



# ESTUDO NUMÉRICO USANDO O MODELO DE VOLUME DE FLUIDOS (VOF) EM UMA MALHA ADAPTAVEL DOS PROCESSOS DE EVAPORAÇÃO E CONDENSAÇÃO EM UM TERMOSSIFÃO

## *NUMERICAL STUDY USING A VOLUME OF FLUID (VOF) METHOD IN AN ADPTATIVE MESH FOR THE EVAPORATION AND CONDENSATION PROCESSES IN A THERMOSYPHON*

Cassio Vinicius Kurutz\*, Paulo Henrique Dias dos Santos<sup>†</sup>,  
Gustavo de Lima Ramos<sup>‡</sup>

### RESUMO

O trabalho a seguir trata-se da análise e comparação de dados experimentais e numéricos a respeito de um equipamento chamado termossifão, dispositivo que possui uma concepção simples e é capaz de transportar grandes quantidades de energia na forma de calor. O termossifão é fundamentalmente composto por um fluido de trabalho, que circula dentro de um tubo metálico, devido a ação da gravidade, gerando assim esse fenômeno de transporte. O equipamento a respeito do qual o experimento se trata possuía uma entrada de potência de 20W e razão de preenchimento de 100%. Para obter os resultados numéricos foi empregado o software de simulação Ansys, utilizando o modelo de Volume de Fluidos (VOF), disponível no pacote Student da ferramenta Fluent. As simulações realizadas apresentaram discordâncias inferiores a 5% dos valores obtidos experimentalmente. Portanto, estes resultados se mostraram satisfatórios e condizentes com a realidade.

**Palavras-chave:** Termossifão, Volume de Fluidos (VOF), Modelos numéricos bifásicos.

### ABSTRACT

The following work is the analysis and comparison of experimental and numerical data about an equipment called a thermosiphon, a device that has a simple design and is capable of transporting large amounts of energy in the form of heat. The thermosiphon is fundamentally composed of a working fluid, which circulates inside a metallic tube, due to the action of gravity, thus generating this transport phenomenon. The equipment about which the experiment is concerned had a power input of 20W and a fill ratio of 100%. To obtain the numerical results, the Ansys simulation software was used, using the Volume of Fluid (VOF) model, available in the Student package of the Fluent tool. The simulations performed showed disagreements below 5% of the values obtained experimentally. Therefore, these results proved to be satisfactory and consistent with reality.

**Keywords:** Thermosiphon, Volume of Fluid (VOF), Two-phase numerical models.

\* Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; [cassiokurutz@alunos.utfpr.edu.br](mailto:cassiokurutz@alunos.utfpr.edu.br)

<sup>†</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba; [psantos@utfpr.edu.br](mailto:psantos@utfpr.edu.br)

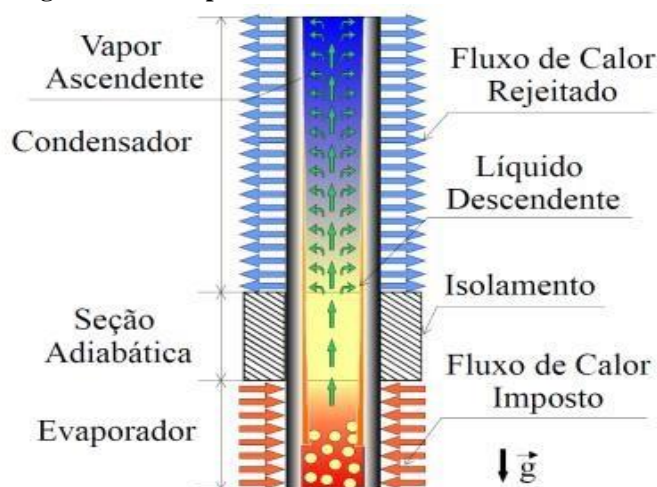
<sup>‡</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; [gustavoramos@alunos.utfpr.edu.br](mailto:gustavoramos@alunos.utfpr.edu.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Termossifões são aparelhos que consistem em um tubo metálico contendo uma determinada quantidade de fluido de trabalho, sujeito à transformação de fase de maneira contínua, através da transferência de calor promovida pelo termossifão, que é constituído por três partes: o evaporador, região que recebe o calor; a seção adiabática, onde não há troca de calor com o meio externo; e o condensador, onde o calor é dissipado.

