

## Aplicação de termossifões para controle térmico de painéis solares fotovoltaicos

### Thermosyphons application for thermal control of photovoltaic solar panels

#### RESUMO

Painéis solares fotovoltaicos são dispositivos usados para converter de modo direto a irradiação solar em energia elétrica. Apesar de ser uma alternativa conhecida e versátil, essa tecnologia ainda sofre com uma eficiência reduzida que dificulta sua rentabilidade. Neste trabalho foi feito um estudo sobre a aplicação de termossifões como sistema de arrefecimento para um painel solar fotovoltaico com objetivo de aumentar sua produtividade. O termossifão proposto foi fabricado e testado experimentalmente para ter suas propriedades avaliadas e eficácia comprovada. Além disso, foram testadas duas variações deste dispositivo passivo de transferência de calor, um com condensador aletado e outro sem as aletas. Como resultado, os termossifões operaram de maneira satisfatória e os melhores resultados obtidos foram quando foi utilizado com um condensador aletado. Também foi proposto um sistema com equipamentos externos e internos para a avaliação do uso em conjunto de um painel solar fotovoltaico e os termossifões produzidos com objetivo de comparar as potências geradas entre este conjunto e outro painel fotovoltaico com as mesmas características, mas sem sistema de arrefecimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Painel solar fotovoltaico. Tubo de calor. Controle térmico.

#### ABSTRACT

Photovoltaic solar panels are devices used to directly convert solar irradiation into electrical energy. Despite being a known and versatile alternative, this technology still suffers from a low efficiency that hinders its profitability. In this work, a study was carried out on the application of a thermosyphon as a cooling system for a photovoltaic solar panel in order to increase its productivity. The proposed thermosyphon was produced and tested experimentally to have its properties evaluated and its effectiveness proven. In addition, two variations were tested, one with finned condenser and the other without fins. As a result, the thermosyphons operated satisfactorily and the best results were shown when a finned condenser was used. A system with external and internal equipment was also proposed to evaluate the use of a system consisting of a photovoltaic solar panel and the thermosyphons produced in order to compare the powers generated between this system and another panel with the same characteristics but with no cooling system.

**KEYWORDS:** Photovoltaic solar panel. Heat pipe. Thermal control.

**Thomas Siqueira Pereira**  
[thomaspereira@alunos.utfpr.edu.br](mailto:thomaspereira@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Thiago Antonini Alves**  
[antonini@utfpr.edu.br](mailto:antonini@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Johnson Ruo Ting Hung**  
[johnsonhung21@gmail.com](mailto:johnsonhung21@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Pedro Leineker Ochoski Machado**  
[pedmac@alunos.utfpr.edu.br](mailto:pedmac@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Recebido:** 04 set. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

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



## INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica a partir de fontes com impactos menores no meio ambiente tornou-se um dos assuntos com maior presença no meio científico, dentre estas fontes se destaca a conversão fotovoltaica de energia solar em painéis fotovoltaicos, os quais têm grande potencial de utilização, mas, ainda são limitados por uma baixa eficiência. Um método analisado para o aumento da sua eficiência é a redução de sua temperatura de operação (AKBARZADEH; WADOWSKI, 1996).

Termossifão é definido por um tubo de calor assistido por gravidade usado para melhorar a transferência de calor em várias aplicações (KRAMBECK *et al.*, 2019). Sua principal característica é uso de calor latente de vaporização de um fluido de trabalho para transferir calor em altas taxas por distâncias consideráveis com pequena diminuição de temperatura. Suas vantagens são flexibilidade, construção simples e fácil controle sem potência de bombeamento externo (REAY *et al.*, 2014).

O termossifão pode ser separado em três regiões, sendo estas: o *evaporador*, região inferior do tubo que é aquecido por uma fonte quente, submetendo o fluido de trabalho a um processo de evaporação; o *condensador*, região superior do tubo onde o há a perda de energia na forma de calor e o fluido é condensado retornando para o evaporador por gravidade e recomeçando o processo; além da *seção adiabática* que está localizada entre duas regiões anteriores. Nessa seção, não há transferência de calor entre o termossifão e o ambiente. Em alguns casos, a seção adiabática está ausente (MANTELLI, 2013).

Durante este trabalho de iniciação científica foi realizada uma análise da aplicação de termossifões como sistema de arrefecimento para um painel solar fotovoltaico visando seu controle térmico e, conseqüente aumento de eficiência.

