

Investigação Experimental da Influência da Temperatura de Operação e da Irradiação Solar em um Painel Fotovoltaico

Henrique de Lacerda Tinoco (UTFPR - Câmpus Ponta Grossa) liquelt@gmail.com
Diego Porto Florido (UTFPR - Câmpus Ponta Grossa) diegoportoflorido@gmail.com
Larissa Krambeck (I UTFPR - Câmpus Ponta Grossa) larissakrambeck@gmail.com
Thiago Antonini Alves (UTFPR - Câmpus Ponta Grossa) thiagoalves@utfpr.edu.br

Resumo:

A busca de soluções reais que atendam à crescente demanda por energia no cenário global tem sido objeto de estudos em todas as partes do mundo para a comunidade científica. Fontes e tecnologias renováveis estão sendo investigadas para a substituição de combustíveis fósseis, não renováveis e com alto potencial de degradação ambiental. Uma forma de energia renovável que se destacou na área da sustentabilidade é a energia solar, devido a aspectos ambientais, sociais e de abundância. Apesar de se obter eletricidade diretamente da incidência solar em um sistema fotovoltaico, aproximadamente 80% a 90% da energia incidente é convertida em calor. Esse calor resulta no aumento da temperatura de operação das células do painel fotovoltaico, provocando um decréscimo de 0,45% no rendimento do painel para cada grau Celsius [°C] acrescentado a partir das condições padrões de teste: 25 °C, 1 kW/m² e 1,5 kg de ar. No presente trabalho foi apresentada uma análise experimental da influência da temperatura de operação e da irradiação solar na tensão gerada por um painel fotovoltaico, com o intuito de compreender a importância do controle a temperatura de operação de um painel fotovoltaico.

Palavras chave: Painel fotovoltaico, Energia solar, Tensão.

Experimental Investigation of Influence of the Operating Temperature and the Solar Irradiation in a Photovoltaic Panel

Abstract

The search for real solutions that meet the growing demand for energy in the global scenario has been the subject of studies in all parts of the world for the scientific community. Renewable sources and technologies are investigated for the replacement of fossil fuels, non-renewable and with high potential for environmental degradation. One form of renewable energy that has highlighted in the area of sustainability is solar energy, due to environmental, social and abundance aspects. Despite obtaining electricity directly from the solar incident in a photovoltaic system, approximately 80% to 90% of the incident energy is converted into heat. This heat results in an increase in the operating temperature of the photovoltaic panel cells, causing a 0.45% decrease in panel yield for each degree Celsius [°C] added from the standard test conditions: 25 °C, 1 kW / m² and 1.5 kg of air. In the present paper, an experimental analysis of the influence of the operating temperature and the solar irradiation in the voltage generated by a photovoltaic panel was presented, in order to understand the importance of the control of the operating temperature of a photovoltaic panel.

Keywords: Photovoltaic Panel, Solae Energy, Voltage.

1. Introdução

A demanda por energia vem crescendo a cada ano. Estima-se que o consumo mundial de energia cresça em mais de 30% até 2035 considerando todos os setores que necessitam de energia, como industrial, agrícola, médico, de transporte e doméstico (Statistical BP, 2016).

A busca de soluções reais que atendam à crescente demanda por energia no cenário global tem sido objeto de estudos em todas as partes do mundo para a comunidade científica. Fontes e tecnologias renováveis estão sendo investigadas para a substituição de combustíveis fósseis, não renováveis e com alto potencial de degradação ambiental (Suman *et al.*, 2015).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2017), o Brasil é o país se manteve entre os países com mais elevada utilização de recursos renováveis, de acordo com a oferta interna de energia apresentada na Figura 1. Segundo projeções do Plano Nacional de Energia 2030, o país deverá elevar de 43,5% para 47% a utilização de fontes renováveis em sua matriz energética.



Figura 1- Repartição da oferta Interna de Energia

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2017)

Uma forma de energia renovável que se destaca na área da sustentabilidade mundialmente é a energia solar, devido a aspectos ambientais, sociais e de abundância. Em 2014, a energia solar totalizou aproximadamente 30% da nova capacidade energética de fontes renováveis mundial (IEA, 2015).

