



TESTES EXPERIMENTAIS DE UM TERMOSSIFÃO PARA APLICAÇÃO EM COLETOR SOLAR DE TUBO À VÁCUO DE ALTA PRESSÃO

Guilherme Antonio Bartmeyer, gabartmeyer@hotmail.com
Pedro Leineker Ochoski Machado, pedmac@alunos.utpfr.edu.br
Carlos Henrique Diedrich, chd145@hotmail.com
Paulo Henrique Dias dos Santos, psantos@utfpr.edu.br
Thiago Antonini Alves, antonini@utfpr.edu.br

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Câmpus* Ponta Grossa, Av. Monteiro Lobato, s/n - Jardim Carvalho, Ponta Grossa/PR, 84016-210

Resumo. *Coletores solares são dispositivos que aproveitam da irradiação solar para aquecer um fluido de trabalho. Um aprimoramento impactante em coletores solares é a utilização de sistemas de tubos à vácuo, que permite menores perdas de calor por condução e por convecção. A aplicação de termossifões em coletores solares de tubo à vácuo representa uma melhoria nas propriedades térmicas do coletor solar, aumentando significativamente sua eficiência. Neste trabalho foi realizado um estudo experimental da influência da inclinação de trabalho em um termossifão comercial para aplicação em coletores solares de tubo à vácuo de alta pressão. O termossifão possui comprimento de evaporador de 1.700 mm, diâmetro de evaporador e de seção adiabática de 8,2 mm, comprimento de seção adiabática de 40 mm, comprimento de condensador de 60 mm e diâmetro de condensador de 14,1 mm. O condensador foi arrefecido por convecção forçada de água. O evaporador foi aquecido utilizando um resistor elétrico. O termossifão foi testado com o condensador acima do evaporador nas posições vertical e 25° em relação a horizontal. As cargas térmicas foram aplicadas em um passo de 25 W até estabilização próxima a 105°C. Os resultados experimentais mostram que a inclinação de trabalho de 25° do dispositivo apresenta maior taxa de transferência de calor.*

Palavras chave: *Coletor solar. Vácuo. Alta pressão. Termossifão. Inclinação de trabalho. Experimental.*

1. INTRODUÇÃO

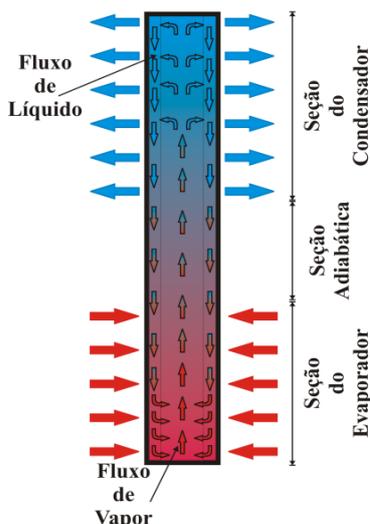
De acordo com Espírito Santo (2017), coletores solares são dispositivos que utilizam energia solar para o aquecimento de água a partir do aquecimento de um fluido de trabalho tendo construção especificada pelas normas ABNT NBR 15747:2008 (*Sistemas Solares Térmicos e seus Componentes: Coletores Solares*) e NBR 15569:2008 (*Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto: Projeto e Instalação*). A energia solar viável para o funcionamento de tais dispositivos é a irradiação global horizontal, taxa de calor recebida por radiação por uma superfície horizontal na superfície terrestre (ABES, 2017).

Segundo Kalogirou (2003), coletores solares de tubo à vácuo de alta pressão consistem em um tubo de calor e/ou termossifão dentro de um tubo de vácuo selado, utilizando de uma superfície otimizada para a absorção de irradiação solar e de um mecanismo para a diminuição dos efeitos de convecção e condução na perda de calor do dispositivo. Chun *et al.* (1999) destacam o impacto do uso de tubos de calor e/ou termossifões em coletores solares, ressaltando as propriedades de altas taxas de troca térmica em pequenos gradientes e em pequenas seções, mostrando o impacto de diferentes formatos, tipos, fluidos de trabalho no desempenho dos dispositivos passivos de transferência de calor em coletores solares.

