

# INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO E DA INCLINAÇÃO DO TERMOSSIFÃO EM SEU DESEMPENHO TÉRMICO

Felipe Mercês Biglia (UTFPR/Ponta Grossa)

Gedley Kunan Stremel (UTFPR/Ponta Grossa)

Felippe de Marco (UTFPR/Ponta Grossa)

Larissa Krambeck (UTFPR/Ponta Grossa)

Thiago Antonini Alves (UTFPR/Ponta Grossa) E-mail: thiagoaalves@utfpr.edu.br

**Resumo:** Neste trabalho foi executada uma investigação experimental da influência do diâmetro e da inclinação no desempenho térmico de termossifões de cobre ASTM B-75 liga 122 com comprimento total de 250 mm. Os diâmetros externos analisados foram de 9,45 mm e de 12,70 mm. O fluido de trabalho foi água deionizada com razão de preenchimento de 60% do volume do evaporador. Os testes experimentais foram executados nas posições com ângulos de 45° e 90° em relação ao plano horizontal sob cargas térmicas entre 5 W e 45 W correspondendo a fluxos térmicos variando de 1,25 kW/m<sup>2</sup> até 11,75 kW/m<sup>2</sup>. Os resultados experimentais do desempenho térmico dos termossifões indicaram que, dentro da faixa de operação considerada, eles operaram satisfatoriamente. Independentemente da inclinação de trabalho, o termossifão com maior diâmetro apresentou um melhor desempenho térmico do que o termossifão com menor diâmetro. Além disso, independentemente do diâmetro do termossifão, os melhores resultados foram encontrados na posição com ângulo de 45° em relação ao plano horizontal.

**Palavras-chave:** Termossifão, Diâmetro, Inclinação, Desempenho Térmico, Experimental.

## *INFLUENCE OF THERMOSYPHON DIAMETER AND INCLINATION ON ITS THERMAL PERFORMANCE*

**Abstract:** In this research it was performed an experimental investigation of the diameter and the inclination influence on thermal performance of ASTM B-75 alloy 122 copper thermosyphons with total length of 250 mm. The analyzed outside diameters were 9.45 mm and 12.70 mm. The working fluid was deionized water with filling ratio of 60% of the evaporator volume. The experimental tests were performed in 45° and 90° positions to the horizontal plane under thermal loads between 5W and 45W corresponding to heat fluxes ranging from 1.25 kW/m<sup>2</sup> to 11.75 kW/m<sup>2</sup>. The experimental results of the thermosyphons thermal performance indicated that, within the considered operation range, they operated satisfactorily. Regardless of the work inclination, the thermosyphon with the largest diameter had a better thermal performance than the thermosyphon with the smaller diameter. In addition, regardless of the thermosyphon diameter, the best results were found at the position with a 45° to the horizontal plane.

**Keywords:** Thermosyphon, Diameter, Inclination, Thermal Performance, Experimental.

### 1. INTRODUÇÃO

Os termossifões são dispositivos passivos de transferência de calor altamente eficientes que, pela utilização do calor latente de vaporização, transportam grandes quantidades de energia na forma de calor com um pequeno gradiente de temperatura. Estes dispositivos, constituídos por tubo metálico evacuado preenchido por um fluido de trabalho, utilizam a força da gravidade para a circulação do fluido internamente e são aplicados para melhorar a transferência de calor em muitas áreas industriais, tais como: eletroeletrônica, aeroespacial, telecomunicações, entre outras (FAGHRI, 2014).

O termossifão possui três regiões com funções distintas no seu funcionamento, são elas: evaporador, seção adiabática e condensador. O evaporador, a região inferior do termossifão, é aquecida através de uma fonte quente e o fluido de trabalho sofre um processo de evaporação. Esse vapor, por diferença de pressão, se desloca para região mais fria do termossifão (condensador). No condensador, o vapor gerado no evaporador perde energia e é

condensado. O fluido de trabalho no estado líquido retorna ao evaporador, por ação da gravidade, fechando o ciclo termodinâmico. A seção adiabática fica entre o evaporador e o condensador, nesta região não existe troca de calor entre o termossifão e o ambiente e em alguns casos a região adiabática é inexistente (MANTELLI, 2013). Um diagrama esquemático do princípio de funcionamento dos termossifões é apresentado na Figura 1. Maiores informações sobre termossifões podem ser encontradas em Chi (1976), Peterson (1994) e Reay *et al.* (2014).

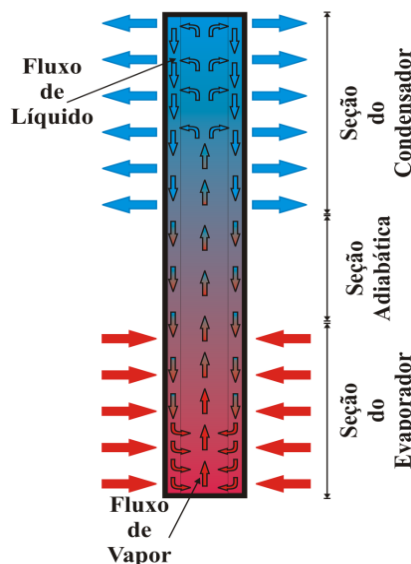


Figura 1 – Diagrama esquemático de um termossifão.

