

COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS DE MPPT PARA UM SISTEMA FOTOVOLTAICOS COM DOIS ARRANJOS UTILIZANDO SOFTWARE PSIM®

Marcelo M. Ricci¹, Cláudio J. O. Jr², Lucas P. Pires³, Fernando C. Melo⁴, Luis C. G. Freitas⁵.

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT), Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência (NUPEP), Uberlândia – Minas Gerais, ¹marcelo_ricci_@msn.com, ²claudiojr2506@gmail.com, ³lucaspereirapires@yahoo.com.br, ⁴fernandocardoso101@gmail.com, ⁵lcfgreitas@yahoo.com.br.

Resumo - Este artigo apresenta a comparação das principais técnicas de extração de máxima potência (do inglês, MPPT - Maximum Power Point Tracking) de painéis fotovoltaicos. A ferramenta escolhida para demonstrar o comportamento e as curvas características dos sistemas fotovoltaicos foi a plataforma de simulação computacional PSIM®, sendo utilizada a metodologia de inserção de uma perturbação na irradiação e temperatura do sistema para a excitação dos módulos a fim de identificar a melhor resposta de acordo com os resultados obtidos. As técnicas escolhidas foram a de razão cíclica fixa, tensão constante (Vcte), método da perturbe e observe (P&O) e condutância incremental (IC). De acordo com os resultados obtidos, o método (P&O) e o (IC) apresentaram melhor resposta e eficiência nas simulações com variação de temperatura e irradiância.

Palavras-Chave – MPPT; Sistemas Fotovoltaicos; Curvas de Módulos Solares.

COMPARATION METHODS OF MPPT FOR A PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH TWO STRINGS USING SOFTWARE PSIM®

Abstract - This paper presents the comparison of the main maximum power point tracking (MPPT) techniques. The software chosen to demonstrate the behavior and characteristic curves of a photovoltaic system was the computer simulation platform PSIM®. The methodology used the insertion of a disturbance in irradiation and in the system was temperature in order to identify the system behavior taking into account the results obtained. The techniques studied were: constant duty cycle, constant voltage (Vcte), perturb and observe (P&O) and incremental conductance (IC). According to the results of the method P&O and IC they showed better response and efficiency under variation in the temperature and luminosity.

Keywords – MPPT; Photovoltaic Systems; Curve of Solar Modules.

I. INTRODUÇÃO

A revolução industrial marcou um grande salto tecnológico para a humanidade. Além dos vários acontecimentos durante a época, pode-se destacar o surgimento de alguns novos tipos máquinas (como as movidas a vapor e teares mecânicos) que revolucionaram os meios de produção e também novos tipos de fontes de energia: carvão, petróleo, até o uso da eletricidade.

Com o crescimento da demanda energética mundial veio à necessidade de investimentos, a fim de buscar melhores meios de geração de energia com um menor impacto ambiental. Destaca-se portanto o aproveitamento dos principais tipos de fontes de energia renovável.

Segundo dados da REN 21 (*Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*) o crescimento mais significativo ocorreu no setor de energia. A capacidade de geração global superou a faixa de 1.560 GW em 2013 (aumento de 8% em relação ao ano de 2012). Neste aumento, as fontes alternativas de energia, coletivamente, cresceram quase 17% na sua capacidade de geração, o que corresponde a 560 GW (26,4% da capacidade de geração mundial) [1].

Ainda em 2013, houve destaque para produção de energia fotovoltaica, sendo que mais de 39 GW foram instalados trazendo sua capacidade para cerca de 139 GW. A figura 1 apresenta o crescimento de 2004 a 2013 [1].

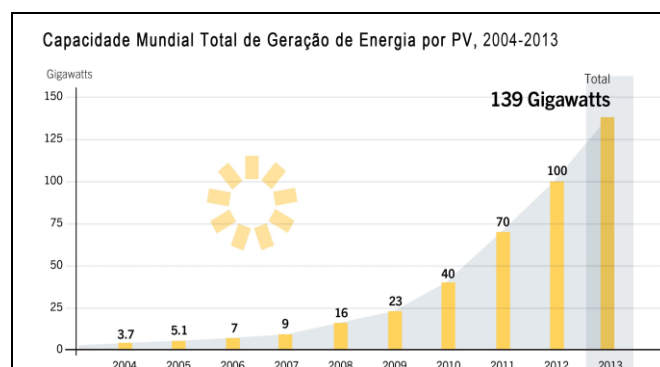


Fig. 1. Capacidade global da produção de energia solar [1].