Termossifões são também conhecidos por tubos de calor assistidos pela gravidade, consistindo em um invólucro e um fluido de trabalho. A função do invólucro é conter o fluido de trabalho que muda de fase dentro do termossifão, realizando as trocas de calor em baixos gradientes de temperatura (Reay *et al.*, 2014). A Figura 1 apresenta um termossifão, evidenciando suas seções e fluxo de calor.

Krambeck *et al.* (2018) concluíram em seu trabalho que a inclinação influencia de forma impactante o funcionamento de tubos de calor e termossifões, mudando sua eficiência térmica, tornando necessário o estudo da otimização de inclinação destes dispositivos passivos de transferência de calor.

Figura 1. Princípio de funcionamento de um termossifão (Krambeck *et al.*, 2018)

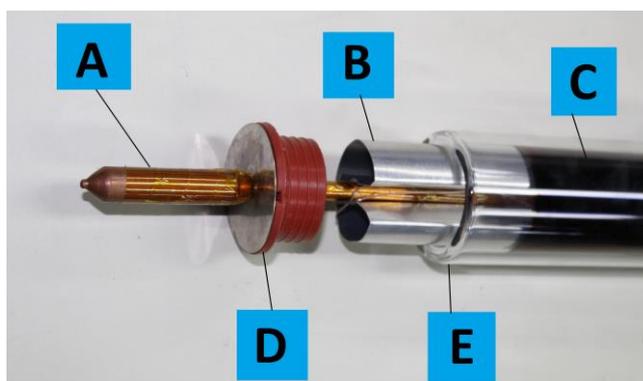


No presente trabalho foi realizado um estudo experimental do comportamento térmico de um termossifão comercial para aplicação em coletores solares de tubo à vácuo de alta pressão operando em duas inclinações diferentes: vertical e inclinado em 25° em relação à horizontal.

2. CARACTERÍSTICAS DO TERMOSSIFÃO

O termossifão analisado no presente estudo experimental é de origem comercial, desenvolvido para utilização como mostrado na Figura 2. Durante o funcionamento, o sistema opera absorvendo irradiação solar no interior do tubo a vácuo (C), o calor absorvido é transmitido da parede de vidro para o tubo de calor por uma aleta metálica (B) e o calor é dissipado do condensador (A) para os dutos de circulação em um *manifold*. Um anel centralizador (D) e tubos concêntricos de borosilicato (E) são utilizados para garantir melhor eficiência do sistema.

Figura 2. Composição de um coletor solar de tubo evacuado



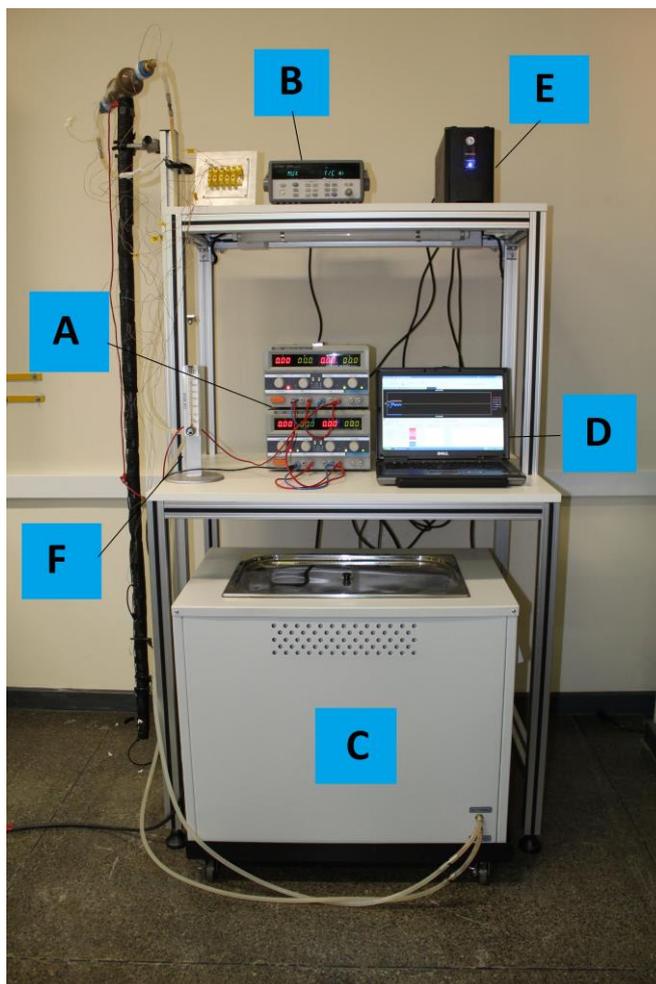
O termossifão apresentando tem comprimento total de 1.800 mm, possuindo seção de evaporador com 1.700 mm de comprimento e diâmetro externo de evaporador de 8,2 mm, seção adiabática com 40 mm de comprimento e diâmetro externo de 8,2 mm e seção de condensador com comprimento de 60 mm e diâmetro externo de 14,1 mm. O material do qual o tubo é composto, fluido de trabalho, razão de preenchimento e diâmetros internos são desconhecidos.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1. Aparato Experimental