No presente trabalho foi executada uma investigação experimental da influência do diâmetro e da inclinação no desempenho térmico de termossifões, com razão de carregamento de 60% em relação ao volume do evaporador. O fluido de trabalho foi água deionizada. Os diâmetros externos analisados dos termossifões foram de 9,45 mm e de 12,70 mm. Os testes experimentais foram executados nas posições com ângulos de 45° e 90° em relação ao plano horizontal considerando fluxos térmicos entre 1,25 kW/m<sup>2</sup> até 11,75 kW/m<sup>2</sup>.

## 2. FABRICAÇÃO DOS TERMOSSIFÕES

A metodologia utilizada na fabricação dos termossifões (limpeza, montagem, teste de estanqueidade, procedimento de evacuação e carregamento com fluido de trabalho) foi baseada em informações existentes em Nishida *et al.* (2015), Aguiar (2016), Krambeck (2016), Nishida (2016) e Santos *et al.* (2017).

### 2.1 Características dos Termossifões

Os termossifões foram fabricados a partir de tubos de cobre ASTM B75 liga 122 com diâmetros externos de 9,45 mm e 12,70 mm e diâmetros internos de 7,75 mm e 11,00 mm, respectivamente. Os termossifões apresentam um evaporador de 100 mm de comprimento, uma região adiabática de 20 mm de comprimento e um condensador de 130 mm de comprimento, totalizando um comprimento de 250 mm. O fluido de trabalho utilizado foi água deionizada e a razão de preenchimento foi de 60% do volume do evaporador. Na Tabela 1 são apresentadas as principais características dos termossifões e do fluido de trabalho, sendo *M* e *m*, referentes aos termossifões de maior e de menor diâmetro, respectivamente.

Tabela 1 – Principais características dos termossifões.

Características	<i>m</i>	<i>M</i>
Diâmetro interno [mm]	7,75	11,00
Diâmetro externo [mm]	9,45	12,70
Comprimento do evaporador [mm]	100	
Comprimento da região adiabática [mm]	20	
Comprimento do condensador [mm]	130	
Fluido de trabalho	Água deionizada	
Razão de preenchimento [%]	60	
Volume de fluido de trabalho [mL]	2,26	4,56

## 2.2 Processo de Limpeza dos Componentes dos Termossifões

A limpeza dos termossifões é necessária para garantir a molhabilidade do fluido de trabalho, a eliminação de impurezas e melhorar a qualidade do vácuo (KRAMBECK, 2016). Dessa forma, todos os componentes dos termossifões necessitam estar completamente limpos, antes do carregamento com fluido de trabalho. Para tal, os invólucros, as tampas de fechamento (usinadas a partir de uma barra maciça de cobre ASTM B75 liga 122 com diâmetros de 9,45 mm e 12,7 mm) e os capilares (tubo de cobre ASTM B75 liga 122 com diâmetro interno de 1 mm e com comprimento de 40 mm) foram previamente limpos utilizando acetona, para retirar as maiores sujidades, seguido de uma limpeza com uma solução de ácido sulfúrico com concentração de 10% em volume ( $H_2SO_4$  de 0,1M). Feito isso, os componentes foram acomodados em um banho ultrassônico, permanecendo mergulhados em acetona, para que sejam completamente limpos, durante 30 minutos.

## 2.3 Montagem dos Termossifões

Após a realização da limpeza de seus componentes, os termossifões podem ser propriamente montados. As tampas de fechamento e os capilares foram soldados nas extremidades dos invólucros (tubos de cobre ASTM B75 liga 122) dos termossifões. O processo de soldagem foi efetuado com o auxílio de um ferro de soldar e as diferentes peças foram brasadas utilizando uma liga de estanho como material de adição.

## 2.4 Teste de Estanqueidade nos Termossifões

Para verificar se não houve falha no processo de soldagem, foram realizados testes de estanqueidade utilizando uma bomba de deslocamento positivo manual, um recipiente com água e uma conexão para ligar a bomba ao tubo capilar. Para tal, os termossifões foram inseridos dentro do recipiente contendo água e, com a bomba de deslocamento positivo foi introduzido ar para dentro do tubo. Se houvesse alguma falha, surgiriam bolhas na água, demonstrando que existiam falhas na solda. Caso ocorresse o surgimento de bolhas, o termossifão com defeito deveria ser desmontado, limpo, soldado e testado para a correção da falha no processo de soldagem por abrasão.

## 2.5 Processo de Evacuação nos Termossifões

Primeiramente, os termossifões foram acoplados a uma bomba de vácuo LAB1000™, através do capilar, para o processo de evacuação inicial, com o intuito de remover principalmente líquido remanescente do processo de limpeza. Feito isso, os termossifões foram acoplados a uma bomba de vácuo EOS Value™ i260SV (Figura 2). Para garantir uma conexão sem

vazamentos, silicone foi aplicado nas conexões da mangueira polimérica previamente à realização de vácuo nos tubos. A bomba de vácuo permaneceu em funcionamento por aproximadamente 5 horas. Durante este processo de evacuação, a pressão interna atingida é de 90 mbar (9 kPa) e a temperatura de saturação da água relacionada com essa pressão é aproximadamente 43,74°C. Com o auxílio de um *fórceps*, a mangueira polimérica foi vedada e então, a bomba de vácuo foi desligada.