O custo de implantação de sistemas solares ainda é elevado, mas este investimento vem se tornando mais viável nos últimos anos devido ao aumento dos custos dos combustíveis fósseis e a evolução da tecnologia solar. Dados do Ren21 (2015), mostram que energia fotovoltaica já atinge 177 GW de capacidade total mundial e que mais de 60% dessa capacidade foi instalada nos últimos três anos.

O Brasil é um dos maiores países do mundo em extensão territorial e, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2014), devido à sua posição geográfica – localizado na sua maior

parte na região intertropical- apresenta uma grande taxa de irradiação solar, possuindo assim, um grande potencial de aproveitamento energético proveniente da energia solar durante todo o ano (Marquardt & Borges, 2015). A intensidade dos raios solares depende da latitude geográfica da área em questão e da estação do ano (inclinação do eixo da terra). A Figura 2 apresenta a média de irradiação solar no território brasileiro no verão e no inverno, respectivamente.

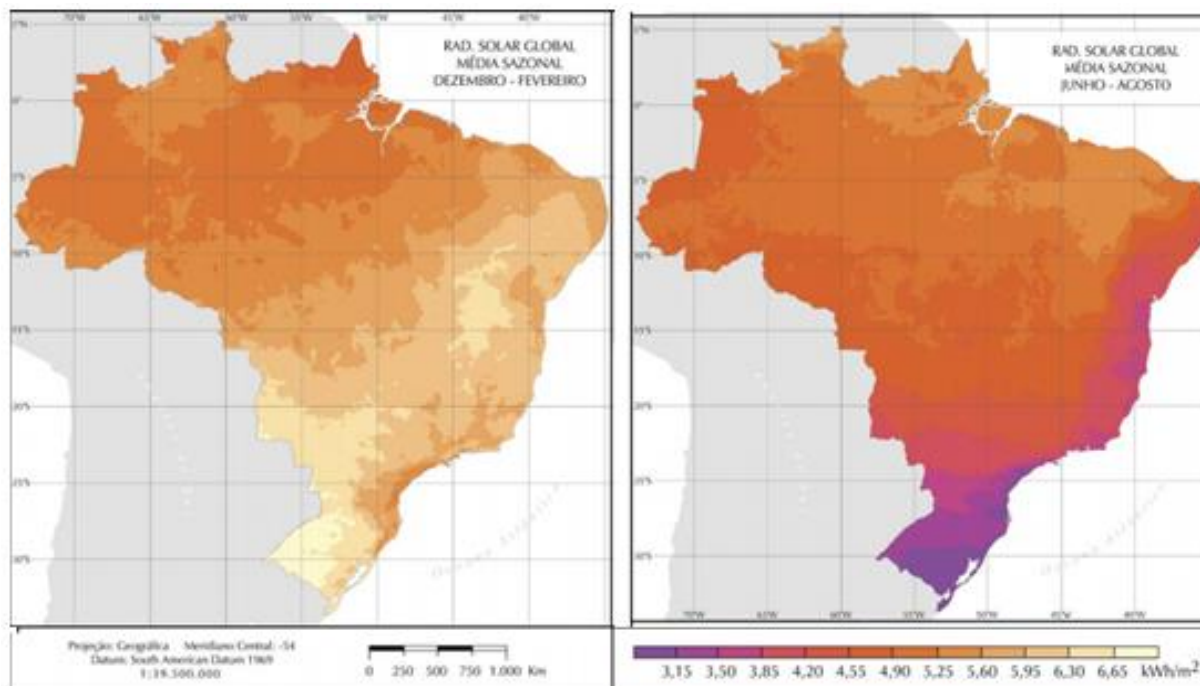


Figura 2- Radiação solar global no Brasil, média sazonal

Fonte: Adaptado de Pereira *et al* (2006)

A energia solar pode ser facilmente convertida em outra forma de energia basicamente por dois sistemas: térmico e fotovoltaico. O sistema térmico converte energia solar em calor. Já o sistema fotovoltaico transforma a irradiação solar em eletricidade (Hosseini *et al.*, 2011).

Os sistemas fotovoltaicos convertem a incidência de raios solares na superfície de Silício em energia elétrica. Elétrons são excitados gerando uma diferença de potencial (D.D.P.) no painel através do efeito fotovoltaico.

