

Aplicação de termossifões para controle térmico de um painel solar fotovoltaico

Thermosyphons application for thermal control of a photovoltaic solar panel

RESUMO

Pedro Leineker Ochoski Machado
pedmac@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Thiago Antonini Alves
antonini@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Um termossifão é um tubo de calor assistido por gravidade usado para melhorar a transferência de calor em várias aplicações. Neste trabalho, uma análise térmica de um termossifão aletado para aplicações em controle térmico de painéis fotovoltaicos foi realizada de forma experimental. O termossifão foi fabricado a partir de um tubo de cobre com o diâmetro externo de 9,45 mm, o diâmetro interno de 7,35 mm e um comprimento total de 500 mm. O fluido de trabalho usado foi água com uma taxa de enchimento de 50% do volume do evaporador. O condensador foi resfriado por convecção natural a ar, a seção adiabática foi isolada com fibra de vidro e o evaporador foi aquecido por um resistor elétrico. Testes experimentais foram realizados para uma carga de calor de 5 a 15 W em uma posição a 25° da horizontal (evaporador acima do condensador). Como resultado da pesquisa, o termossifão operou satisfatoriamente para a posição testada. Além disso, o termossifão aletado obteve melhor desempenho térmico que o condensador não aletado, comprovando a eficácia da aplicação da aleta.

PALAVRAS-CHAVE: Aletas. Análise térmica. Termossifão. Controle térmico.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

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



ABSTRACT

A THERMOSIPHON IS A GRAVITY ASSISTED HEAT PIPE USED TO IMPROVE HEAT TRANSFER IN VARIOUS APPLICATIONS. IN THIS WORK, A THERMAL ANALYSIS OF A FIN THERMOSIPHON FOR THERMAL CONTROL APPLICATIONS OF PHOTOVOLTAIC PANELS WAS EXPERIMENTALLY RESEARCHED. THE THERMOSIPHON WAS MADE FROM A COPPER TUBE WITH AN EXTERNAL DIAMETER OF 9.45 MM, AN INTERNAL DIAMETER OF 7.35 MM AND A TOTAL LENGTH OF 500 MM. THE WORKING FLUID USED WAS WATER WITH A 50% VOLUME EVAPORATOR FILL RATE. THE CONDENSER WAS COOLED BY NATURAL AIR CONVECTION, THE ADIABATIC SECTION WAS INSULATED WITH FIBERGLASS AND THE EVAPORATOR WAS HEATED BY AN ELECTRIC RESISTOR. EXPERIMENTAL TESTS WERE PERFORMED FOR A HEAT LOAD OF 5 TO 15 W AT A POSITION 25° HORIZONTAL (EVAPORATOR ABOVE CONDENSER). AS A RESULT OF THE RESEARCH, THE THERMOSIPHON OPERATED SATISFACTORILY FOR THE POSITION TESTED. IN ADDITION, THE FINNED THERMOSIPHON HAD BETTER THERMAL PERFORMANCE THAN THE NON-FINNED CONDENSER, PROVING THE EFFECTIVENESS OF THE FIN APPLICATION.

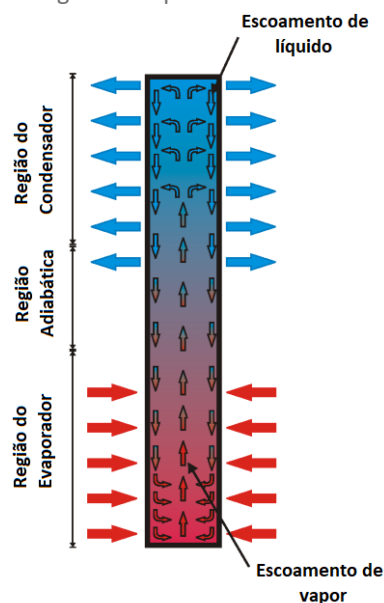
KEYWORDS: Fins. Thermal analysis. Thermosiphon. Thermal control.

INTRODUÇÃO

Um termosifão é um tubo de calor assistido por gravidade usado para melhorar a transferência de calor em várias aplicações (Akbaszadeh; Wadowski, 1996). A característica principal de um termosifão é o uso de calor latente de vaporização para transmitir calor a altas taxas em distâncias consideráveis com pequena diminuição de temperatura. Suas vantagens são flexibilidade, construção simples e fácil controle sem potência de bombeamento externo (Reay; Kew; McGlen, 2014).