A inserção de calor no evaporador proporciona a ebulição do fluido de trabalho, que, passando pela seção adiabática, vai até o condensador, onde se condensa devido à diferença na temperatura. Pela atuação da força da gravidade o líquido retorna ao evaporador e o ciclo se repete. Tal processo é demonstrado na Figura 1.

**Figura 1 - Princípio de funcionamento de um termossifão**



Fonte: Mantelli (2009)

## 2 MÉTODO

Para realizar as simulações foi utilizado o *software* Ansys Student 2020 R2 com a ferramenta *Fluent*. Os resultados obtidos foram comparados com resultados experimentais do trabalho de conclusão de curso de Aguiar (2016) “Influência da razão de preenchimento e da inclinação no desempenho térmico de termossifões”.

A geometria do termossifão foi feita utilizando a ferramenta *DesignModeler* conforme as especificações apresentadas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 2.

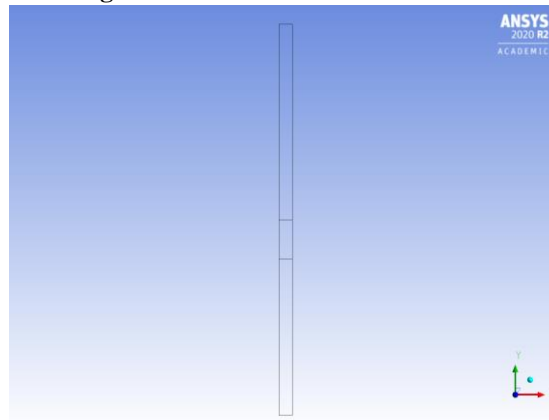
**Tabela 1 – Especificações do termossifão**

Característica	Dimensão
Diâmetro interno do termossifão [mm]	7,75
Diâmetro externo do termossifão [mm]	9,45
Comprimento do evaporador [mm]	80,0
Comprimento da região adiabática [mm]	20,0
Comprimento do condensador [mm]	100,0
Fluido de trabalho	Água deionizada
Razão de preenchimento [%]	100
Volume de fluido [ml]	3,77

Fonte: Aguiar (2016)



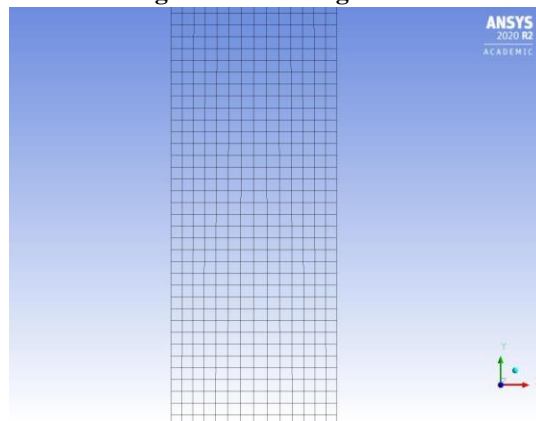
**Figura 2 – Geometria do termossifão**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Para a criação da malha foram utilizados elementos de 0,5 mm, resultando inicialmente em uma malha com 16.800 volumes de controle, como indicado na Figura 3.

