado no Quadro 01.

Quadro 01: Características dos subsistemas avaliados.

	Tecnologia do Módulo FV	Potência do Módulo FV	Fator de dimensionamento do inversor (FDI)
Subsistema I	Silício Policristalino	140 Wp	1,42
Subsistema II	Silício Monocristalino	140 Wp	1,42
Subsistema III	Silício Policristalino	130 Wp	0,87

Fonte: Autoria própria (2019).

Dessa forma, para estimar a eficiência do inversor, Torres (2016) fez uso da eq.01 para calcular a eficiência do algoritmo do seguidor do ponto de máxima potência (SPMP):

$$\eta_{SPMP} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{fv} dt}{\int_{t_1}^{t_2} P_{PMP} dt} \quad (\text{Equação 01})$$

Sendo:

η_{SPMP} → a eficiência do seguidor do ponto de máxima potência (%);

P_{fv} → a potência do fotovoltaico obtida como o SPMP real (W);

P_{PMP} → a potência do fotovoltaico obtida como o SPMP real (W);

É possível observar a partir da eq.01 que, para se determinar a eficiência do seguidor de máxima potência, utiliza-se a razão da potência do sistema fotovoltaico (obtida através do monitoramento do gerador fotovoltaico) em relação a potência máxima ideal no ponto de máxima, ou seja, para esta última, considera-se que o gerador fotovoltaico está operando no ponto de máxima potência durante toda a geração.

Sabendo-se que a radiação solar incidente no gerador FV, a temperatura de operação do conjunto, fiações elétricas inadequadas, sombreamento e aterramento deficientes dos módulos, são variáveis que proporcionam perdas ao sistema e, que, de acordo com Torres (2016) a potência na entrada de um inversor CC/CA depende do ponto de operação da curva tensão – corrente (V-I), tornando-se necessário um algoritmo eficiente para o ponto de máxima potência do inversor afim de minimizar as perdas pelas variáveis citadas anteriormente.

Segundo Rampinelli et al (2014), a dificuldade da determinação dessa eficiência a partir de ensaios experimentais está condicionada à precisão da medida do ponto de máxima potência do arranjo fotovoltaico. Assim, uma determinação analítica pode ser obtida através da equação abaixo:

$$P_{PMP} = P_{fv}^0 * \frac{H_{\beta}}{H_{STC}} * [1 - \gamma_{mp} * (T_C - T_{STC})]$$

(Equação 02)

Sendo:

P_{fv}^0 → é a potência nominal do gerador fotovoltaico (W);

H_{β} → é irradiância no plano do coletor (W/m²);

H_{STC} → é a irradiância nas condições padrão de testes (1000 W/m²);

γ_{mp} → é o coeficiente de variação de potência em função da temperatura;

T_C → é a temperatura de operação da célula (°C);

T_{STC} → é a temperatura de operação da células nas condições padrão de testes (25°C).

A eq. 02 possibilita calcular a potência máxima (P_{PMP}) proveniente dos módulos, caso o arranjo dos módulos FV esteja operando no ponto de máxima potência, ou seja, toda potência produzida pelo arranjo é entregue ao inversor.

A partir das equações acima, determinou-se as curvas que representam o comportamento do SMPPT diante das variações locais existentes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 mostra graficamente a curva da eficiência do algoritmo seguidor de máxima potência (η_{SPMP}) ao longo de um dia, para condições de irradiância em um dia de céu claro e de céu nublado, possibilitando observar o comportamento do SMPPT durante o período e as condições de observação.

Observa-se também que o mecanismo de rastreamento de potência dos inversores do gerador fotovoltaico I e II era mais eficiente durante o período da tarde quando comparado com o turno da manhã. Já o terceiro inversor apresentou uma distribuição mais regular da eficiência do seguidor de máxima potência durante todo o instante de operação, mas os picos de eficiência também foram maiores no período da tarde.

De acordo com Torres (2016), a justificativa encontrada para que o SMPPT ser mais eficiente durante o turno da tarde se deve a um maior deslocamento de massa de ar durante o período da tarde e também ao posicionamento do gerador fotovoltaico para Oeste, fazendo com que o mesmo seja submetido a uma maior taxa de resfriamento e a um maior índice de irradiância, respectivamente.