Um termosifão possui três regiões com funções distintas em sua operação. Essas regiões são chamadas de evaporador, seção adiabática e condensador. O evaporador, a região inferior do tubo, é aquecido por uma fonte quente e o fluido de trabalho é submetido a um processo de evaporação. O vapor gerado, devido à diferença de pressão, move-se para a região mais fria que se encontra na região superior do tubo (condensador). Nessa região o vapor gerado no evaporador perde energia como calor e é condensado, ocasionando o retorno do fluido de trabalho no estado líquido que flui para o evaporador por gravidade, fechando o ciclo. A seção adiabática está localizada entre o evaporador e o condensador. Nessa seção, não há transferência de calor entre o termosifão e o ambiente. Em alguns casos, a seção adiabática está ausente (Mantelli, 2013). Um diagrama esquemático do princípio de funcionamento do termosifão é mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama esquemático de um termosifão.



Fonte: Adaptado de Aguiar et al., 2018.

Neste contexto, uma análise térmica de um termosifão aletado sob condições de convecção natural foi experimentalmente pesquisada durante este trabalho de iniciação científica visando o controle térmico de um painel fotovoltaico.

METODOLOGIA

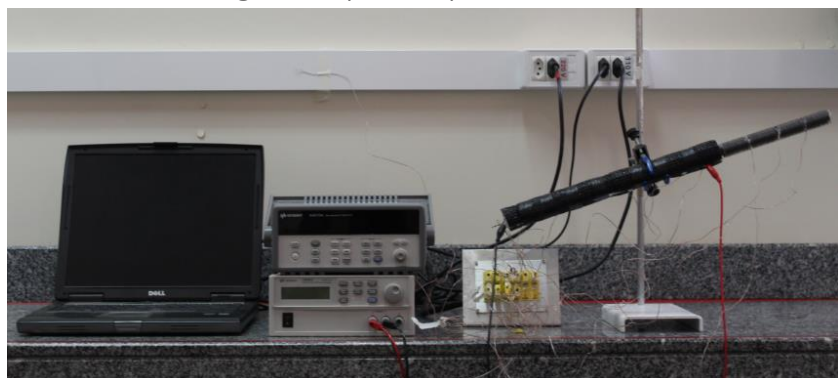
Um tubo de cobre ASTM B-75, Liga 122, com um diâmetro externo de 9,45 mm, um diâmetro interno de 7,35 mm e um comprimento de 500 mm foi usado para fabricação do termossifão. Este dispositivo passivo de transferência de calor tem um evaporador de 310 mm de comprimento, uma região adiabática de 20 mm de 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 de fabricação do termossifão (limpeza, montagem, teste de estanqueidade, processo de evacuação e preenchimento com o fluido de trabalho), ensaios experimentais e análise térmica do termossifão aletado foi realizada levando em consideração as informações contidas na literatura (Aguiar, 2016; Krambeck et al., 2018; Santos et al., 2017).

Tratando-se do aparato experimental, esse é apresentado na Figura 2 e é composto por uma fonte de alimentação *Agilent™ U8002A*, um sistema de aquisição de dados *Agilent™ 34970A* com um multiplexador de 20 canais *Agilent™ 34901A*, um *laptop Dell™* e um suporte universal com garra.

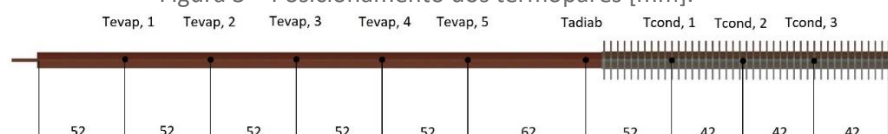
Para a avaliação do desempenho térmico do termossifão aletado, foram utilizados termopares do tipo K *Omega Engineering™*. Eles foram fixados na superfície externa do tubo por uma fita adesiva termossensível *Kapton™*. Como mostrado na Figura 4, foram utilizados cinco termopares no evaporador ($T_{\text{evap},1}$, $T_{\text{evap},2}$, $T_{\text{evap},3}$, $T_{\text{evap},4}$ e $T_{\text{evap},5}$), um termopar na seção adiabática (T_{adiab}) e três termopares no condensador ($T_{\text{cond},1}$, $T_{\text{cond},2}$ e $T_{\text{cond},3}$). O termossifão foi mantido em uma orientação de 25° em relação à horizontal.