O Relatório Mundial da Situação das Energias Renováveis de 2015 desenvolvido pela REN 21 apresenta o importante papel que os módulos solares fotovoltaicos têm desempenhado na geração de eletricidade em determinados países. Eles estão se tornando competitivos com o desenvolvimento de tecnologias com custos reduzidos frente a outras formas de geração de energia elétrica. A Figura 3 apresenta os dez países com as maiores capacidades de geração de eletricidade por painéis solares até 2013 e as capacidades adicionadas em 2014.

Apesar de se obter eletricidade diretamente da incidência solar em um sistema fotovoltaico, aproximadamente 80% a 90% da energia incidente é convertida em calor. Esse calor resulta no aumento da temperatura de operação das células do painel fotovoltaico, provocando um decréscimo de 0,45% no rendimento do painel para cada grau Celsius [°C] acrescentado a partir das condições padrões de teste: 25 °C, 1 kW/m² e 1,5 kg de ar (Ruther, 2004).

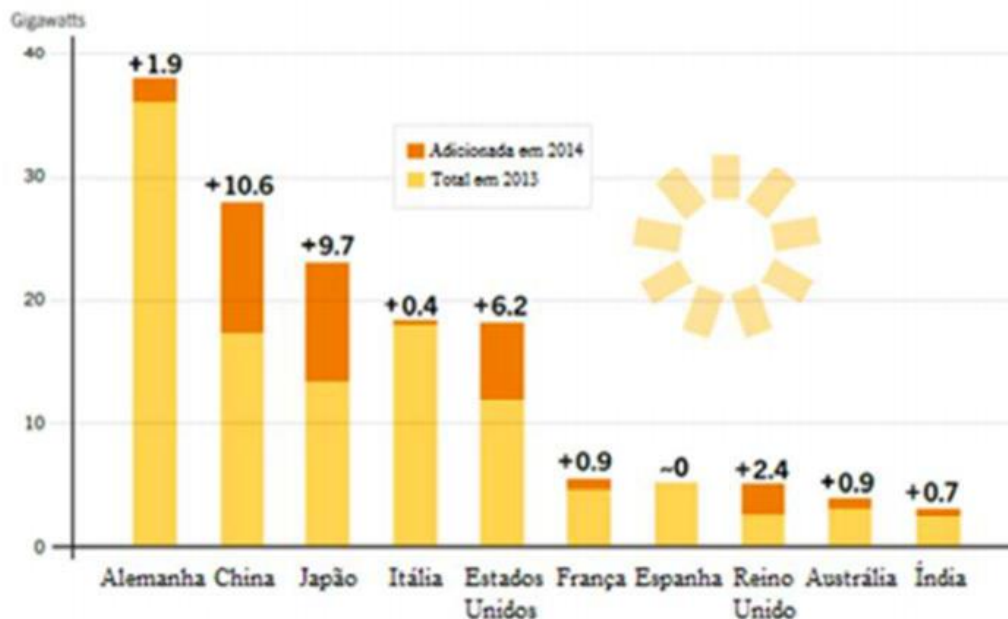


Figura 3- Capacidade instalada de geração fotovoltaica até 2013 e adicionada em 2014
Fonte: Pinto (2015)

A queda no rendimento do painel ocorre devido a redução significativa da tensão produzida com o aumento da temperatura, ao mesmo tempo que sua corrente sofre uma pequena elevação, porém quase desprezível, que não compensa a perda ocasionada pela diminuição da tensão, reduzindo a potência produzida pelo sistema. A Figura 4 apresenta a curva característica da corrente *versus* tensão ocasionada pelo aumento da temperatura de operação (Casaro & Martins, 2008).

