



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

ESTUDO NUMÉRICO USANDO O MODELO DE VOLUME DE FLUIDOS (VOF) EM UM TERMOSSIFÃO

NUMERICAL STUDY USING VOLUME OF FLUID (VOF) MODEL IN A THERMOSSIPHON

Gustavo de Lima Ramos*, Paulo Henrique Dias dos Santos[†]

RESUMO

O trabalho a seguir trata-se da análise e comparação de dados experimentais e numéricos a respeito de um equipamento chamado termossifão. Este dispositivo é capaz de transportar grandes quantidades de energia na forma de calor e a sua concepção é simples. O termossifão é basicamente composto por um tubo metálico preenchido por um fluido de trabalho que circula dentro deste tubo através da ação da gravidade, gerando o fenômeno de transporte. O equipamento no experimento possuía uma entrada de potência de 20W e razão de preenchimento de 100%. Os dados numéricos foram obtidos a partir do *software* de simulação *Ansys*, utilizando o modelo de Volume de Fluidos (VOF), disponível no pacote *Student* do *Fluent*. As simulações realizadas apresentaram discrepâncias inferiores a 12% dos valores obtidos experimentalmente. Portanto, estes resultados se mostraram satisfatórios com a realidade.

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

ABSTRACT

The following work is about analysis and comparison of experimental and numerical data about a equipment called a thermosiphon. This equipment is capable of transporting large amounts of energy in the form of heat and it have a simple design The thermosiphon is basically composed of a metallic tube filled with a working fluid that circulates inside this tube through the action of gravity, generating the phenomenon of transport. The equipment in the experiment had a power input of 20W and a fill ratio of 100%. Numerical data were obtained from Ansys simulation software, using the Volume of Fluid model (VOF), available in the Fluent Student package. The simulations performed showed discrepancies below 12% of the values obtained experimentally. Therefore, these results proved to be satisfactory with reality.

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

* Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; gustavoramos@alunos.utfpr.edu.br

[†] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba; psantos@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

O termossifão é um equipamento composto por um tubo metálico preenchido por um fluido de trabalho que está em constante transformação de fase, líquido para vapor e vice-versa. A transferência de calor feita pelo termossifão resulta na mudança de fase do fluido o qual tem a capacidade de absorver e liberar energia facilmente, propriedade chamada de calor latente.

Os termossifões são divididos em três seções: o evaporador, a adiabática e o condensador. O evaporador é a região que recebe o calor responsável pela ebulição do fluido de trabalho transformando-o em vapor. Este vapor sobe pela seção adiabática, a qual não troca calor com o meio externo mantendo a fase do fluido. Após isso, o vapor chega até a região do condensador onde ocorre a troca de calor com o meio e a transformação de fase para líquido do fluido, nas paredes do tubo. Com a ação da força da gravidade esse líquido retorna à seção do evaporador e ciclo recomeça.

2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

A comparação e análise dos resultados numéricos foram realizadas conforme o experimento realizado no trabalho de conclusão de curso, feito por Aguiar (2016), “Influência da razão de preenchimento e da inclinação no desempenho térmico de termossifões”. Para a obtenção dos valores computacionais foi utilizado o *software* de simulação *Ansys Student 2020 R1*, com a ferramenta *Fluent*.

Foi utilizado o *DesignModeler* para modelar a geometria do termossifão nas especificações presentes no experimento (Tabela 1). A Figura 2 mostra a geometria finalizada com as devidas seções que compõem o termossifão.

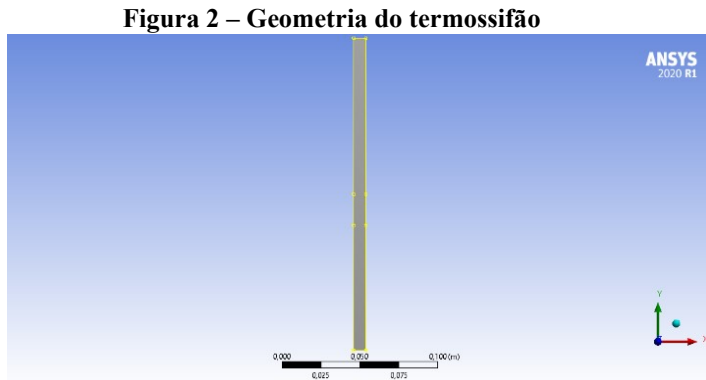
Tabela 1 – Especificações do termossifão