## MATERIAIS E MÉTODOS

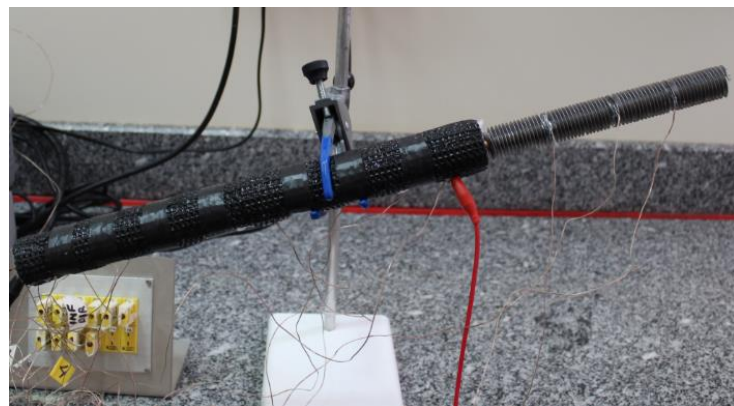
A maioria dos experimentos planejados para esse projeto de iniciação científica foram adiados em virtude da pandemia do novo coronavírus, SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19 e, conseqüente, limitação das atividades ocorridas a partir de março de 2020. É descrito abaixo o teste experimental realizado no termossifão proposto além de um planejamento e levantamento dos equipamentos necessários para a completa execução dos experimentos.

Para a fabricação do termossifão foi usado um tubo de cobre ASTM B75, Liga 122, com um diâmetro externo de 9,45 mm, um diâmetro interno de 7,35 mm e um comprimento de 500 mm. Este dispositivo passivo de transferência de calor tem um evaporador de 310 mm de comprimento, uma região adiabática de 20 mm de comprimento e um condensador de 170 mm de comprimento. Aletas de alumínio em espiral foram instaladas na região do condensador. O fluido de trabalho usado foi água destilada com uma taxa de preenchimento de 50% do volume do evaporador. A metodologia durante os testes experimentais foi baseada em Antonini Alves *et al.* (2018).

O termossifão foi testado experimentalmente em duas situações: com e sem adição de aletas. O objetivo do ensaio foi emular sua utilização como sistema de arrefecimento em um painel solar. No papel do painel fotovoltaico foi utilizado um

resistor elétrico responsável por dissipar energia no evaporador enquanto o arrefecimento do sistema era feito por convecção natural de ar atmosférico na região do condensador. Termopares do tipo K *Omega Engineering*<sup>TM</sup> foram utilizados na obtenção dos dados de temperatura do termossifão. A região do evaporador junto do resistor elétrico foi coberta por isolamento térmico aeronáutico e uma camada de polietileno para garantir que o calor gerado fosse dissipado ao máximo na região do condensador. Durante os testes experimentais, a temperatura ambiente foi mantida em  $17,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e o aparato experimental foi mantido em uma inclinação de  $25^{\circ}$  em relação a horizontal, inclinação utilizada para painéis fotovoltaicos em Ponta Grossa/PR. O termossifão em posição de teste pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Termossifão utilizado em posição de teste



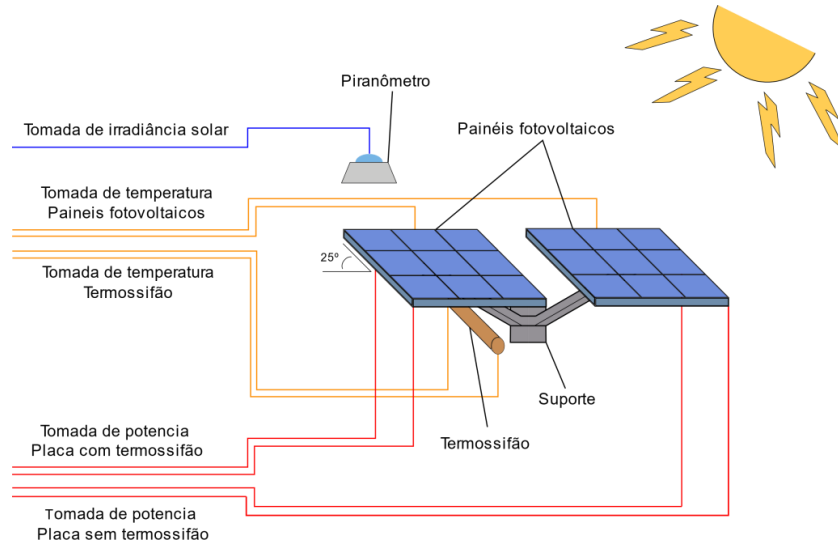
Fonte: Autoria própria (2020).