Uma maneira de aperfeiçoar a geração por painéis fotovoltaicos (PV), é utilizando técnicas que tendem a garantir que os módulos sempre operem em sua capacidade máxima de produção ou próxima a ela, levando em conta as condições ambientais do local em que foram instalados. As técnicas que garantem essas condições de operação são chamadas técnicas de MPPT (do inglês *Maximum Power Point Tracking*) ou Rastreamento do Ponto de Máxima Potência. Este artigo aborda de modo comparativo algumas das principais técnicas, listando suas vantagens e



XIII CEEL - ISSN 2178-8308
12 a 16 de Outubro de 2015
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

complexidade de implementação, de acordo com as referências base.

II. MODELAGEM DO PV E MÉTODO DE CONTROLE

Um PV pode ser representado de forma simplificada como mostra o circuito equivalente da figura 2. O módulo pode ser concebido pela fonte de corrente (I_{ph}) em antiparalelo com o diodo (D). Estes estão em paralelo com uma resistência (R_p), e todos seguidos de uma resistência série (R_s) com a carga do circuito correspondente a resistência (R_L).

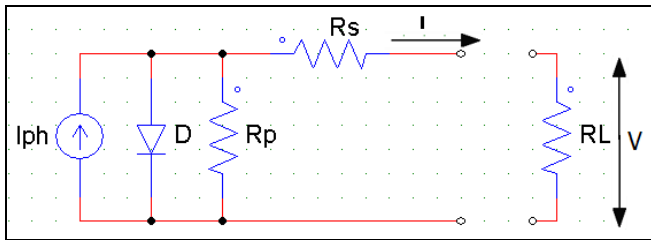


Fig. 2. Circuito equivalente de um módulo fotovoltaico

Foi utilizada nas simulações a ferramenta *Solar Module* (Figura 3), que permite definir os parâmetros e dados do PV a partir do datasheet do fabricante.

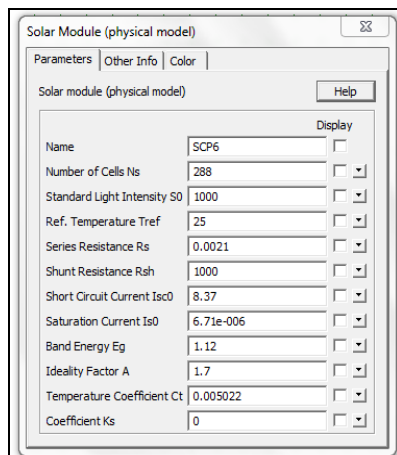


Fig. 3. *Solar Module* – PSIM®.

O painel fotovoltaico escolhido foi o KD135SX-UPU da Kyocera e a Tabela 1 apresenta os parâmetros do módulo fotovoltaico utilizado nas simulações computacionais. Já na figura 4 estão demonstradas as curvas características sob diferentes condições de radiação solar e temperatura [2].

Tabela I – Parâmetros do PV.

Condições Padrões de Teste (*CPT)	
Máxima potência (P_{Max})	135 W
Tensão de máxima potência (V_{MPP})	17,7 V
Corrente de máxima potência (I_{MPP})	7,63 A
Tensão de circuito Aberto (V_{oc})	22,1 V
Corrente de curto circuito (I_{cc})	8,37 A

*CPT: Irradiação de 1000 W/m², espectro de massa de ar de 1.5 e temperatura de célula de 25° C.