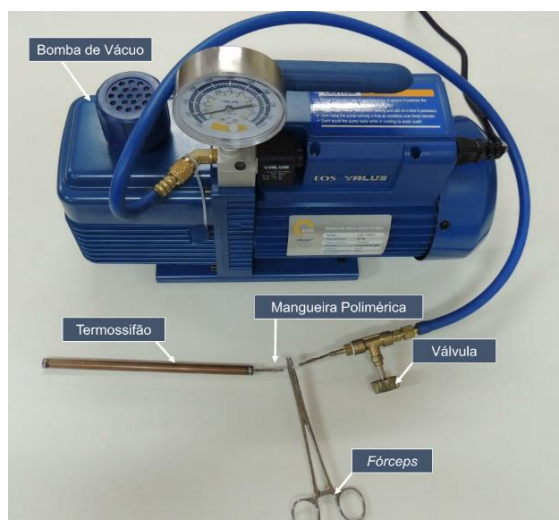


Figura 2 – Bomba de vácuo e termossifão.

## 2.6 Carregamento dos Termossifões com Fluido de Trabalho

Para execução do carregamento dos termossifões com a quantidade de fluido de trabalho desejada, foi desenvolvida uma pequena estação de carregamento composta por um suporte universal com garra, uma bureta graduada com válvula (escala de 0,1 mL) com capacidade de 25 mL e um *fórceps* (Figura 3).

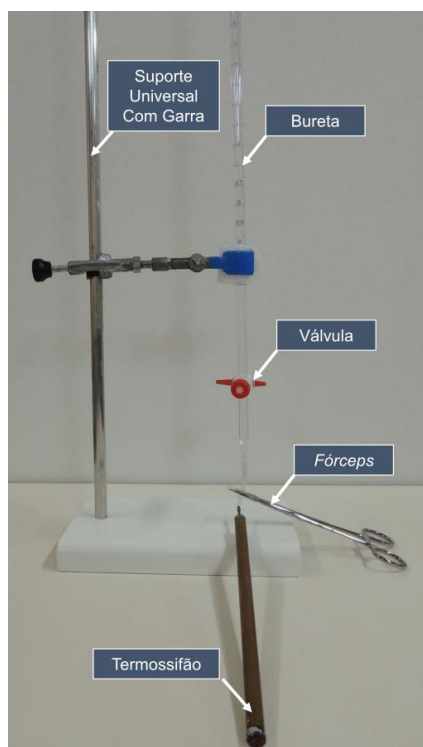


Figura 3 – Estação de preenchimento dos termossifões.

Cada termossifão evacuado foi acoplado à uma mangueira polimérica que faz conexão com a bureta. Feito isso, a mangueira foi pinçada com o *fórceps* para evitar que ar entrasse no termossifão. A bureta estava completamente preenchida com o fluido de trabalho. O próximo passo foi abrir a válvula da bureta cuidadosamente para que não fosse formada nenhuma bolha de ar na tubulação entre a bureta e o termossifão. O *fórceps* foi cuidadosamente aberto para drenar o fluido de trabalho até que o termossifão fosse carregado com 2,26 mL (Termossifão *m*) e 4,56 mL (Termossifão *M*) correspondentes a razão de preenchimento de 60% conforme respectivo diâmetro interno.

Destaca-se que no momento do carregamento, muito cuidado é necessário para que não se perca o vácuo existente dentro dos termossifões. Se isso acontecer, todo o processo de evacuação deve ser realizado novamente. Após o procedimento de carregamento do fluido de trabalho, o *fórceps* foi fechado e, então, o capilar foi conformado com um alicate de pressão e sua extremidade foi soldada para completar o processo de vedação nos termossifões.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 Aparato Experimental

O aparato experimental utilizado nos testes experimentais, mostrado na Figura 4, foi composto por um sistema de aquisição de dados *Agilent™* 34970A com um módulo multiplexador *Agilent™* 34901A com 20 canais, por uma fonte de alimentação *Agilent™* U8002A, por conectores de termopares *Omega™* do Tipo K, por um ventilador *Ultrar™*, por um microcomputador *Dell™*, por um suporte universal com garra e por um *nobreak NHS™*.

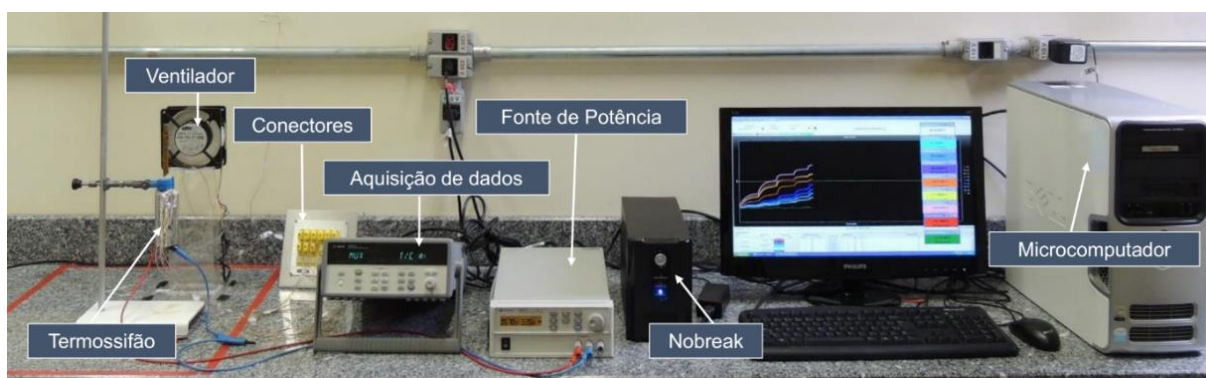


Figura 4 – Bancada experimental para realização de testes.