Os testes experimentais foram executados para três diferentes dissipações de potência: 5W, 10W e 15W. Aguardando cerca de 30 minutos até que as temperaturas apresentassem características de regime permanente.

Para a realização dos testes experimentais sob condições reais de operação são necessários: termossifões semelhantes aos mostrados na Figura 1 e descrito anteriormente, dois painéis solares fotovoltaicos 10W 12VCC *Kript*<sup>TM</sup> com dimensões de 350mm x 294mm x 19mm, termopares do tipo K *Omega Engineering*<sup>TM</sup> para avaliação de temperaturas dos painéis fotovoltaicos, um sistema de aquisição de dados *Agilent*<sup>TM</sup> 34970A com um multiplexador de 20 canais *Agilent*<sup>TM</sup> 34901A, um *laptop Dell*<sup>TM</sup>, um piranômetro *Kipp & Zonen*<sup>TM</sup> CMP3 para aquisição dos dados de irradiância solar, um suporte de alumínio para manter a posição e inclinação dos painéis solares fotovoltaicos assim como a posição do termossifão, além de um sistema de aquisição de dados de potência composto por um *Arduino*<sup>TM</sup> UNO, dois resistores de  $15\Omega$  para 20W e dois módulos medidores de tensão de corrente contínua (VDC) para *Arduino*<sup>TM</sup>. Destaca-se que todos estes componentes estão disponíveis no Laboratório de Controle Térmico (LabCT) do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da UTFPR/Ponta Grossa.

Os painéis fotovoltaicos seriam então instalados sob a mesma inclinação de  $25^{\circ}$ , com os termossifões bem acoplados à superfície inferior do painel com arrefecimento e o piranômetro corretamente posicionado. A Figura 2 apresenta a disposição dos componentes externos do experimento proposto.

Figura 2 – Disposição dos equipamentos externos



Fonte: Autoria própria (2020).

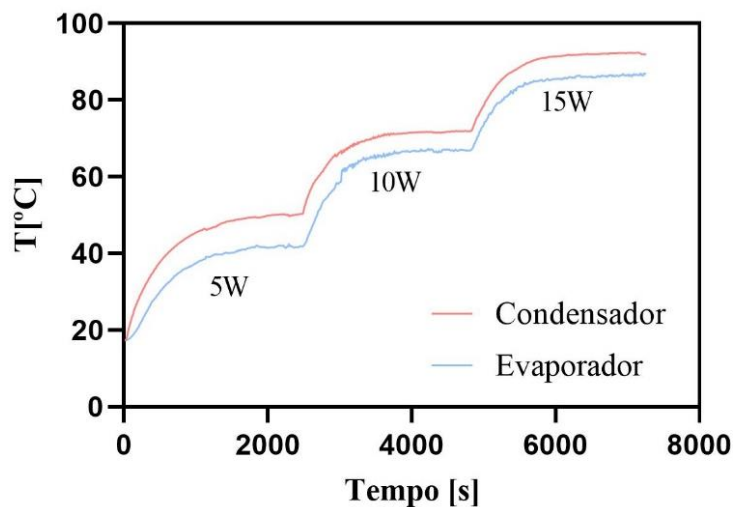
Os sensores de temperaturas serão conectados ao sistema de aquisição de dados. Serão montados dois circuitos, formados cada um por um painel solar fotovoltaico e um conjunto de resistências elétricas. Os módulos medidores de tensão serão conectados aos dois circuitos. O *Arduino™* será ligado aos módulos medidores de tensão e ao *laptop* o qual registrará os dados a serem avaliados juntos com as informações obtidas pelo piranômetro e pelo sistema de aquisição de dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como mencionado anteriormente, antes da pandemia do vírus SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19, foi possível a execução de testes experimentais para determinação do desempenho térmico de termostatos com e sem aletas que serão aplicados no controle térmico de painéis solares fotovoltaicos.