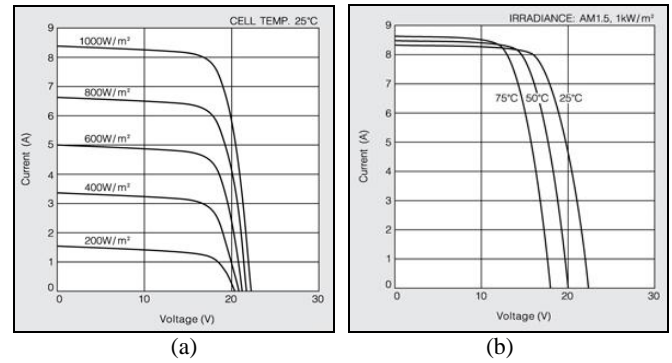


Fig.4. (a) Curvas características para diferentes níveis de radiação solar sob temperatura constante de 25° C, (b) Curvas características a diferentes níveis de temperatura sob radiação solar constante de 1000 W/m² [2].

O circuito projetado para efetuar as simulações (Figura 5), é constituído da associação de duas *strings* com oito PV conectados em série, ligados a um conversor CC-CC Boost. Cada uma das *strings* é controlada por dois circuitos de controle independentes. Na saída do conversor foi conectada uma microrede com tensão regulada em 400 V.

Nos circuitos de controle foram utilizados um controlador PID, *Simplified C Block* (com os algoritmos de MPPT) e sensores necessários para simulação.

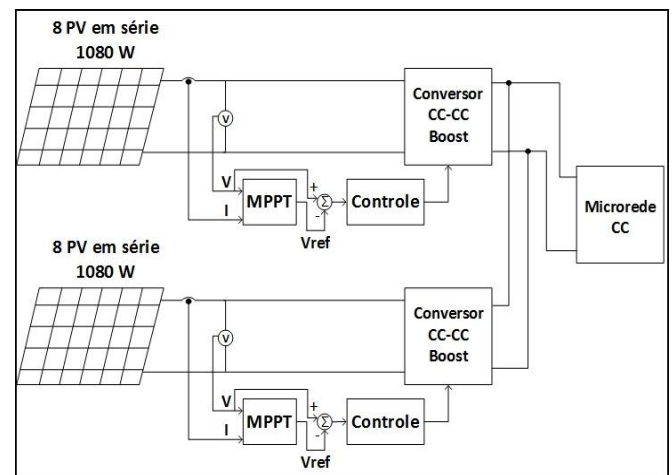


Fig. 5. Diagrama de blocos do Sistema PV.

III. TÉCNICAS DE MPPT

Os algoritmos das técnicas de MPPT abordados neste artigo são: razão cíclica constante ou fixa, tensão constante (V_{cte}), a perturbe e observe (P&O) e condutância incremental (IC) [3,4,9].

A. Método de Razão Cíclica Fixa

O método de razão cíclica fixa pode ser considerado o mais simples de ser executado pelo motivo de não necessitar de nenhuma realimentação ligada ao circuito de controle.

O algoritmo é baseado em um pré-ajuste do ciclo de trabalho do conversor, de forma a garantir que a carga intercepte a curva de geração no ponto de máxima potência desejado. O ciclo de trabalho (Duty Cycle - D) pode ser

obtido pela relação entre a tensão de saída e a de entrada do conversor Boost, mostrado pela equação 1: [5,6].

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{(1-D)} \quad (1)$$

Sendo:

V_s - Tensão na saída do conversor Boost, que corresponde ao nível de tensão de 400V a ser mantido pela microrede.

V_e - Tensão na entrada do conversor Boost, que é a mesma tensão de saída do PV.

Este método não leva em consideração as variações de temperatura e de radiação solar do sistema. Portanto a medida da tensão V_e está relacionada diretamente a um dado valor pré-definido no algoritmo. A razão cíclica fixa é considerada um método *offline* por não possuir nenhuma realimentação na malha de controle e uma razão cíclica com valor constante e pré-ajustado.

B. Método da Tensão Constante (V_{cte})

O método de Tensão Constante (V_{cte}) consiste na regulação do valor tensão de saída (V_e) de 72% a 78% da tensão do circuito em aberto (V_{oc}) do painel fotovoltaico, para uma dada condição atmosférica padrão [5,7].

O algoritmo começa medindo a tensão do painel, e em seguida, calcula o erro através da comparação entre a tensão de referência (V_e^*) e a tensão lida (V_e), atualizando o índice de modulação e forçando o PV sempre a operar no ponto de máxima potência. A figura 6 exibe o processo [8].