O aquecimento do evaporador foi executado pela dissipação de potência proveniente da passagem de uma corrente elétrica em uma fita resistiva *Omega™* de liga níquel-cromo de 0,1 mm de espessura e de 3,5 mm de largura. A superfície externa do termossifão foi protegida com fita adesiva termosensível *Kapton™* para que o resistor e os termopares não tivessem contato direto com o tubo de cobre. Para garantir que todo o calor gerado por efeito *Joule* fosse transmitido ao evaporador do termossifão foram instalados nesta região um isolamento térmico aeronáutico, uma camada de polietileno e uma manta térmica refletiva. Uma fita de fibra de vidro foi usada na seção adiabática como um isolante térmico entre a garra do suporte e o termossifão. O sistema de resfriamento por convecção forçada de ar foi constituído pelo ventilador axial *Ultrar™* na região do condensador. Para a avaliação do comportamento térmico dos termossifões foram utilizados termopares *Omega™* do Tipo K (cromel-alumel) fixados na superfície externa dos termossifões utilizando uma fita adesiva termosensível *Kapton™*.

### 3.2 Procedimento Experimental

Para garantir um melhor resultado e a repetitividade dos testes experimentais, a temperatura do ambiente foi mantida em  $20\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$  por um sistema de condicionamento de ambiente York™. Uma verificação minuciosa dos equipamentos do aparato experimental e do termossifão testado (fixação dos termopares, isolamento térmico, conexão da resistência elétrica, entre outros) foi feita antes da execução de cada teste experimental. O termossifão foi cuidadosamente fixado ao suporte universal com garra pela região adiabática e sua posição foi fixada nas posições com ângulos de  $45^\circ$  e  $90^\circ$  em relação ao plano horizontal, com o condensador sempre acima do evaporador, como ilustrado na Figura 5 para o caso de  $90^\circ$  (posição vertical). O ventilador axial foi ligado, corretamente posicionado na região do condensador do termossifão e ajustado a uma velocidade de 5,0 m/s controlada por um potenciômetro e um anemômetro portátil Itan™ 720, com um erro combinado de  $\pm 0,2\text{ m/s}$ . O sistema de aquisição de dados foi, então, ligado e as temperaturas medidas pelos termopares foram verificadas em relação à temperatura ambiente, e, se estas estivessem estáveis e aproximadamente a  $20\text{ °C}$ , finalmente, a fonte de alimentação era ligada e ajustada na dissipação de potência desejada.

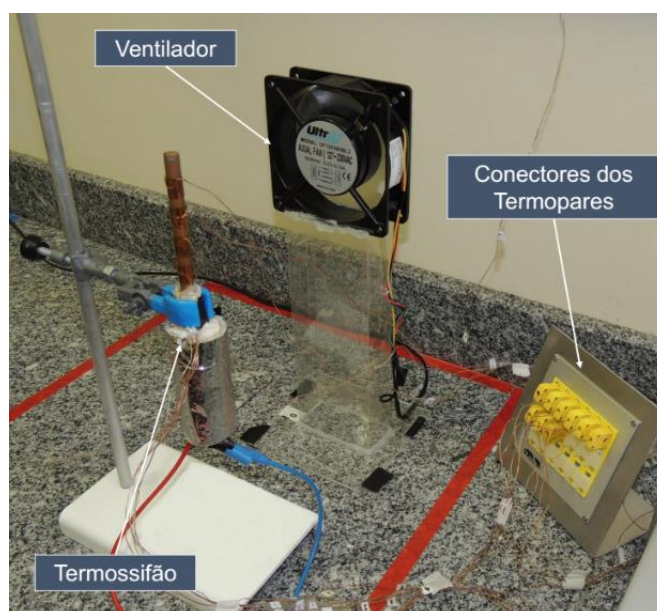


Figura 5 – Termossifão fixado para realização dos testes.

Os testes experimentais foram realizados para cargas térmicas crescentes de 5 W em 5 W, variando até a temperatura máxima no evaporador atingir  $125^\circ\text{C}$ , por questões de segurança. Cada carga térmica foi mantida por 30 minutos, onde a condição de funcionamento de regime *quasi* permanente foi alcançada. Os dados foram registrados a cada 10 segundos pelo sistema de aquisição de dados e gravados no microcomputador Dell™ através do software Agilent™ Benchlink Data Logger 3 e, posteriormente, tratados para avaliação do desempenho térmico dos termossifões.

As incertezas experimentais estão associadas às incertezas dos sensores de temperatura, do sistema de aquisição de dados e da fonte de alimentação e foram apresentadas juntamente com os resultados obtidos. Para a determinação das incertezas da medição da potência elétrica e dos valores das resistências térmicas foi utilizado o método de propagação de erros descrito por Holman (2012).