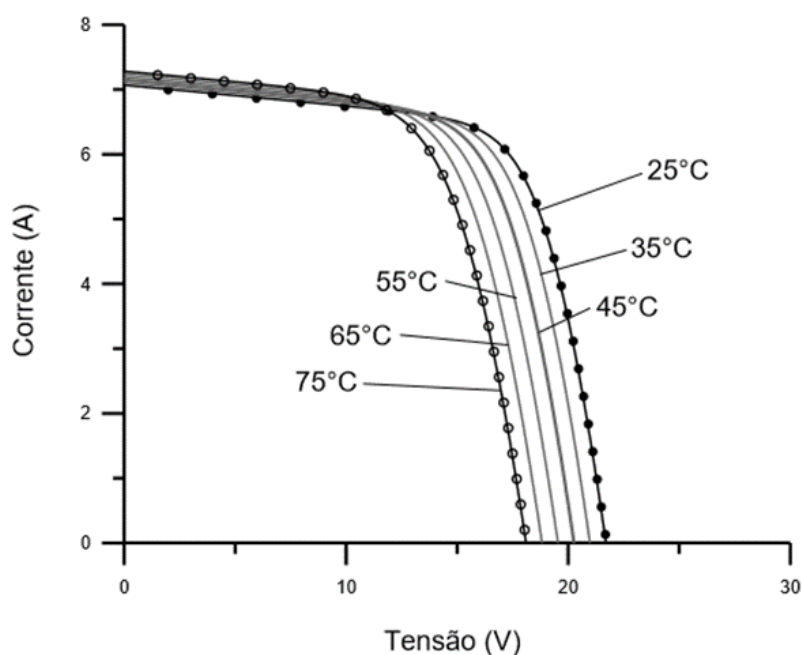


Figura 4 – Curva característica Corrente *versus* Tensão de um módulo fotovoltaico devido a variação da temperatura da célula
Fonte: Pinho & Galdino (2014).

No presente trabalho foi apresentada uma análise experimental da influência da temperatura de operação e da irradiação solar na tensão gerada por um painel fotovoltaico, com o intuito de compreender a importância do controle a temperatura de operação de um painel fotovoltaico.

2. Metodologia

O aparato experimental utilizado durante os testes experimentais foi dividido em duas seções, uma externa e uma interna. O setor externo, exposto a irradiação, foi composto por um painel fotovoltaico China Solar LTDTM modelo Kaxidy KS-P10W de células policristalinas, um piranômetro Kipp & ZonenTM e uma mesa com regulagem de inclinação, como apresentado na Figura 5. As características do painel fotovoltaico utilizado são apresentadas na Tabela 1.

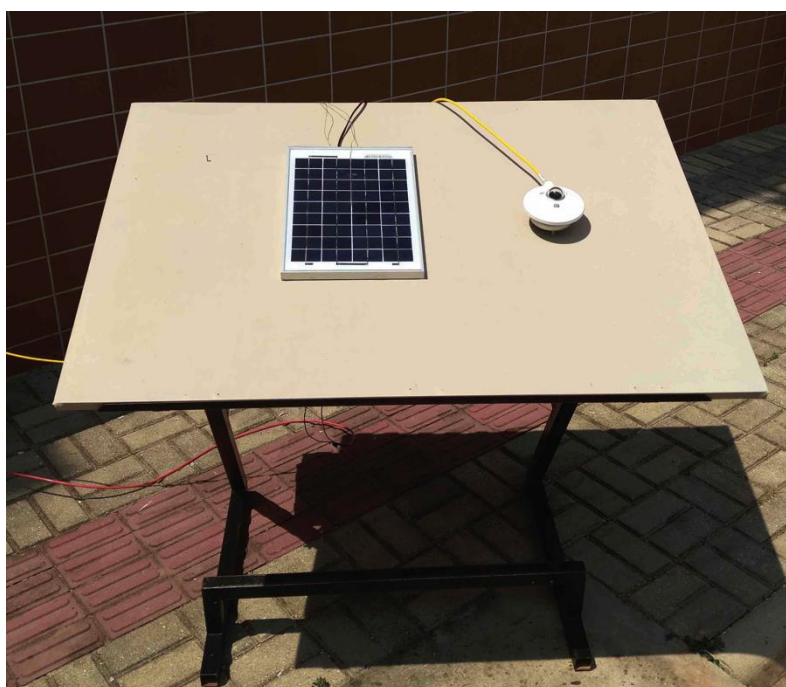


Figura 5 – Aparato experimental externo

Parâmetro	Painel Fotovoltaico
Potência [W]	10
Tensão em circuito aberto [V]	21.6
Corrente em curto circuito [mA]	630
Tipo de Célula Solar	Silício Policristalino
Temperatura Nominal de Operação [°C]	45 ± 2
Coeficiente de Temperatura da Tensão em circuito aberto [%/°C]	(-0.34 ± 0.01)
Coeficiente de Temperatura da corrente em curto circuito [%/°C]	(0.045 ± 0.01)
Temperatura de Operação [°C]	- 40 a 85

Tabela 1 – Características do painel fotovoltaico Kaxidy KS-P10W

A Figura 6 mostra o aparato experimental usado internamente, que foi composto por um sistema de aquisição de dados AgilentTM 34970A com 20 canais e um laptop DellTM, de forma que os equipamentos eletrônicos ficaram protegidos da irradiação solar.