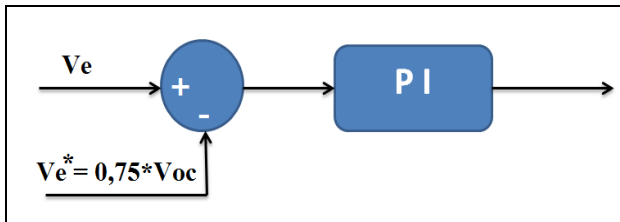


Fig. 6. Fluxograma do método de tensão constante com tensão de referência ajustado a 75% do valor da tensão de circuito aberto.

A principal limitação desta técnica baseia-se na presença de erro em regime permanente, que é resultado da relação entre a tensão de circuito aberto (V_{oc}) e a tensão de operação no ponto de máxima potência V_{MPPT} não ser constante. Esta técnica é indicada para regiões com baixa variação de temperatura. A vantagem corresponde à utilização de apenas um sensor de tensão para o controle do circuito [5,8].

C. Método Perturbe e observe (P&O)

O algoritmo do método da perturbe e observe (P&O) consiste em provocar perturbações de tensão no sistema para atingir o ponto de máxima potência (MPP) através da comparação entre a variação de potência do ciclo anterior com a do ciclo atual de operação. O fluxograma da figura 7 demonstra o processo.

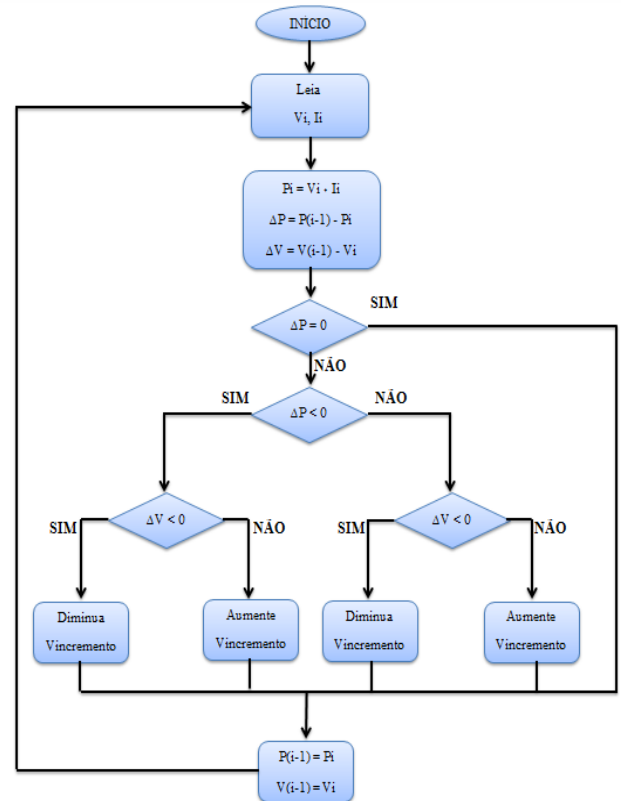


Fig. 7. Fluxograma do método P&O. Fonte: Autores.

Resumidamente o algoritmo lê o valores da tensão de saída da placa (V_i) e o da corrente (I_i), calcula a potência instantânea (P_i) e em seguida calcula a variação de potência (ΔP) entre o ciclo atual de operação e o anterior do sistema ($\Delta P = P_i - P(i-1)$). Através dessa diferença o algoritmo trabalha na busca do ponto ideal de operação (Figura 8).