#### 4. RESULTADOS & DISCUSSÃO

Os resultados experimentais apresentam o comportamento térmico dos termossifões com diferentes diâmetros, Termossifão *m* e Termossifão *M*, operando nas posições com ângulos de 45° e 90° em relação ao plano horizontal, com o condensador sempre acima do evaporador. Os testes experimentais foram repetidos três vezes e os erros foram comparados levando em consideração que a diferença entre as médias dos valores fossem menores que 0,5 °C. Os testes foram realizados para cargas térmicas crescentes de 5 W, variando de 5 W até 45 W, correspondendo a fluxos térmicos variando de 1,25 kW/m<sup>2</sup> até 11,75 kW/m<sup>2</sup>. Por questões de segurança, os testes experimentais foram imediatamente interrompidos quando a temperatura de 125 °C fosse atingida no evaporador dos termossifões. As incertezas experimentais de temperatura foram estimadas em aproximadamente ± 1,5°C e de carga térmica foram ±1%.

As Figuras 6 e 7 apresentam as distribuições de temperatura em função do tempo considerando a posição com o ângulo de 45° em relação ao plano horizontal, para os termossifões com diâmetros de 9,45 mm (Termossifão *m*) e de 12,7 mm (Termossifão *M*), respectivamente. As temperaturas nos termossifões aumentam com o aumento de potência dissipada no evaporador.

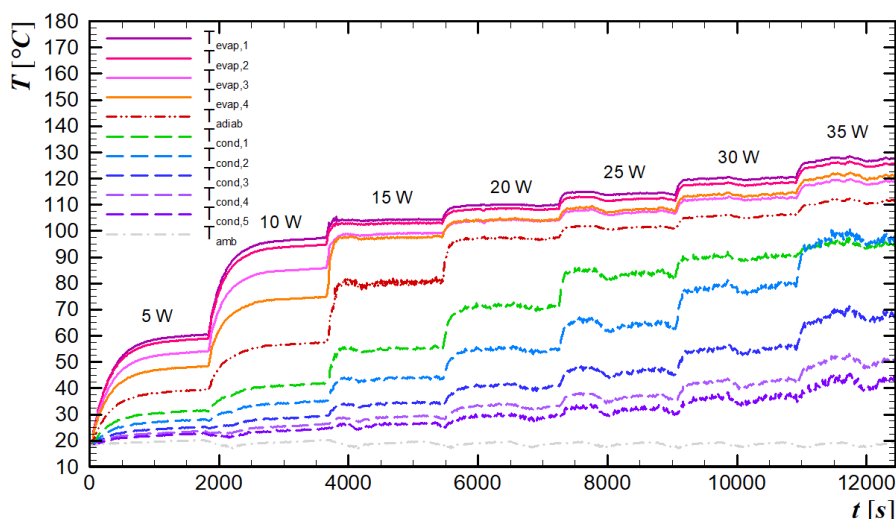


Figura 6 – Distribuição da temperatura em função do tempo: Termossifão *m* em 45°.

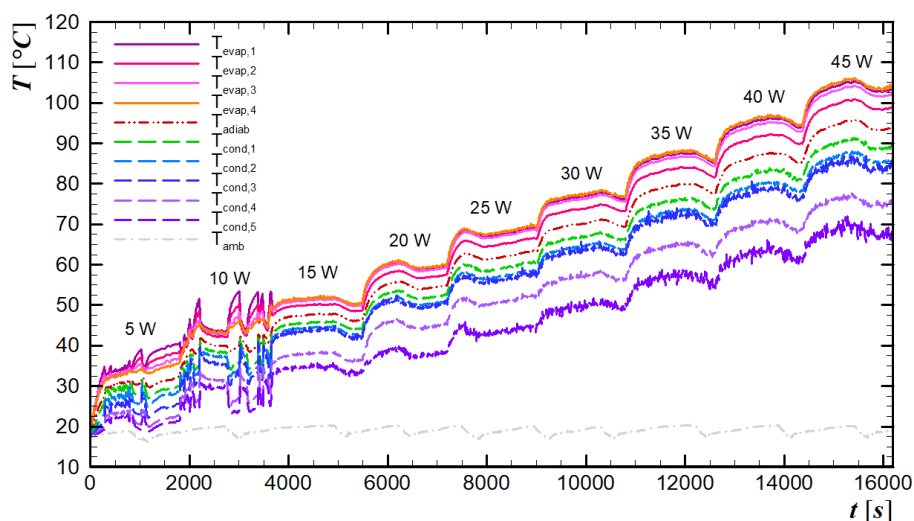


Figura 7 – Distribuição da temperatura em função do tempo: Termossifão *M* em 45°.

As Figuras 8 e 9, por sua vez, apresentam as distribuições de temperatura em função do tempo considerando a posição com o ângulo de 90° em relação ao plano horizontal, para os termossifões com diâmetros de 9,45 mm (Termossifão *m*) e de 12,7 mm (Termossifão *M*), respectivamente. Como ocorrido anteriormente, as temperaturas ao longo dos termossifões aumentam com o aumento de potência dissipada no evaporador.