Figura 6 – Aparato experimental interno

Para avaliação do comportamento térmico do painel fotovoltaico foram utilizados três termopares OmegaTM Tipo K. Um sensor de temperatura foi fixado na superfície superior do painel e um na superfície inferior, além de um termopar que realizou a avaliação da temperatura ambiente.

O painel fotovoltaico foi testado experimentalmente em uma inclinação de 25° (latitude da cidade de Ponta Grossa/PR: 25° 05' 42" Sul).

3. Resultados e Discussão

Os resultados apresentam o comportamento experimental de um painel fotovoltaico de 10W. O teste experimental foi executado durante 6 horas, de forma a utilizar o máximo de irradiação solar. Os dados foram registrados a cada 10 segundos pelo sistema de aquisição de dados e gravados no computador através do *software AgilentTM Benchlink Data Logger 3*. Posteriormente, os dados foram tratados para avaliação do comportamento.

O comportamento da irradiação solar em função do tempo de exposição é apresentado na Figura 7. Assim que a luz solar atinge diretamente o painel fotovoltaico, a irradiação se eleva drasticamente. O comportamento da temperatura de operação no painel fotovoltaico e da tensão gerada pelo painel sobre o painel em função do tempo, são mostrados nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

A tensão aumenta com o aumento da irradiação solar e reduz gradativamente com o aumento da temperatura de operação do painel fotovoltaico. Assim que exposta a irradiação solar, o painel obteve seu valor máximo de tensão em circuito aberto, mas conforme a temperatura do painel se elevou, o valor de tensão produzida pelo painel se reduziu. Desta forma, um sistema de resfriamento para o painel fotovoltaico pode reduzir sua temperatura de operação, fazendo com que seu rendimento se eleve, aumentando a produção de energia elétrica a partir de energia solar.