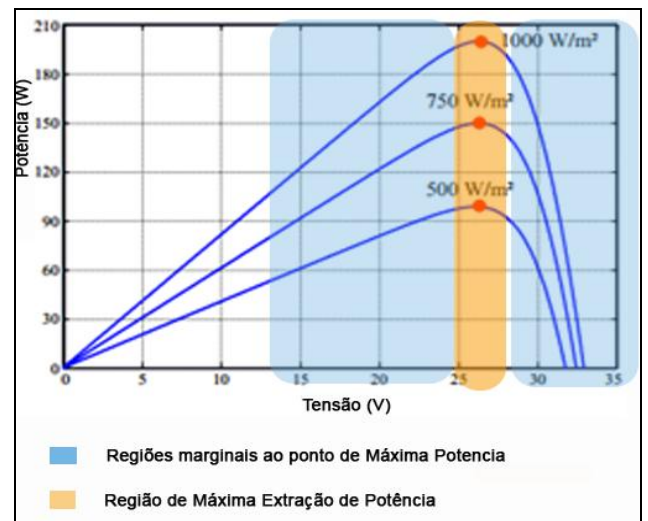


Fig. 8. Regiões de operação do método P&O [6].

Esse método é considerado um dos mais complexos de ser implementado por exigir a utilização de dois sensores (tensão e corrente).

D. Método da Condutância Incremental (IC)

Seu algoritmo é baseado no cálculo da taxa de inclinação da curva de potência para rastrear o ponto de MPP do PV. Já

que esse método utiliza o cálculo da inclinação (dP/dV) da curva de potência (Figura 9), quando ($dP/dV=0$) significa que foi encontrado o MPP. A derivada será positiva à esquerda e negativa à direita do ponto ótimo [5].

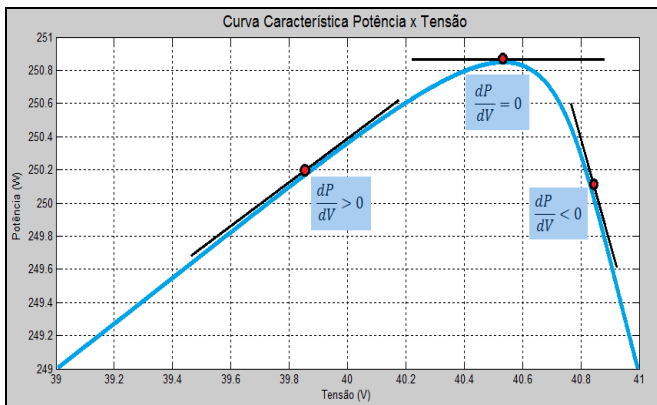


Fig.9. Busca do MPP pela taxa de inclinação da curva P x V.

Este método busca o MPP da mesma maneira que o método P&O, sendo o MPP uma função do incremento na condutância do PV, dado por (2) [5].

$$\frac{dP}{dv} = \frac{d(v \cdot i)}{dv} = v \frac{d(v \cdot i)}{dv} + i = 0 \quad (2)$$

Através de (2) é possível obter as condições de operação demonstradas do fluxograma da Figura10.