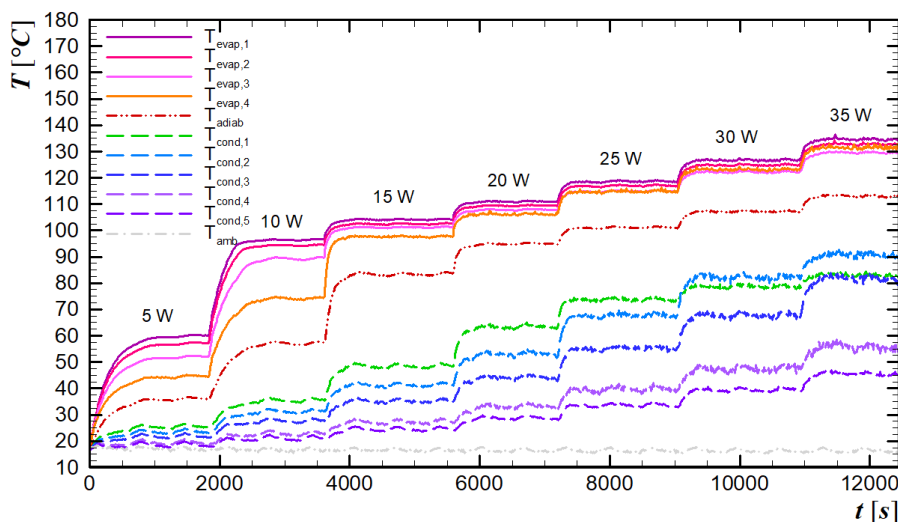


Figura 8 – Distribuição da temperatura em função do tempo: Termossifão *m* em 90°.

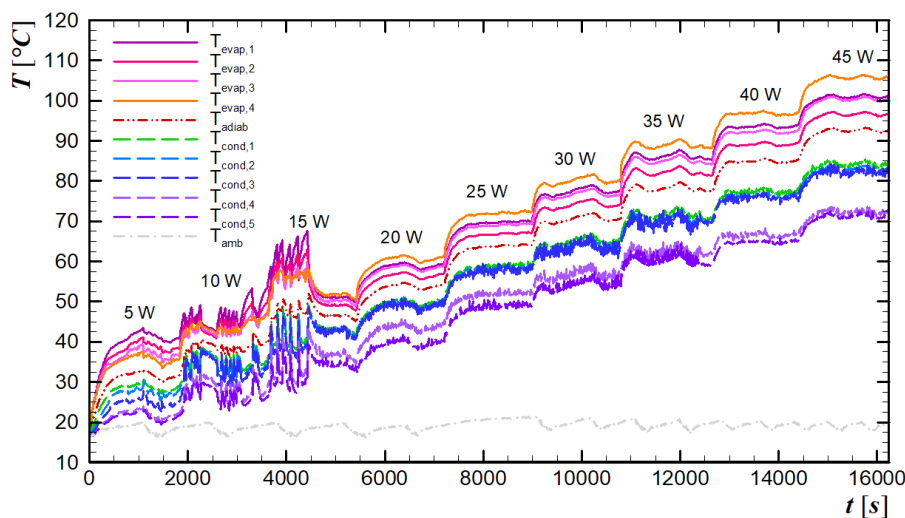


Figura 9 – Distribuição da temperatura em função do tempo: Termossifão *M* em 90°.

A Tabela 2 e a Figura 10 apresentam o comportamento da temperatura de operação dos diferentes termossifões testados, Termossifão *m* (de menor diâmetro) e Termossifão *M* (de maior diâmetro), em função da potência e do fluxo térmico dissipados no evaporador na posição de 45° em relação ao plano horizontal. Esta temperatura de operação corresponde à temperatura nos termopares instalados na seção adiabática durante a execução dos testes experimentais. A temperatura de operação do termossifão, independentemente do diâmetro, aumenta com o aumento da potência dissipada no evaporador.



Tabela 2 – Temperatura de operação em função da potência e do fluxo térmico dissipados: 45°.

Potência [W]	Fluxo Térmico [W/m <sup>2</sup> ]		Temperatura [°C]	
	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>M</i>
5	1.675	1.253	39,3	32,3
10	3.351	2.506	57,3	41,5
15	5.026	3.760	80,8	46,2
20	6.701	5.013	97,1	54,6
25	8.377	6.266	101,4	63,2
30	10.052	7.519	106,2	69,9
35	11.747	8.772	111,7	78,3
40	-	10.026	-	85,8
45	-	11.279	-	93,5

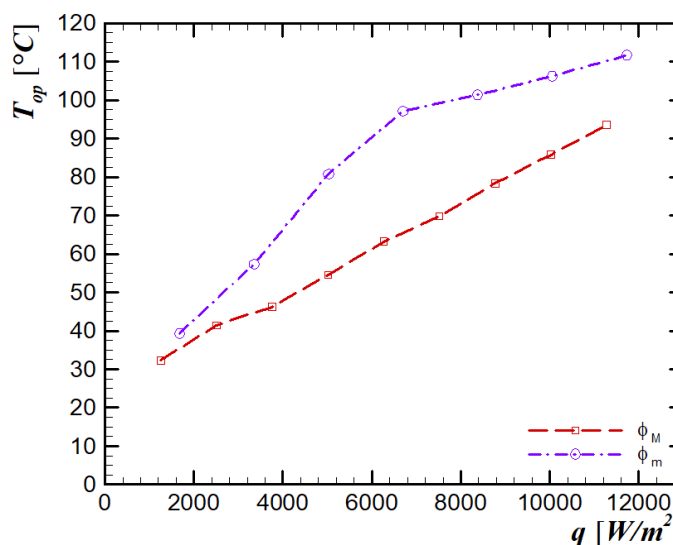


Figura 10 – Temperatura de operação versus fluxo térmico dissipado: 45°.