Figura 2 – Aparato Experimental.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3 – Posicionamento dos termopares [mm].



Fonte: Autoria própria.

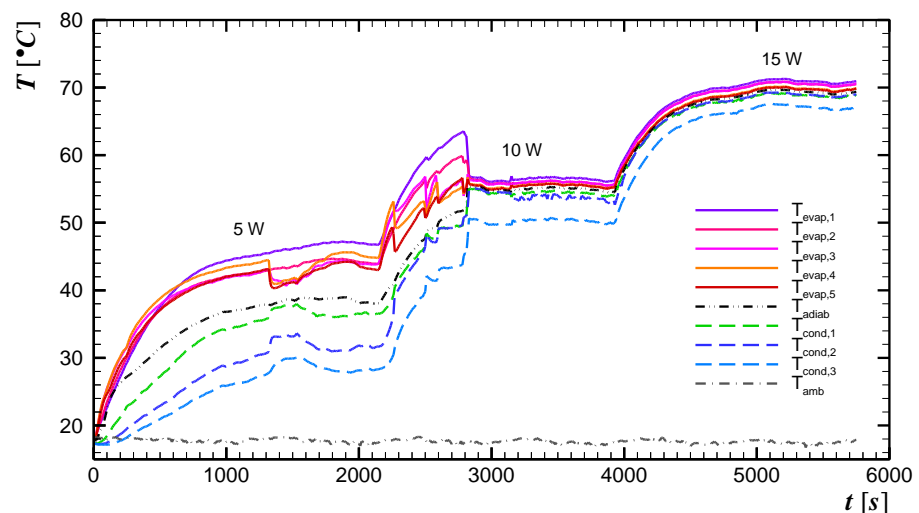
Para garantir os melhores resultados e a repetibilidade dos testes experimentais, a temperatura ambiente foi mantida em $17,0^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ por um sistema de condicionamento térmico de ambiente *RhemmTM*. O termossifão aletado foi testado na orientação de 25° em relação à horizontal, que corresponde à inclinação utilizada para um painel fotovoltaico na região de Ponta Grossa/PR.

O sistema de aquisição de dados foi ligado e as temperaturas medidas pelos termopares. A fonte de alimentação foi ligada e ajustada para a potência de dissipação desejada. A carga inicial foi de 5 W e, após aproximadamente 30 minutos, os termopares apresentaram valores estacionários. O incremento de carga de 5 W foi feito até 15 W. Os dados foram adquiridos a cada dez segundos, registrados no *laptop* pelo programa computacional *AgilentTM Benchlink Data Logger 3*.

RESULTADOS

A Figura 4 apresenta a distribuição de temperaturas em função do tempo para o termossifão aletado enquanto que a Figura 5 apresenta a distribuição de temperaturas em função do tempo para o termossifão não aletado. Pode ser observado que o termossifão aletado apresenta um comportamento mais instável para a primeira potência dissipada em relação ao termossifão não aletado. Isso se deve ao aumento do coeficiente convectivo para o caso aletado, sendo possível perceber que a partir de um instante de tempo o termossifão possui seu comportamento estabilizado e se aproxima do comportamento do termossifão não aletado.

Figura 4 – Distribuição de temperaturas em função do tempo para o termossifão aletado.

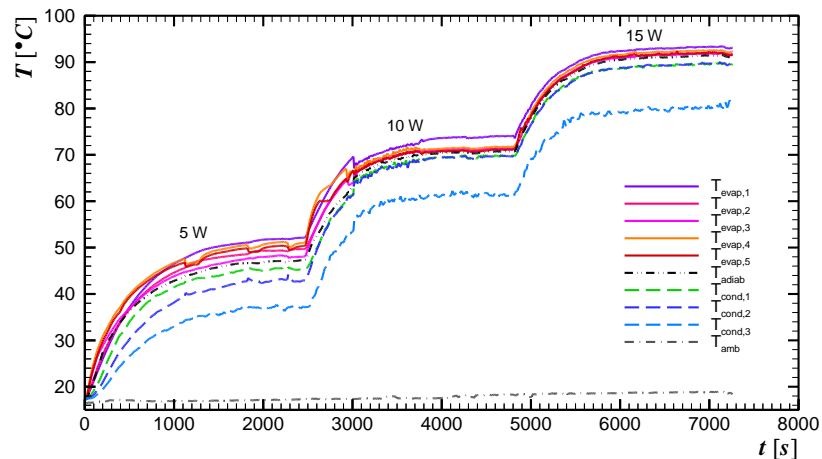


Fonte: Autoria própria.