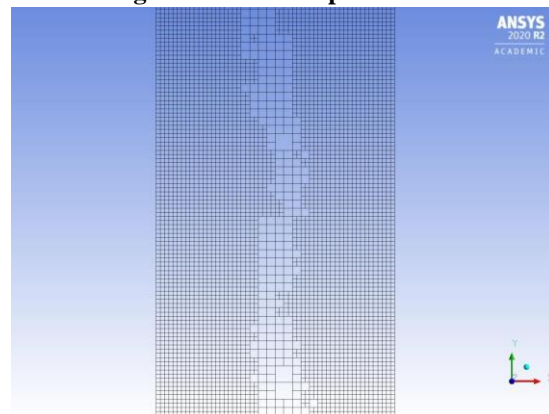
**Figura 3 – Malha gerada**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Durante a simulação foi utilizado o recurso de malha adaptável, buscando um resultado mais preciso, nesse processo a malha foi refinada no evaporador nos locais onde havia vapor. A Figura 4 mostra o resultado após a utilização do recurso.

**Figura 4 – Malha após o refino**



**Fonte: Autoria própria (2021)**



A simulação foi iniciada com as paredes do evaporador submetidas a um fluxo de calor de 10,268 W/m<sup>2</sup>. Foi utilizado o modelo de mudança de fase (Lee et al. 2013) de líquido para vapor, que é capaz de modelar escoamentos multifásicos com fluidos imiscíveis, resolvendo um único conjunto de equações da conservação da quantidade de movimento [Eq. (1)] e conservação da energia [Eq. (2)], que são compartilhadas entre as fases. Além disso, também é resolvida a [Eq. (3)] que é referente à energia no fenômeno. Usualmente, a utilização desse modelo matemático tem como objetivo observar a interface entre os fluidos em análise. As expressões foram retiradas do Ansys Theory Guide no capítulo 16, que diz respeito a escoamentos multifásicos.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (1)$$

$\vec{v}$ : Velocidade  
 $\rho$ : Massa específica  
 $p$ : Pressão  
 $\mu$ : Viscosidade  
 $\vec{g}$ : Força da gravidade  
 $\vec{F}$ : Força do corpo

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + S_h \quad (2)$$

$E$ : Energia  
 $k_{eff}$ : Condutividade efetiva  
 $S_h$ : Fonte de calor

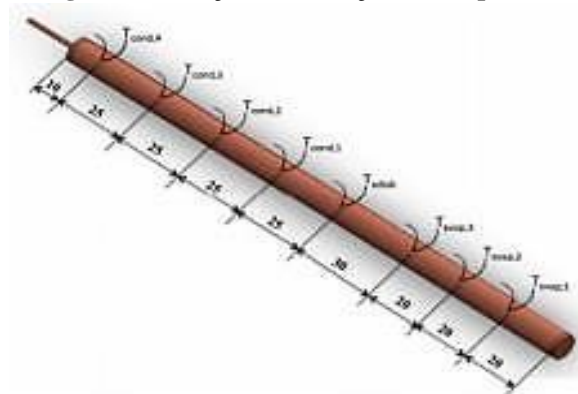
$$E = \frac{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q E_q}{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q} \quad (3)$$

$\alpha_q$ : Fração de volume para a fase  
 $\rho_q$ : Massa específica para a fase  
 $E_q$ : Energia para a fase

### 3 RESULTADOS

Os valores obtidos e analisados foram os de temperatura de operação. Esses resultados foram retirados da região do evaporador, seguindo os posicionamentos medidos experimentalmente (Figura 5).

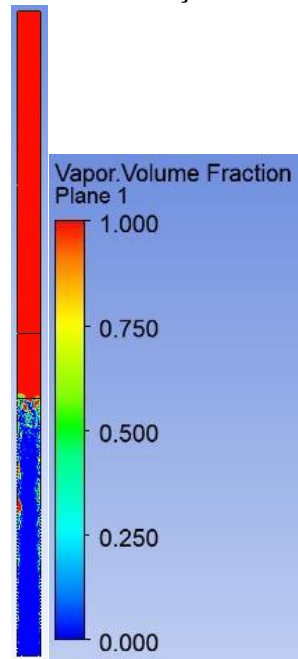
Figura 5 – Posições de medição de temperatura



Fonte: Aguiar (2016)