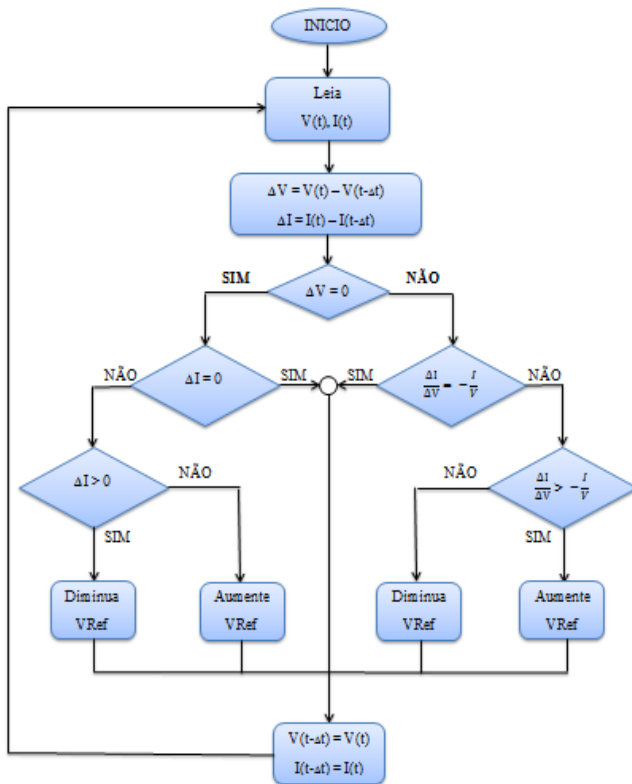


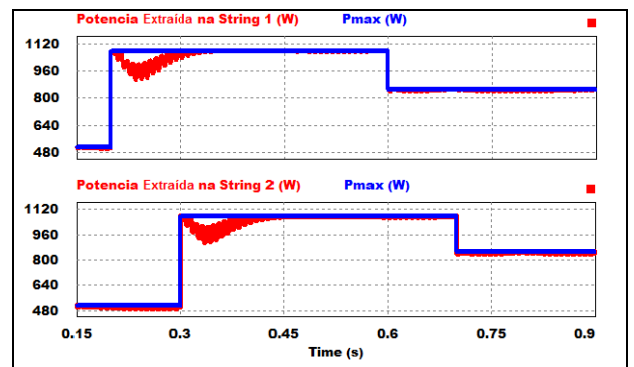
Fig.10. Fluxograma da técnica de MPPT de condutância incremental.

IV. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

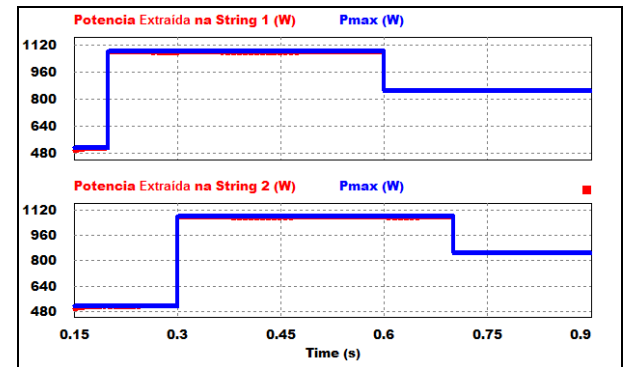
Nesta seção serão apresentados os resultados dos métodos descritos na Seção III, com a finalidade de avaliar a eficiência dos mesmos na extração de máxima potência. O sistema será submetido a degraus de irradiação e temperatura, a partir disso será possível determinar a resposta do sistema.

A. Degrau na Irradiância

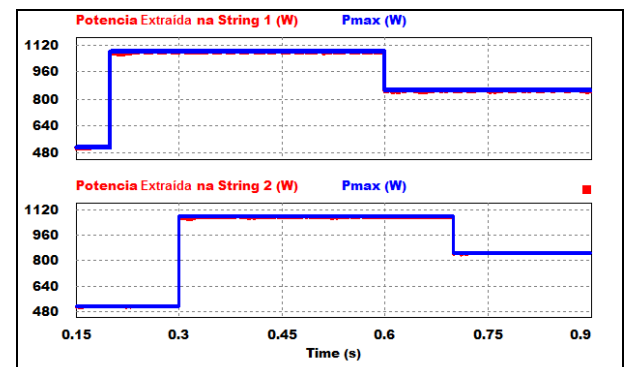
Para avaliar a eficiência solar do melhor método de MPPT levando em conta as variações de irradiação, foram utilizadas duas funções degrau no software PSIM®: a primeira com o valor da irradiação variando de 500 para 1000 W/m² e a segunda de 1000 para 700 W/m² para cada string a uma temperatura constante de 25° C. Os resultados estão demonstrados na figura 11.



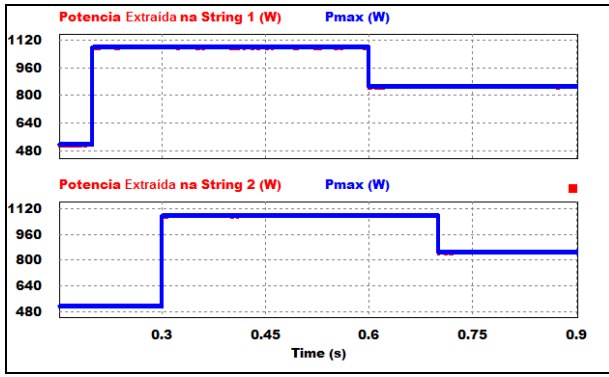
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.11. Potência Máxima disponível no painel e a potência máxima extraída de cada *string*, utilizando a técnica (a) razão cíclica fixa, (b) tensão constante (V_{cte}), (c) perturbe e observe (P&O) e condutância incremental (IC), para dois degraus de irradiação.