A Tabela 3 e a Figura 11 apresentam o comportamento da temperatura de operação dos Termossifões *m* e *M* testados em função da potência e do fluxo térmico dissipados no evaporador na posição de 90° em relação ao plano horizontal. A temperatura de operação, independentemente do diâmetro do termossifão, aumenta com o aumento da potência dissipada no evaporador.

Tabela 3 – Temperatura de operação em função da potência e do fluxo térmico dissipados: 90°.

Potência [W]	Fluxo Térmico [W/m <sup>2</sup> ]		Temperatura [°C]	
	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>M</i>
5	1.675	1.253	36,2	31,1
10	3.351	2.506	57,3	40,1
15	5.026	3.760	83,7	46,2
20	6.701	5.013	95,0	54,0
25	8.377	6.266	101,1	64,2
30	10.052	7.519	107,4	70,3
35	11.747	8.772	113,7	77,7
40	-	10.026	-	84,9
45	-	11.279	-	92,4

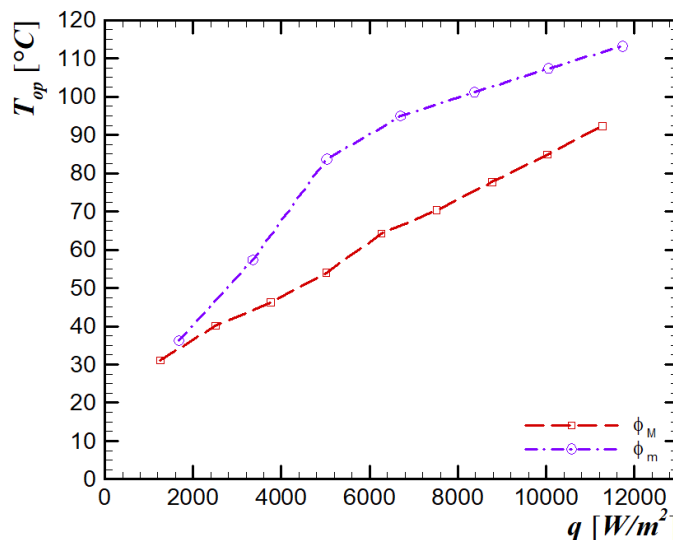


Figura 11 – Temperatura de operação versus fluxo térmico dissipado: 90°.

A Tabela 4 e a Figura 12 apresentam o comportamento da resistência térmica dos diferentes termossifões testados em função da potência e do fluxo térmico dissipados no evaporador na posição de 45° em relação ao plano horizontal. A resistência térmica diminui com o aumento da dissipação de potência, independentemente do diâmetro do termossifão.

Tabela 4 – Resistência térmica em função da potência e do fluxo térmico dissipados: 45°.

Potência [W]	Fluxo Térmico [W/m²]		Resistência Térmica [°C/W]	
	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>M</i>
5	1.675	1.253	5,79±0,59	2,29±0,54
10	3.351	2.506	5,65±0,32	1,35±0,27
15	5.026	3.760	4,21±0,21	0,67±0,18
20	6.701	5.013	3,05±0,16	0,58±0,13
25	8.377	6.266	2,32±0,12	0,54±0,10
30	10.052	7.519	1,84±0,10	0,53±0,09
35	11.747	8.772	1,49±0,09	0,51±0,08
40	-	10.026	-	0,50±0,07
45	-	11.279	-	0,48±0,06

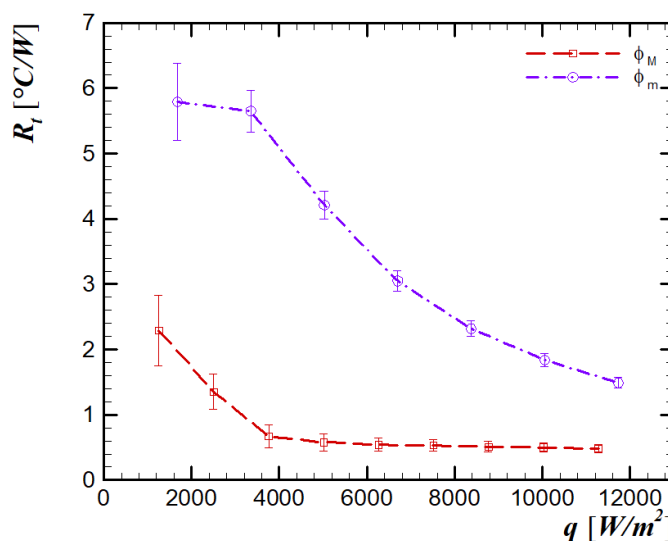


Figura 12 – Resistência térmica versus fluxo térmico dissipado: 45°.

A Tabela 5 e a Figura 13 apresentam o comportamento da resistência térmica dos Termossifões *m* e *M* em função da potência e do fluxo térmico dissipados no evaporador na posição de 90° em relação ao plano horizontal. Independentemente do tamanho do diâmetro externo do termossifão, a resistência térmica associado ao termossifão diminui com o aumento do fluxo de calor dissipado no evaporador.

Tabela 5 – Resistência térmica em função da potência e do fluxo térmico dissipados: 90°.