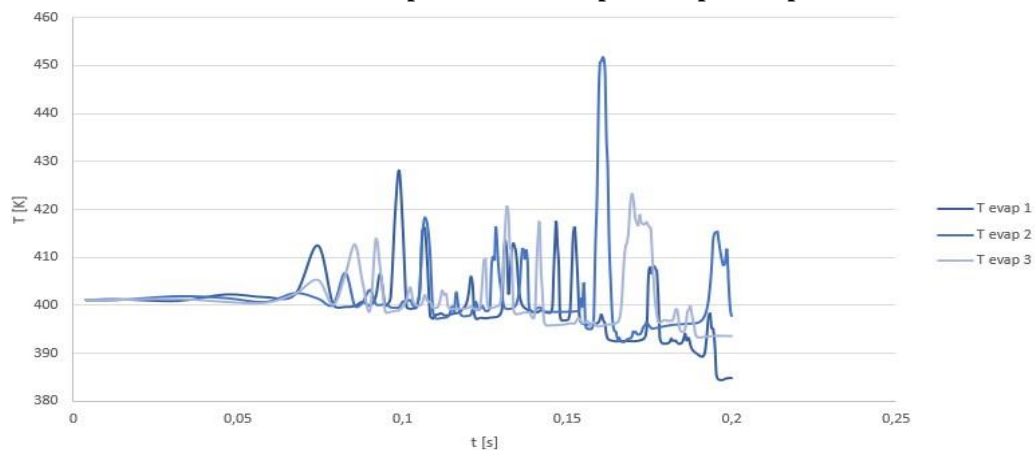
Para realizar as plotagens e a visualizar os contornos promovidos pela simulação, foi utilizado o pós processamento do Ansys, o CFD-Post. Os resultados obtidos foram exportados para o Excel para uma análise mais específica. Na Figura 6 é possível observar o contorno entre as duas fases presentes no fenômeno, onde as cores de tons avermelhados evidenciam a presença de vapor, e as cores azuladas a presença de água deionizada. No Gráfico 1 são apresentados os valores de temperatura nas três regiões do evaporador.

**Figura 6 – Contorno de fração de volume de vapor**



Fonte: Autoria própria (2021)

**Gráfico 1 – Temperaturas do evaporador por tempo**



Fonte: Autoria própria (2021)

Como mostra o gráfico 1, o fenômeno foi simulado durante 0,2 segundos. Na Tabela 2 são apresentados os resultados experimentais dos valores das temperaturas e na Tabela 3 as médias aritméticas das temperaturas, por região do evaporador, bem como os erros em relação ao experimento.



**Tabela 2 – Resultados experimentais**

Tevap,1	Tevap,2	Tevap,3
123,7 °C	125,5 °C	119,7 °C

Fonte: Aguiar (2016)

**Tabela 3 – Resultados numéricos**

Temperaturas	Tevap,1	Tevap,2	Tevap,3
Fluent	119,9 °C	126,3 °C	124,3 °C
Erro	3,1%	0,6%	3,8%

Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando os resultados, observou-se que os erros foram inferiores a 5%, mostrando que do ponto de vista da complexidade do fenômeno de ebulição, escoamento bifásico e turbulento, os dados experimentais validaram os resultados numéricos.

#### 4 CONCLUSÃO

O modelo proposto apresentou resultados satisfatórios, mostrando uma concordância considerável com os dados obtidos experimentalmente. Portanto, os resultados levam o analisador a ter um ponto de partida para correlação entre as simulações e os dados experimentais. Para futuros aprimoramentos neste estudo, uma possibilidade interessante seria a utilização de diferentes modelos matemáticos ao realizar as simulações.

#### REFERÊNCIAS

- AGUIAR, V. M. **Influência da razão de preenchimento e da inclinação no desempenho térmico de termossifões**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.
- ANSYS Fluent Theory Guide** versão estudante. Ansys Inc., 2016. cap. 16.
- LEE, W. H. **Computational methods for two-phase flow and particle transport**. 1. ed. World Scientific Publishing Company, 2013.
- MANTELLI, M. B. **Notas de aula**: curso sobre tubos de calor e termossifões. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.