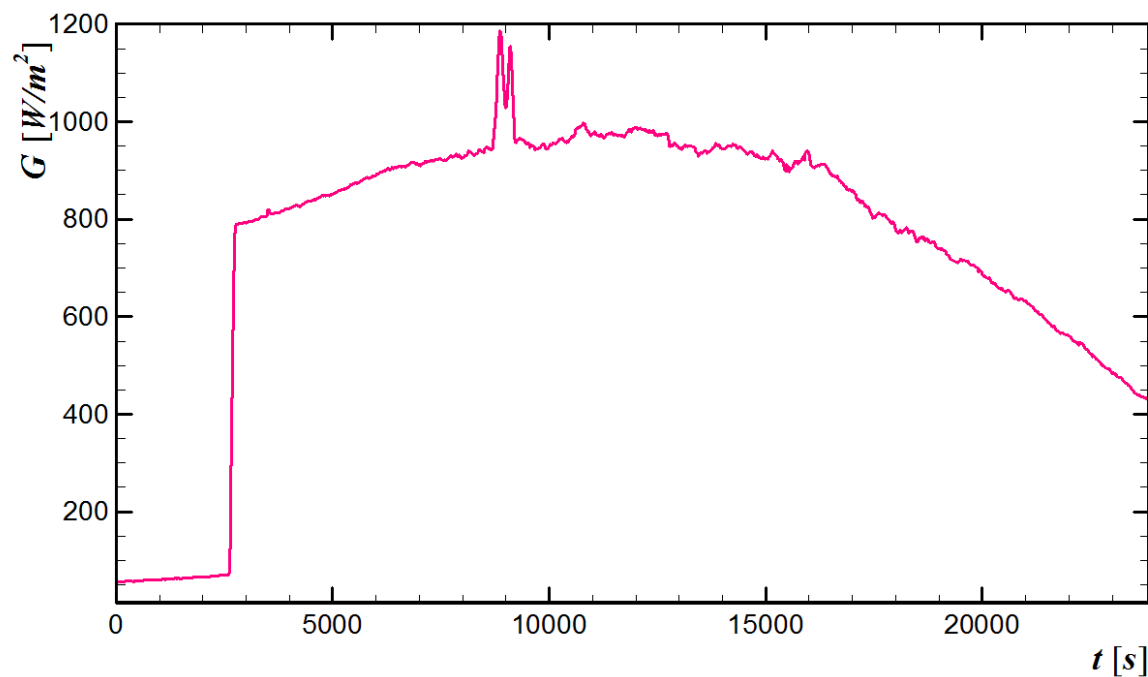


Figura 7 – Irradiação solar vs tempo

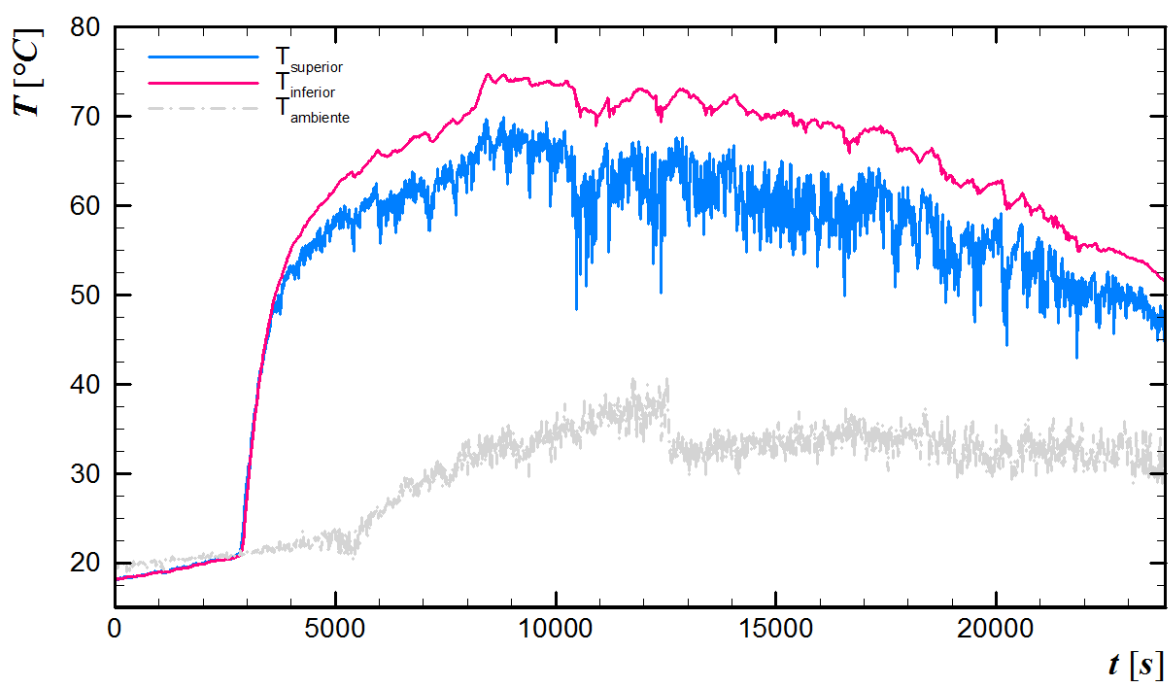


Figura 8 – Temperatura de operação do painel fotovoltaico vs tempo

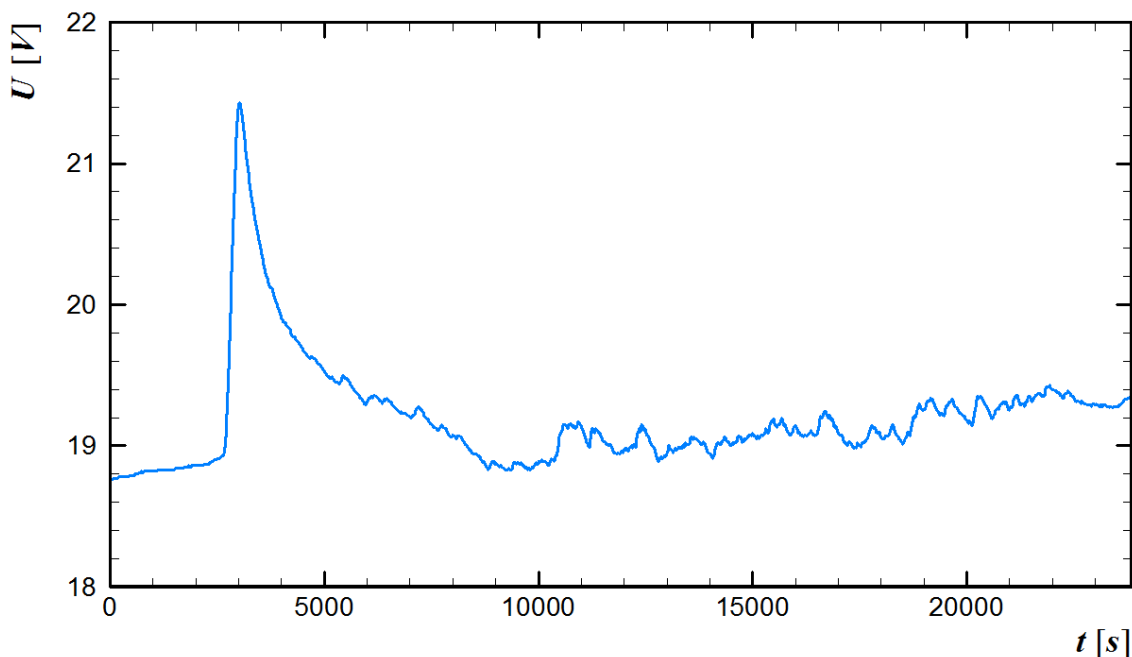


Figura 9 – Tensão produzida pelo painel fotovoltaico vs tempo

4. Conclusões

No presente trabalho foi avaliado experimentalmente a influência da temperatura de operação e da irradiação solar na tensão produzida por um painel fotovoltaico, com o intuito de compreender a importância do controle a temperatura de operação de um painel fotovoltaico. Foi comprovado que a tensão gerada está ligada diretamente à temperatura de operação da placa fotovoltaica. Com o aumento da irradiação solar, a tensão produzida se eleva, porém com o acréscimo da temperatura de operação do painel fotovoltaico, a tensão produzida se reduz gradativamente.

O próximo passo deste projeto será a construção e execução de testes experimentais de um sistema de sistema de resfriamento para a placa fotovoltaica, de forma a reduzir a sua temperatura de operação, melhorando sua eficiência.

5. Agradecimentos

Agradecimentos são prestados à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor e ao terceiro autor. Agradecimentos também são externados ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UTFPR (PROPPG), à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) e ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)/Câmpus Ponta Grossa.

Referências