Analisando os resultados obtidos através da simulação computacional, observa-se que as técnicas que apresentaram maior eficiência na extração da máxima potência foram as de condutância incremental (IC) e perturbe e observe (P&O).

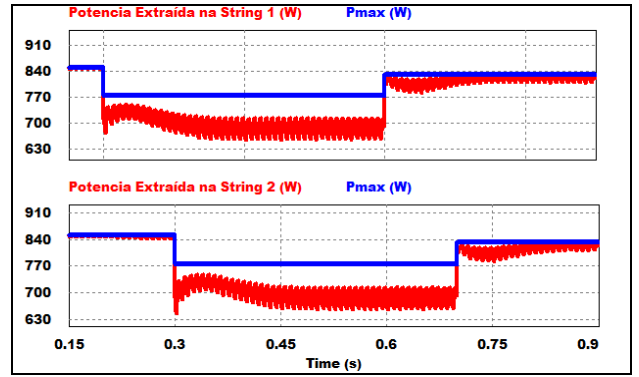
Estes métodos apresentam resultados satisfatórios nas diferentes condições de irradiação imposta. Entretanto, ambos necessitam para a sua implementação o emprego de dois sensores, um de corrente e outro de tensão. Fato este que representa uma desvantagem quando comparados ao método da razão cíclica fixa, que não necessita de nenhum e o de tensão constante, que utiliza apenas um sensor de tensão. A Tabela II representa a eficiência média obtida de cada técnica.

Tabela II – Eficiência dos métodos em resposta a irradiação e tipos de sensores.

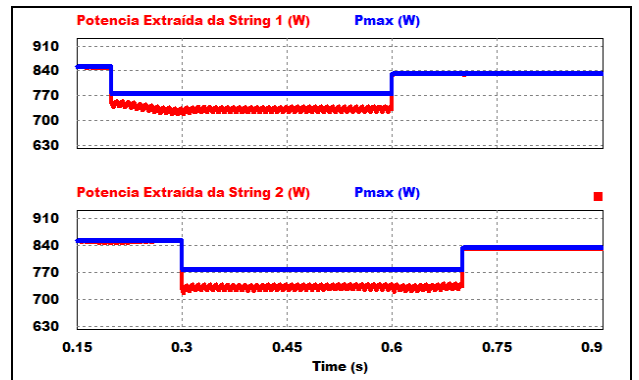
Técnica de MPPT	Eficiência Média	Sensores
Razão Cíclica Fixa	99,14 %	-
Tensão Constante	99,74%	V
Perturbe e observe (P&O)	99,81%	V e I
Condutância Incremental (IC)	99,87%	V e I

B. Degrau de Temperatura

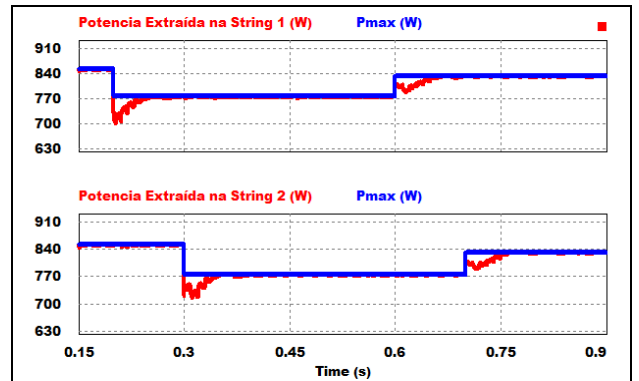
Para avaliar a eficiência do método de MPPT levando em conta as variações de temperatura, foram utilizadas duas funções degrau no software PSIM[®]: a primeira variando a temperatura de 25 para 45° C e a segunda variando de 45 para 30° C em cada *string* a uma irradiação constante de 800 W/m². Os resultados estão demonstrados na figura 12.