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

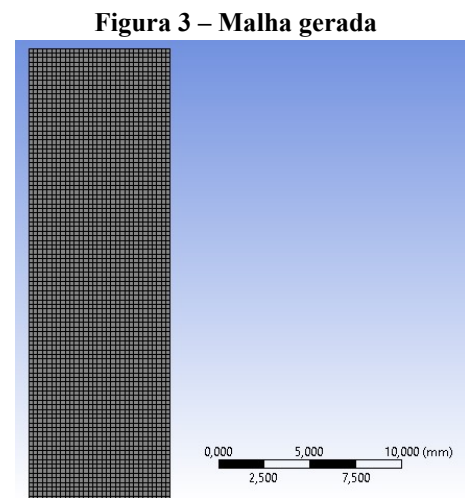
Fonte: Aguiar (2016).

Em relação a construção da malha foram utilizadas duas ferramentas: *Edge Sizing*, responsável para determinar o tamanho do elemento, que foi de 0,25 mm, e o *Face Mesh*, que garante uma melhor qualidade da malha utilizando o método de quadriláteros. Foram criados no total 24800 volumes de controle (Figura 3).

Para a realização da simulação foi configurada a potência de entrada de 20 W, o que resultou em um fluxo de calor de 8240 W/m². Além disso, foi utilizado o modelo de mudança de fase (Lee et al. 2013) de líquido para vapor e de turbulência κ - ϵ .



Fonte: Autoria própria (2020)



Fonte: Autoria própria (2020).

O modelo Volume de Fluidos é capaz de modelar escoamentos que possuam dois ou mais fluidos imiscíveis, resolvendo um único conjunto de equações da conservação da quantidade de movimento [Eq. (1)] e conservação da energia [Eq. (2)], as quais são compartilhadas entre as fases. Além disso, também é resolvida a Eq. (3) a qual é referente a energia no fenômeno. Vale ressaltar que geralmente a utilização desse modelo matemático tem como objetivo observar a interface entre os fluidos em análise. As expressões foram retiradas do *Ansyst 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

ρ : Massa específica

p : Pressão

μ : 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

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

α_q : Fração de volume para a fase

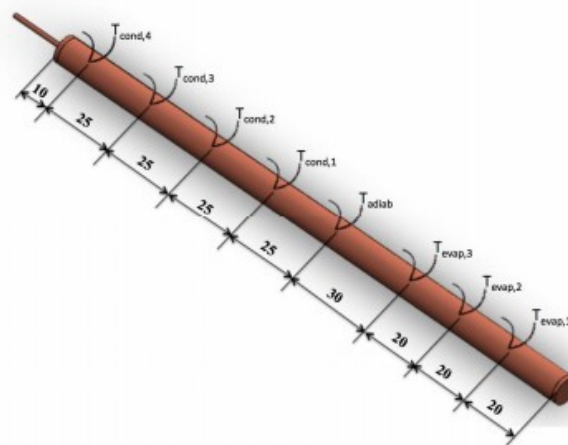
ρ_q : Massa específica para a fase

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, conforme os posicionamentos medidos experimentalmente (Figura 4). Além disso, os resultados foram plotados em forma de tabelas e gráficos para melhor compreensão.

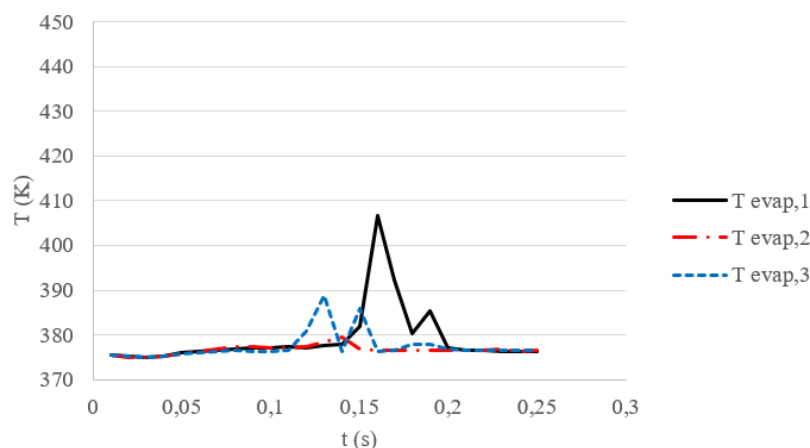
Figura 4 – Posições de medição de temperatura



Fonte: Marrone (2016).