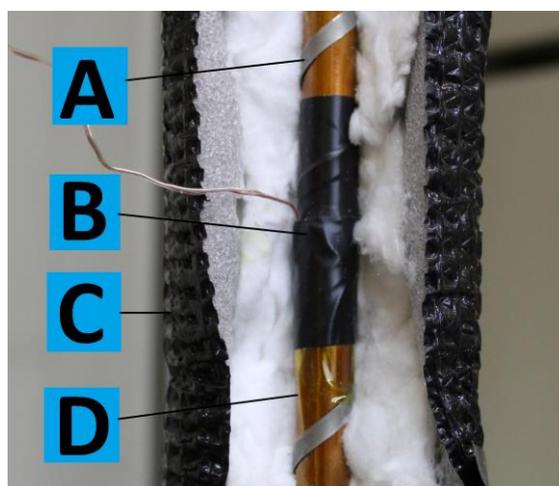
O aparato experimental utilizado neste estudo é apresentado na Figura 3 e foi composto por duas fontes de alimentação *Politerm*TM16E (A), um sistema de aquisição de dados *Agilent*TM 34970A com multiplexador de 20 canais (B), um banho ultratermostatizado *SOLAB*TM SL-130 (C), um microcomputador portátil *Dell*TM (D), um *nobreak NHS*TM (E) e um rotâmetro de área variável *Omega Engineering*TM FL-2051 com válvula reguladora (F).

Figura 3. Aparato experimental



A Figura 4 apresenta a seção de testes do termossifão aberta, podendo observar que o termossifão foi protegido por fita termossensível *Kapton*TM (D), a irradiação solar foi simulada utilizando uma fita resistiva de liga de níquel-cromo *Omega Engineering*TM enrolada na região do evaporador (A), todas as regiões do termossifão foram protegidas com isolamento térmico aeronáutico e uma camada de poliuretano (C), os dados de temperatura foram obtidos utilizando termopares do tipo K *Omega Engineering*TM fixados por fitas termossensível *Kapton*TM e isolante *3M*TM (B).