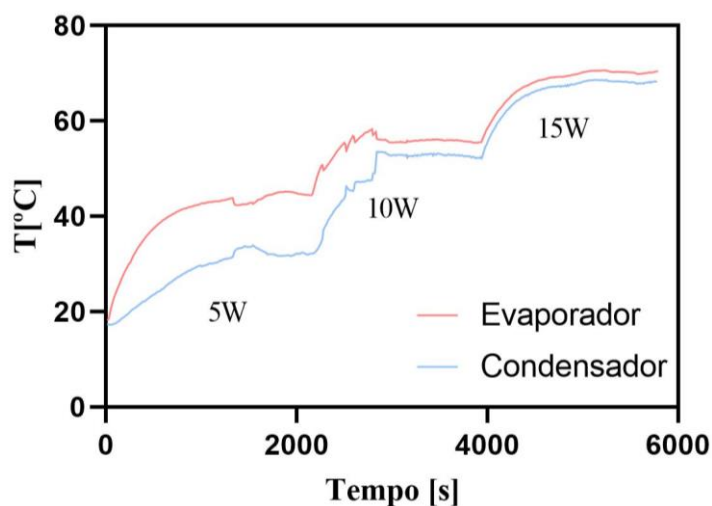
Nesse contexto, avaliando os dados obtidos nesses experimentos, foi possível perceber que as temperaturas, após se estabilizarem e adquirirem caráter *quasi* estacionário em cada uma das potências dissipadas nas resistências elétricas, são maiores para o termostato não aletado (Figura 3) se comparadas às temperaturas do termostato aletado (Figura 4).

Figura 3 – Distribuição de temperaturas para o termossifão não aletado



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 4 – Distribuição de temperaturas para o termossifão aletado



Fonte: Autoria própria (2020).

As temperaturas médias da região adiabática (temperatura de operação), obtidas entre a região do condensador e evaporador, dos dois termossifões operando sob mesmas condições são apresentadas na Tabela 1. Essas temperaturas podem ser usadas para uma comparação entre os dois dispositivos passivos de transferência de calor.

Tabela 1 – Temperatura de operação para o termossifão aletado e não aletado.

Termossifão	Temperatura de operação [°C]		
	5W	10W	15W
Aletado	38,6	55,0	69,4
Não aletado	47,0	70,6	91,0

Fonte: Autoria própria (2020).

Pode ser notado que o termossifão aletado apresentou menores valores de temperatura de operação que o termossifão não aletado para todos os valores de potência dissipada. Uma vez que o intuito do termossifão analisado é o arrefecimento de uma superfície, pode ser verificado que o termossifão aletado possui melhor desempenho, justificando então o uso de aletas em seu condensador.

## CONCLUSÕES

Nesse projeto de iniciação científica, foi realizada uma análise térmica experimental de um termossifão aletado e outro não aletado com objetivo de utilização no controle térmico de painéis solares fotovoltaicos. Foram executados testes experimentais com potências variadas e com orientação de 25° da horizontal (latitude da cidade de Ponta Grossa/PR). O fluido de trabalho foi água destilada. Com os resultados obtidos, foi notado que os termossifões operaram da forma desejada para as condições propostas. Além disso, o termossifão aletado obteve melhor desempenho térmico que o condensador não aletado, comprovando a eficácia da aplicação da aleta e justificando seu uso.

Foram limitados, pela condição de pandemia do SARS-CoV-2 (causador da COVID-19) enfrentada a partir de março de 2020, os testes experimentais dos termossifões acoplados aos painéis solares fotovoltaicos com objetivo de analisar as trocas térmicas entre os sistemas e a influência da perda de temperatura na potência gerada em comparação a um painel solar fotovoltaico de mesmas características, mas sem adição de um sistema de arrefecimento assistido pela tecnologia de termossifões.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da UTFPR, 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 UTFPR/Câmpus Ponta Grossa.

## REFERÊNCIAS

AKBARZADEH, A.; WADOWSKI, T. Heat pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation. **Applied Thermal Engineering**, v. 16, n. 1, p. 81-87, jan. 1996.

ANTONINI ALVES, T.; KRAMBECK, L.; SANTOS, P. H. D. Heat pipe and thermosyphon for thermal management of thermoelectric cooling. *In*: ARANGUREN, P. (org.). **Bringing thermoelectricity into reality**. London: InTech, 2018. p. 353-374.

REAY, D. A.; KEW, P. A.; MCGLEN, R. J. **Heat pipes: theory, design and applications**. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2013.

KRAMBECK, L.; NISHIDA, F. B.; AGUIAR, V. M.; SANTOS, P. H. D.; ANTONINI ALVES, T. Thermal performance evaluation of different passive devices for electronics cooling. *Thermal Science*, v. 23, p. 1151-1160, 2019.

MANTELLI, M. B. H. Thermosyphon technology for industrial applications. *In: VASILIEV, L. L.; KAKAÇ, S. (orgs.). Heat pipes and solid sorption transformations: fundamentals and practical applications.* Boca Raton: CRC Press, 2013. p. 411-464.