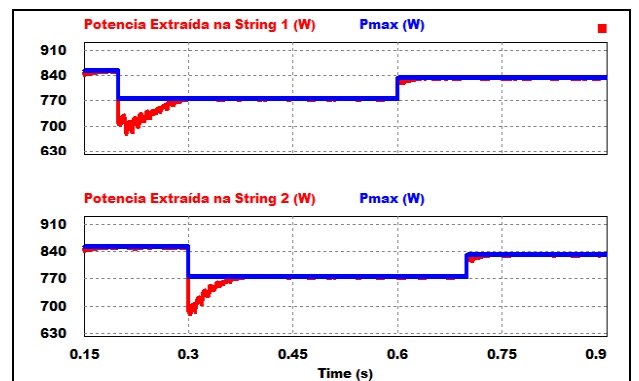
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.12. Potência Máxima disponível no painel e a potência máxima extraída de cada *string*, utilizando a técnica (a) Razão Cíclica Fixa, (b) tensão constante (V_{cte}), (c) perturbe e observe (P&O) e condutância incremental (IC), para dois degraus de temperatura.

Avaliando os resultados obtidos percebe-se que os mais influenciados pela ação da temperatura são os de razão cíclica fixa e tensão constante, já que seus algoritmos não levam em consideração a variação de temperatura dos painéis. Já os métodos da condutância incremental (IC) e o da perturbe e observe (P&O), mostraram-se mais estáveis e uma maior eficiência na resposta ao degrau, sendo desse modo os dois métodos mais eficazes em resposta ao degrau de temperatura. Na Tabela III está listada a eficiência média de cada método.

Tabela III – Eficiência dos métodos em resposta a temperatura e tipos de sensores.

Técnica de MPPT	Eficiência Média	Sensores
Razão Cíclica Fixa	93,86 %	-
Tensão Constante	96,98 %	V
Perturbe e observe (P&O)	99,44 %	V e I
Condutância Incremental (IC)	99,24 %	V e I

V. CONCLUSÕES

O artigo demonstra a implementação e simulação de algumas das principais técnicas de Máxima Extração de Potência (MPPT) disponíveis na literatura. Conclui-se que antes da utilização de qualquer técnica é necessário analisar as condições meteorológicas da região escolhida, levando em conta principalmente as condições de irradiância e temperatura, para garantir a escolha do método de MPPT mais viável para ser aplicado no sistema fotovoltaico.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG e ao CNPQ pelo incentivo a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Sawin J. L. Martinot E., "Renewables Global Status," *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, pp. 18-25, 2014.
- [2] Kyocera, Datasheet do módulo solar KD135SX-UPU.
- [3] Stein F. G., Conversão de Energia Solar Fotovoltaica Com Rastreamento de Máxima Potencia Aplicada ao Conversor Boost, 2012, (Graduação em Engenharia Elétrica).
- [4] Sampaio L. P., Galotto J. L., Canesin C. A. Brito M. A. G., "Avaliação das Principais Técnicas para Obtenção de MPPT de Painéis Fotovoltaicos," *International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, pp. 592-600, 2010.
- [5] Spaduto R. R., Buiatti G. M., Freitas L. C., Melo F. C., "Projeto e Execução de Instalação Fotovoltaica Conectada à Rede Elétrica de Baixa Tensão em Conformidade com a Resolução Normativa 482 da ANEEL," *Conferência Brasileira de Qualidade da Energia Elétrica - X CBQEE*, pp. 1-6, 2013.

- [6] Neto J. T. C., Controle Robusto Aplicado ao Conversor Buck-Boost em Sistemas Fotovoltaicos, 2012, (Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica).
- [7] Brito M. A. G., Inversores Intergrados Monofásicos e Trifásicos para Aplicações Fotovoltaicos: Técnicas para Obtenção de MPPT, detecção e proteção de ilhamento, sincronização e paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica, 2013, (Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica).
- [8] Galotto Jr. L., Inversores Integrados Monoofásicos Aplicados em Sistemas Fotovoltaicos com Conexão à Rede de Distribuição de Energia Elétrica, 2011, (Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica).
- [9] Sharma P. K., Paliwal P. Rajan R., "A Comprehensive Review of Maximum Power Point Tracking (MPPT) System," *International Journal of Innovative Science*, vol. I, no. 3, pp. 16-19, Maio 2014.