Figura 4. Composição de um coletor solar de tubo evacuado



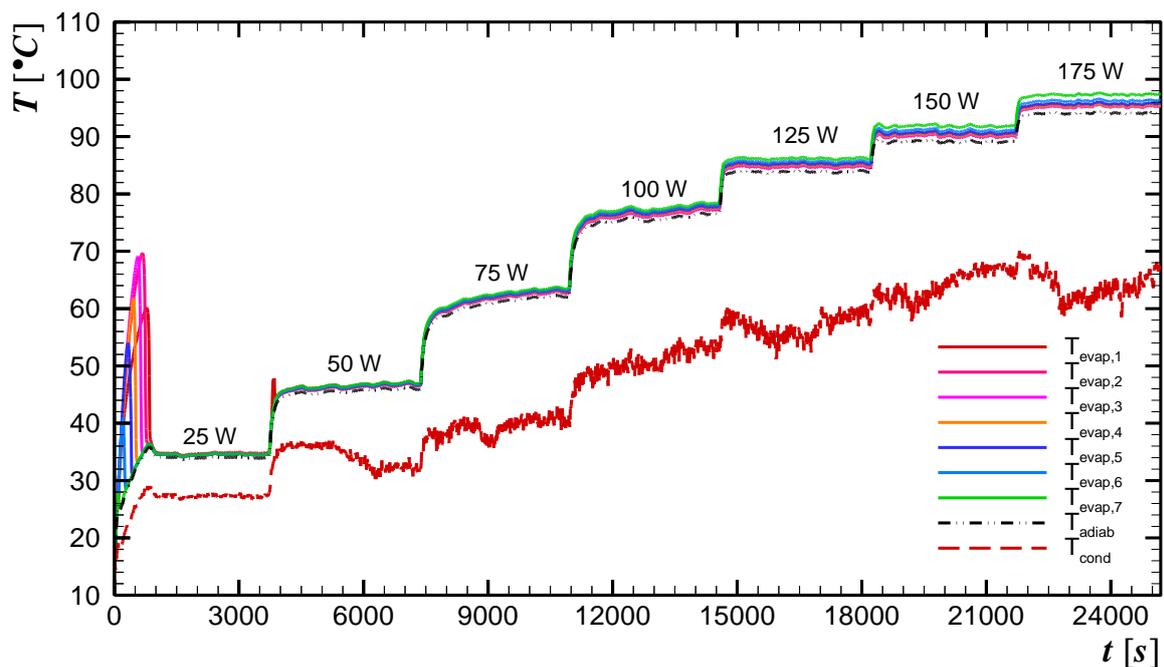
3.2. Procedimento Experimental

O arrefecimento foi feito por um escoamento de água fornecido pelo banho ultratermostatizado a uma temperatura de $16,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e vazão volumétrica de $1,3\text{ L/min}$, medido pelo rotâmetro de área variável e transportado por mangueiras de silicone. A temperatura ambiente foi mantida por um sistema de ar condicionado *Rhemm*TM em $16,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, buscando igualar a temperatura do banho ultratermostatizado. O termossifão foi fixado na bancada por meio de garras, possibilitando diferentes configurações de inclinação. Os ensaios ocorreram em 25° (correspondendo a latitude da cidade de Ponta Grossa/PR: $25^{\circ} 05' 42''$ Sul) e 90° (vertical com a região do condensador para cima). As cargas térmicas foram obtidas por meio do efeito *Joule* através da fita resistiva utilizando as fontes de potência para controlar a potência. Os ensaios foram realizados alterando as cargas térmicas de 25 W até 125 W para o termossifão a 90° e de 25 W até 175 W para o termossifão a 25° , ambos variando a potência com um passo de 25 W . A permanência em cada potência foi de 60 minutos, de forma que o regime *quasi* permanente fosse obtido. Os dados foram registrados a cada 10 segundos pelo *software Agilent*TM *Benchlink Data Logger 3*. A avaliação destes dados posteriormente permitiu o estudo do desempenho térmico do termossifão em diferentes posições.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