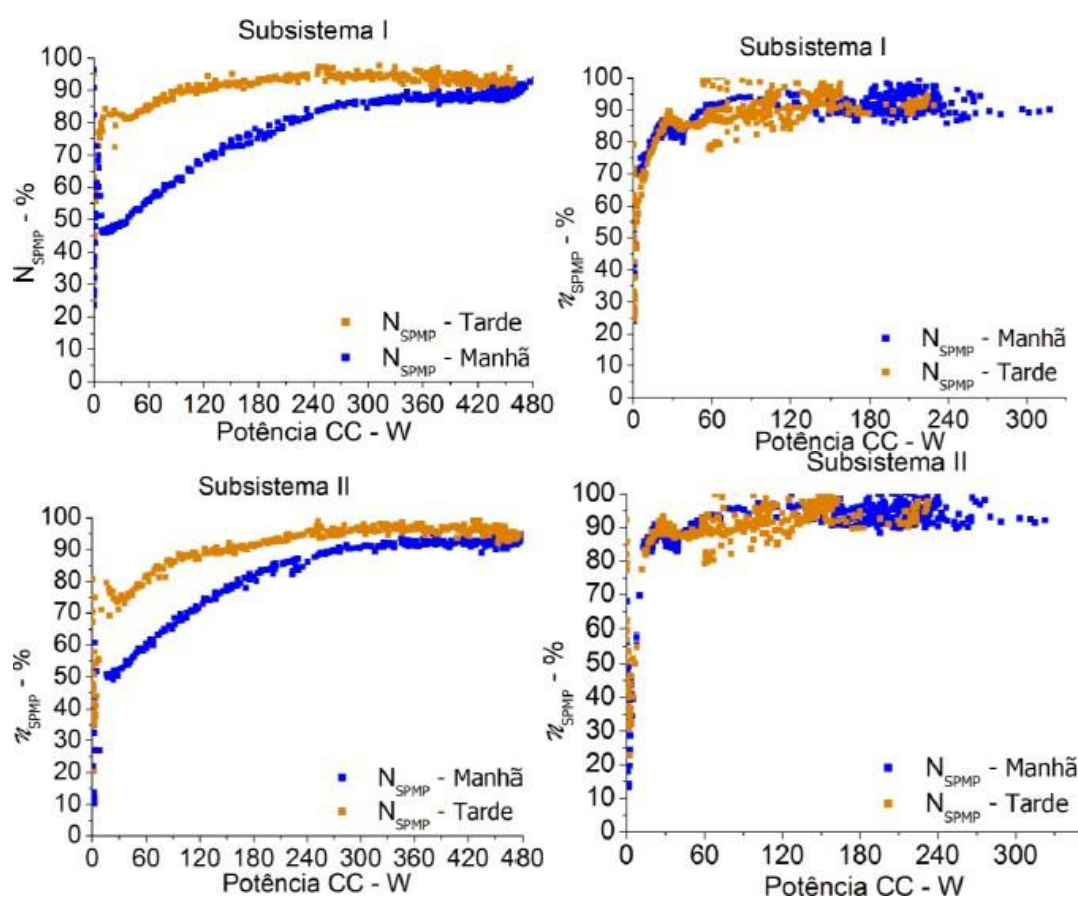
Um grande ponto de destaque observado no experimento foi a janela de seguimento da tensão do arranjo FV nos microinversores, percebeu-se que em ambos os subsistemas a tensão permanecia fixa ao longo do dia e para qualquer nível de irradiância. No geral, para os três subsistemas, observa-se sob a condição de céu nublado uma melhor eficiência do SMPPT.

No estudo realizado por Macedo (2006) foi demonstrado que os seguidores de máxima potência dos inversores apresentavam maior eficiência durante o turno da manhã, contrapondo os resultados deste trabalho. Tal comportamento está aliado ao próprio projeto construtivo do dispositivo e topologia de operação. A baixa eficiência do SMPPT deveria ser mais evidente no turno da manhã, onde o equipamento está operando a baixas temperaturas e, considerando que se encontra no início do ciclo de trabalho. O fato do inversor operar com