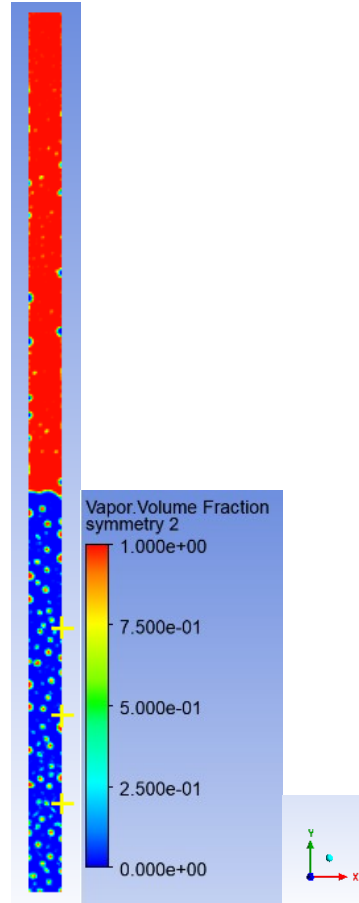
Foi utilizado o pós-processamento do *Ansys*, o *CFD-Post*, para fazer as plotagens e a visualização dos contornos promovidos pela simulação. Os resultados obtidos foram exportados para o *Excel* para uma análise mais específica. No Gráfico 1 são apresentados os valores de temperatura nas três regiões do evaporador. Na Figura 5 é possível observar o contorno entre as duas fases presentes no fenômeno, as cores mais avermelhadas representam uma maior presença de vapor e as cores mais azuladas uma maior presença de água deionizada.

Gráfico 1 – Temperaturas do evaporador por tempo



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 5 – Contorno de fração de volume de vapor



Fonte: Autoria própria (2021).

Como pode ser visto no Gráfico 1, o fenômeno físico foi simulado durante 0,25s, atingindo uma temperatura máxima na região 1 do evaporador de, aproximadamente, 408 K. Na Tabela 2 são apresentados os valores de temperaturas medidos experimentalmente e na Tabela 3 as médias aritméticas das temperaturas, por região do evaporador, referente ao modelo de Volume de Fluidos. Ainda na Tabela 3, são apresentados 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	107,8 °C	104,0 °C	105,4 °C
Erro	12,8%	17,1%	11,9%

Fonte: Autoria própria (2021).



Analisando os resultados, observou-se que o menor erro foi de 11,9% e o maior 17,1%, mostrando que do ponto de vista da complexidade do fenômeno de ebulição, escoamento bifásico e turbulento, os resultados numéricos foram validados através dos dados experimentais.

4 CONCLUSÃO

O modelo proposto apresentou resultados satisfatórios, mostrando uma cabível diferença dos dados obtidos experimentalmente. O menor erro obtido foi de 11,9% o que representa aproximadamente 14,3°C. Portanto, seus resultados levam o analisador ter um ponto de partida para correlação entre as simulações e os dados experimentais. Para futuros aprimoramentos neste estudo, seria interessante a utilização de modelos matemáticos diferentes para a realização das simulações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio financeiro e ajuda para realização deste estudo.

Agradeço ao Prof. Dr. Paulo Henrique Dias dos Santos pela oportunidade e orientação para a realização deste trabalho.

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.

MANTELLI, M. B. **Notas de aula**: curso sobre tubos de calor e termossifões. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LEE, W. H. **Computational methods for two-phase flow and particle transport**. 1. ed. World Scientific Publishing Company, 2013.

ANSYS Fluent Theory Guide versão estudante. Ansys Inc., 2016. cap. 16.