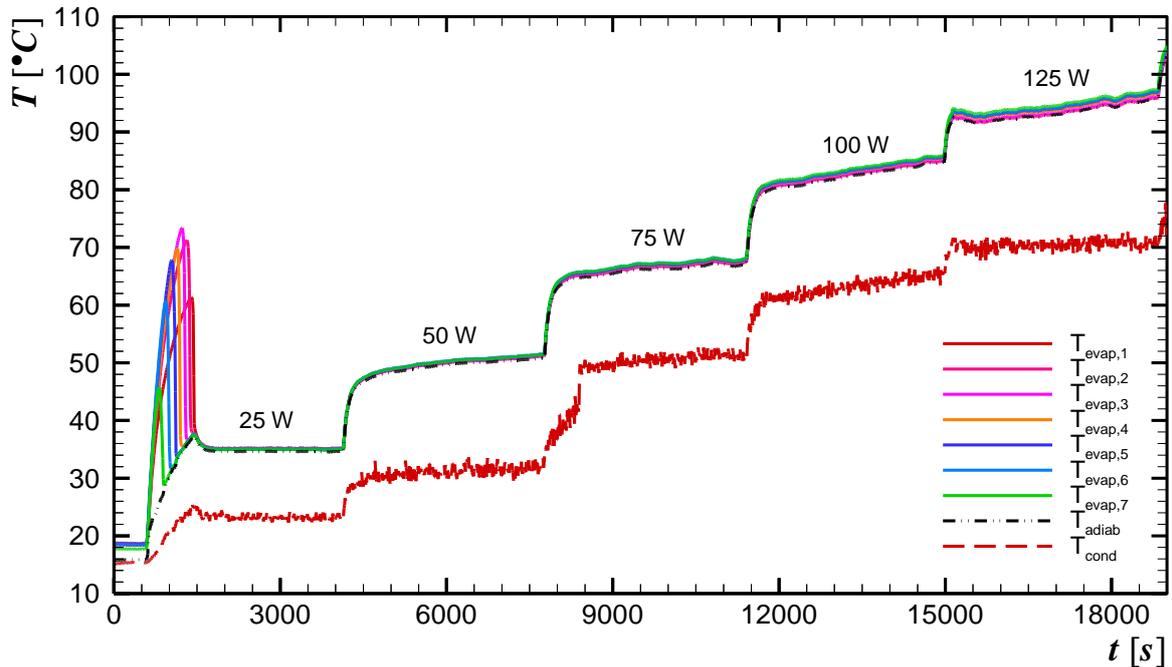
Os resultados experimentais mostram o desempenho de um termossifão comercial para aplicação em coletores solares de tubo à vácuo de alta pressão em duas configurações de inclinação: vertical (90°) e inclinado (25°). Os testes experimentais foram realizados variando as cargas térmicas até temperaturas próximas a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ – temperatura de segurança para operação do isolamento utilizado. A Figura 5 apresenta a distribuição de temperaturas no termossifão na configuração de inclinação 25° durante o ensaio com potência variando de 0 W até 175 W em um passo de 25 W .

Figura 5. Distribuição de temperaturas no termossifão na configuração 25°



A Figura 6 apresenta a distribuição de temperaturas no termossifão na configuração de inclinação 90° durante o ensaio com potência variando de 0 W até 125 W com um passo de 25 W .

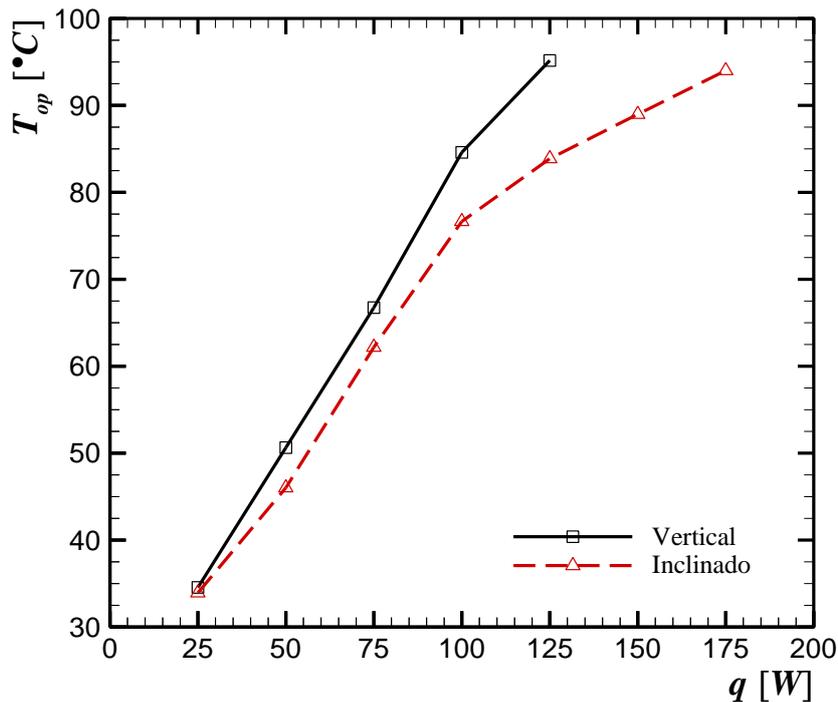
Figura 6. Distribuição de temperaturas no termossifão na configuração 90°



Dos gráficos de distribuição de temperatura apresentados para as diferentes inclinações, é possível observar uma maior transferência de calor do dispositivo na configuração de inclinação de 25° em relação à horizontal para as mesmas temperaturas de trabalho.