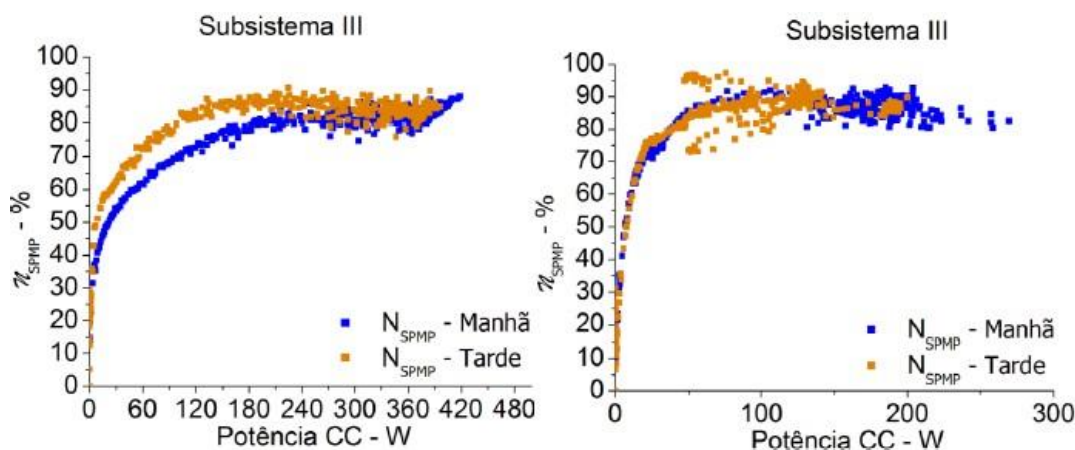
mais eficiência de rastreamento de potência em períodos de céu nublado, para os três subsistemas, é consequente do subcarregamento para tal condição de irradiação, implicando em menor aquecimento do inversor e dos módulos fotovoltaicos.

Sabendo-se que a potência CC entregue no inversor depende da eficiência do MPPT, observa-se então, que as maiores potência CC foram obtidas nos subsistemas I e II, onde se obteve maiores níveis de tensão e corrente, como mostrado na figura acima.

Figura 2: Comportamento da eficiência do algoritmo seguidor de máxima potência em função do carregamento (Céu claro e céu nublado).



Fonte: Torres, 2016.



4 CONCLUSÕES

É possível concluir que, a partir das análises gráficas expostas, os seguidores de máxima potência, dos subsistemas estudados, apresentaram praticamente o mesmo comportamento para ambas as condições de observação, sendo mais eficiente pela tarde e, durante os dias de céu nublado. É importante ponderar a qualidade do dispositivo com relação as normas de ensaios e teste eletromagnéticos, bem como sua certificação de qualidade. O estudo de caso concebido neste artigo, fundamentou-se a partir de microinversores de baixo custo, com seguidores de máxima potência operando em baixos níveis de tensão contínua com estreita faixa para seguimento da tensão dos módulos.

Dessa forma, diante dos resultados expostos, fica evidenciado a necessidade de desenvolvimento de algoritmos de MPPT mais eficientes para aplicações fotovoltaicas, visto que o estágio efetivo de conversão de corrente contínua para alternada é diretamente dependente da maximização da potência realizada no estágio de seguimento de potência. Dessa forma, um MPPT eficiente assegura um maior despacho energético à rede elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Ed. São José dos Campos, Brasil, 2017. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf.

EPE. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_Int.pdf.

MACÊDO, W. N. Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor aplicado à Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. 2006. 148 folhas. **Tese de Doutorado – Programa de pós graduação em energia da Universidade de São Paulo**. São Paulo - SP, 2006.

RAMALHO, R.D. Estudo da variação da potência em um conjunto de sistemas solares distribuídos causada por passagens de nuvens. **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares (PROTEN), do Departamento de Energia Nuclear, da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências**. Recife-PE, 2015.

RAMPINELLI, G. A.; KRENZINGER, A. PRIEB, C. Análise da Eficiência do Seguidor do Ponto de Máxima Potência de Inversores de Sistemas Fotovoltaicos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. Vol.16, nº 2, Jul/Dez 2014

SOUZA, L.F. Projeto e caracterização de uma máquina elétrica linear de fluxo transversal para aplicação em um sistema de geração de eletricidade. **Dissertação de mestrado**. 2016. 156 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2016.

TORRES, I.C. Análise do desempenho operacional de sistemas fotovoltaicos de diferentes tecnologias em clima tropical - estudo de caso: sistema fotovoltaico comercial conectado à rede. **Dissertação de mestrado**. 2016. 114 f. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, 2016.