Potência [W]	Fluxo Térmico [W/m <sup>2</sup> ]		Resistência Térmica [°C/W]	
	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>M</i>
5	1.675	1.253	6,32±0,60	2,57±0,54
10	3.351	2.506	6,05±0,33	1,51±0,27
15	5.026	3.760	4,36±0,21	0,72±0,18
20	6.701	5.013	3,21±0,16	0,61±0,13
25	8.377	6.266	2,49±0,12	0,57±0,10
30	10.052	7.519	2,03±0,10	0,55±0,09
35	11.747	8.772	1,73±0,09	0,53±0,08
40	-	10.026	-	0,51±0,07
45	-	11.279	-	0,49±0,06

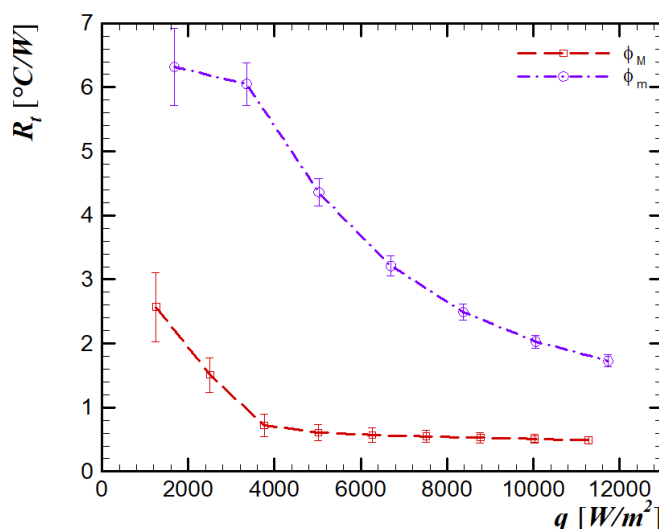


Figura 13 – Resistência térmica versus fluxo térmico dissipado: 90°.

### 5. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi realizada uma investigação experimental da influência do diâmetro e da inclinação no desempenho térmico de termossifões que podem ser aplicados no controle térmico de eletroeletrônicos. Estes termossifões foram testados nas posições com ângulos de 45° e 90° em relação ao plano horizontal sob cargas térmicas entre 5 W e 45 W correspondendo à fluxos térmicos entre 1,25 kW/m<sup>2</sup> até 11,75 kW/m<sup>2</sup>. Os resultados experimentais do desempenho térmico dos termossifões indicaram que, dentro da faixa de operação analisada, ambos termossifões operaram satisfatoriamente. Independentemente da inclinação de trabalho, o termossifão com maior diâmetro (*D<sub>ext</sub>* = 12,70 mm), Termossifão *M*, apresentou um melhor desempenho térmico do que o termossifão com menor diâmetro (*D<sub>ext</sub>* = 9,45 mm), Termossifão *m*. Além disso, independentemente do diâmetro do termossifão, os melhores resultados foram encontrados na posição com ângulo de 45° em relação ao plano horizontal.

**AGRADECIMENTOS**

Agradecimentos são prestados à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (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 (Mestrado) em Engenharia Mecânica (PPGEM) e ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa.

**REFERÊNCIAS**

**AGUIAR, V.M.** *Influência da Razão de Preenchimento e da Inclinação no Desempenho Térmico de Termossifões*. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

**CHI, S.W.** *Heat Pipe Theory and Practice: A Sourcebook*. Washington: Hemisphere Publishing Co., 1976.

**FAGHRI, A.** *Heat Pipes: Review, Opportunities and Challenges*. *Frontiers in Heat Pipes*, Vol. 5, p.1-48, 2014.

**HOLMAN, J.P.** *Experimental Methods for Engineers*. New York: McGraw-Hill, 2011.

**KRAMBECK, L.** *Avaliação Experimental do Desempenho Térmico de Telas Metálicas como Estrutura Capilar em Tubos de Calor*. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

**MANTELLI, M.B.H.** *Thermosyphon Technology for Industrial Applications*, Chapter 11. In: **VASILIEV, L.L. & KAKAÇ, S.** (Eds.), *Heat Pipes and Solid Sorption Transformations: Fundamentals and Practical Applications*. Boca Raton: CRC Press, 2013.

**NISHIDA, F.B.** *Desenvolvimento de Tubos de Calor com Microranhuras Fabricadas por Eletroerosão A Fio*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

**NISHIDA, F.B., MARQUARDT, L.S., BORGES, V.Y.S., SANTOS, P.H.D. & ANTONINI ALVES, T.** *Development of a Copper Heat Pipe with Axial Grooves Manufactured using Wire Electrical Discharge Machining (Wire-EDM)*. *Advanced Materials Research* (Online), Vol. 1120, p.1325-1329, 2015.

**PETERSON, G.P.** *An Introduction to Heat Pipes: Modeling, Testing and Applications*. New York: Wiley-Interscience, 1994.

**REAY, D.A., KEW, P.A. & MCGLEN, R.J.** *Heat Pipe: Theory, Design and Applications*. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2014.

**SANTOS, P.H.D., VICENTE, K.A.T., REIS, L.S., MARQUARDT, L.S. & ANTONINI ALVES, T.** *Modeling and Experimental Tests of a Copper Thermosyphon*. *Acta Scientiarum. Technology*, Vol. 39, n.1, p.59-68, 2017.