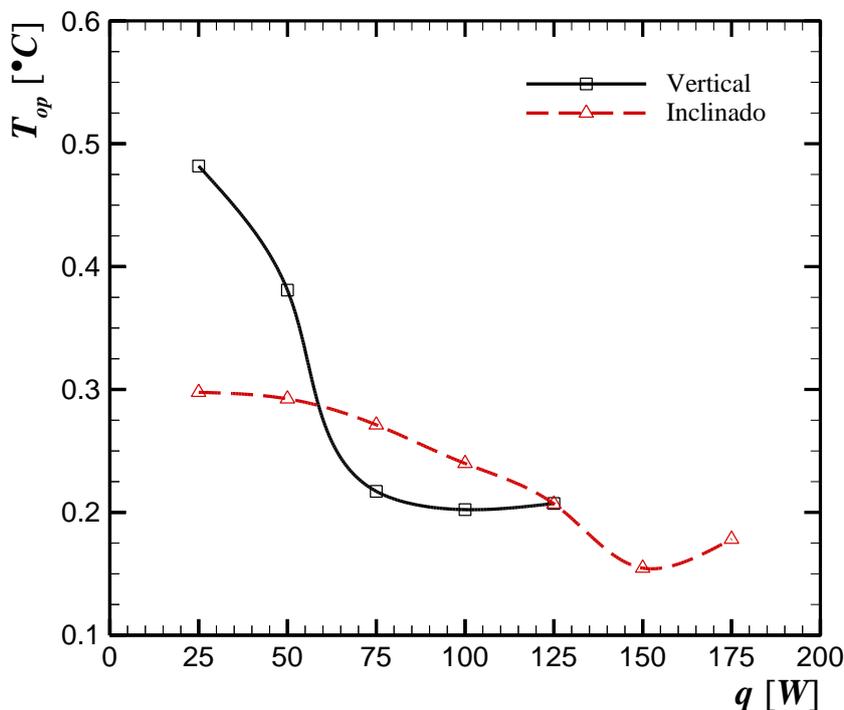
A Figura 7 apresenta o comportamento das temperaturas de operação do termossifão em relação a potência dissipada, comparando o desempenho do termossifão nas duas configurações de inclinação. Pode ser notado que o termossifão na posição de 25° em relação à horizontal apresentou maior capacidade de transferência de calor para todas as cargas térmicas utilizadas neste trabalho.

Figura 7. Temperatura de operação *versus* potência dissipada pelo dispositivo em diferentes configurações de inclinação



A Figura 8 apresenta o comportamento das resistências térmicas do termossifão nas duas configurações de operação em função da potência dissipada.

Figura 8. Resistência térmica *versus* potência dissipada pelo dispositivo em diferentes configurações de inclinação



Com o auxílio da Figura 8 é possível comparar a estabilidade de funcionamento do dispositivo nas configurações de inclinação estudadas, concluindo que o dispositivo na inclinação 25° apresenta uma resistência térmica de operação reduzida a baixas temperaturas e mais constante em relação a variação de potência do que o dispositivo na inclinação 90°, que apresenta uma baixa resistência térmica em um pequeno intervalo de cargas térmicas.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma avaliação experimental do desempenho de um termossifão comercial para coletores solares de tubo à vácuo de alta pressão operando em duas configurações de inclinação. O termossifão posicionado em 25° em relação a horizontal apresentou melhor desempenho térmico, obtendo maior taxa de transferência de calor e menor resistência térmica para as mesmas temperaturas de trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Espírito Santo, M., 2017. *Concepção e testes experimentais de um coletor solar assistido por termossifões*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- ABES, 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar, LABREN / CCST / INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)
- Chun, W. et al., 1999. "An experimental study of the utilization of heat pipes for solar water heaters". *Applied Thermal Engineering*, Vol. 19, p. 807-817.
- Kalogirou, S., 2003. "The potential of solar industrial process heat applications". *Applied Energy*, Vol. 76, p. 337-361.
- Reay, D.A., Kew, P.A., McGlen, R.J., 2014. *Heat Pipe: Theory, Design and Applications*. Butterworth-Heinemann, Amsterdam.
- Krambeck, L., Santos, P.H.D., Antonini Alves, T., 2018. "Influência da Inclinação no Desempenho Térmico de um Tubo de Calor com Tela Metálica". Anais do X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2018. Salvador, Brasil.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.