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanco energético nacional - BEN*. Brasília: MME, 2017.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. Modelo De Arranjo Fotovoltaico Destinado A Análises Em Eletrônica De

Potência Via Simulação. Eletrônica de Potência, Vol. 13, n. 3, p.141-146, 3 ago. 2008.

HOSSEINI, R., HOSSEINI, N., KHORASANIZADEH, H., *An experimental study of combining a photovoltaic system with a heating system.* World Renewable Energy Congress, Sweden, 2011.

IEA. *Energy and Climate Change – World Energy Outlook Special Report.* Paris: OECD/IEA, 2015.

MARQUARDT, L. S.; BORGES, V. Y. S. *Desenvolvimento de um coletor solar assistido por termossifões.* Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. *Atlas Brasileiro de Energia Solar.* 1. ed. São José dos Campos, 2006.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. *Atlas Brasileiro de Energia Solar.* 1. ed. São José dos Campos, 2014.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos.* CEPEL/CRESESB, 2014.

PINTO, M. A. *Utilização De Painéis Solares Fotovoltaicos No Segmento Residencial.* Universidade Estadual Paulista, 2015.

REN21. *Renewables 2015 Global Status Report.* Paris: REN21 Secretariat, 2015.

RÜTHER, R. *Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública do Brasil.* UFSC/LabSolar, 2004.

STATISTICAL BP. *Energy W. Product GD, Parity PP.* BP Energy Outlook, 2016.

SUMAN, S.; KHAN, M. K.; PATHAK, M. *Performance enhancement of solar collectors – A review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 49, p. 192-210, 2015.