Apesar disso, é possível perceber também que as temperaturas de regime estacionárias obtidas para as partes do termossifão aletado foram menores do que as temperaturas do termossifão não aletado para as três potências dissipadas, chegando a temperaturas máximas de aproximadamente $46,8^{\circ}\text{C}$, $56,4^{\circ}\text{C}$ e $70,9^{\circ}\text{C}$ para as potências dissipadas de 5 W, 10 W e 15 W, respectivamente, ao passo que o termossifão não aletado apresentou temperaturas máximas de aproximadamente $51,8^{\circ}\text{C}$, $73,9^{\circ}\text{C}$ e $92,9^{\circ}\text{C}$ para as potências dissipadas de 5 W, 10

W e 15 W, respectivamente. Levando em consideração o fato de que os termossifões serão utilizados para resfriar um painel fotovoltaico, o termossifão aletado apresenta melhor desempenho devido ao fato de conseguir dissipar a mesma quantidade de energia que o termossifão não aletado, porém mantendo menor temperatura de operação.

Figura 5 – Distribuição de temperaturas em função do tempo para o termossifão não aletado.



Fonte: Autoria própria.

Para acoplar os termossifões na superfície do painel fotovoltaico foi desenvolvida uma estrutura de alumínio, composta por 6 barras chatas de alumínio contendo furos que permitam a passagem dos termossifões por seu interior. As barras foram usinadas de forma a ficarem todas com as mesmas dimensões, além de se obter um bom acabamento superficial de forma a reduzir a resistência de contato entre as barras e o painel, aumentando assim a quantidade de calor trocada entre esses.

As barras foram posicionadas na parte traseira do painel fotovoltaico utilizando-se de pasta térmica para reduzir a resistência de contato entre as superfícies. Posteriormente, essas foram fixadas no painel utilizando-se de um silicone para elevadas temperaturas. Feito isso, os termossifões foram inseridos no sistema, tendo sua seção correspondente ao evaporador em contato com as barras de alumínio e seu condensador aletado em contato com o ar ambiente. A configuração final pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Configuração final do sistema painel fotovoltaico - termossifões



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise térmica de um termossifão aletado para aplicações de controle térmico de painéis fotovoltaicos. Testes experimentais foram realizados para uma carga de calor de 5 a 15W orientado a 25º da horizontal. O fluido de trabalho era água. Como resultado da pesquisa, o termossifão operou satisfatoriamente para a posição testada. 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 para a operação desejada. Como continuação do trabalho, deve-se colocar o sistema integrado entre termossifão e painel em operação comparando-o com um painel de mesmas características sem sistema de arrefecimento, podendo verificar a influência do arrefecimento na temperatura média do painel e também em sua potência gerada.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados ao CNPq, 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

- A. Akbaszadeh, T. Wadowski, Heat Pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation, Applied Thermal Engineering, Vol. 16, pp. 81-87, 1996.
- D.A. Reay, P.A. Kew, RJ McGlen, Heat Pipe: Theory, Design and Applications, Butterworth-Heinemann, Amsterdam, NED, 2014.
- L. Krambeck, F.B. Nishida, V.M. Aguiar, P.H.D. Santos, T. Antonini Alves, Thermal performance evaluation of different passive devices for electronics cooling, Thermal Science, in press, 2018.
- P.H.D Santos, K.A.T. Vicente, L.S. Reis, L.S. Marquardt, T. Antonini Alves, Modeling and experimental tests of a copper thermosyphon, Acta Scientiarum. Technology (online), Vol. 39, pp 59-68, 2017.
- V.M. Aguiar, Influence of filling ratio and inclination angle on thermal performance of thermosyphons, 2016. Graduation work, Federal University of Technology – Paraná, Ponta Grossa, Brazil (in Portuguese).
- V. M. AGUIAR et al. Thermal analysis of a finned thermosyphon for heat exchanger applications. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v. 5, n. 1, 2018.