

Simulações computacionais de um termossifão com o modelo Euler-Euler (Mistura)

Computer simulations of a thermosyphon with Euler-Euler model (Mixture)

RESUMO

Gustavo de Lima Ramos
gustavoramos@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Caroline Andrade Junqueira de Souza
carolineajs@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Paulo Henrique Dias dos Santos
psantos@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Este trabalho trata da comparação entre simulações feitas no *software* Ansys com o modelo matemático Euler-Euler (Mistura), incluso no pacote *Student* do *Fluent*. Os resultados numéricos foram comparados com resultados experimentais dos testes de um termossifão de cobre. Os termossifões são dispositivos eficientes capazes de transportar grandes quantidades de energia na forma de calor e compostos por um tubo metálico preenchido com um fluido de trabalho, o qual circula no interior do termossifão pela ação da força da gravidade. O dispositivo em análise foi configurado com potência de entrada 20 W e razão de preenchimento de 100%. As simulações mostraram uma razoável concordância com os resultados experimentais. O modelo Euler-Euler (Mistura) apresentou resultados com erros inferiores a 15% em relação as medições do experimento.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos numéricos bifásicos. Euler-Euler (Mistura). Validação. Termossifão.

ABSTRACT

This work deals with the comparison between simulations made in Ansys software with the mathematical model Euler-Euler (Mixture), included in the Fluent Student package. The numerical results were compared with experimental results of tests on a copper thermosyphon. Thermosyphons are efficient devices capable of transporting large amounts of energy in the form of heat and composed of a metallic tube filled with a working fluid, which circulates inside the thermosyphon through the action of gravity. The device under analysis was configured with 20 W input power and 100% fill ratio. The simulations showed a certain agreement with the experimental results. The Euler-Euler model (Mixture) presented results with errors of less than 15% in relation to the measurements of the experiment.

KEYWORDS: Biphasic numerical models. Euler-Euler (Mixture). Validation. Thermosiphon.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

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



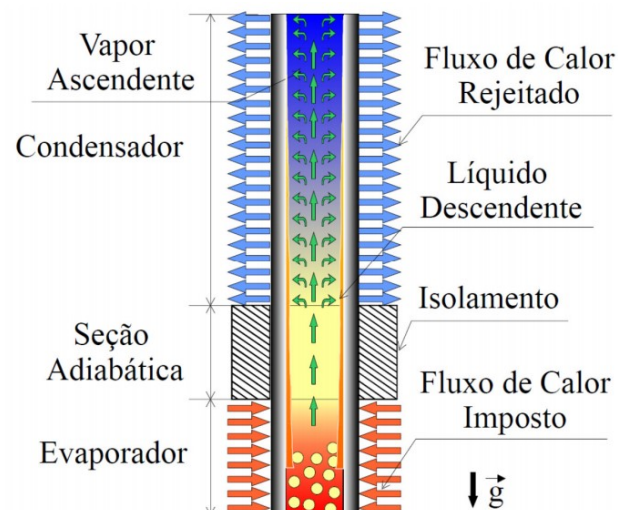
INTRODUÇÃO

O termossifão é um aparelho que consiste em um tubo metálico que contém certa quantidade de um fluido de trabalho que está sujeito a uma contínua transformação de fase, líquido para vapor e vice-versa. Através da transferência de calor promovida pelo termossifão, a mudança de fase do fluido ocorre devido ao mesmo ser capaz de absorver e liberar energia facilmente, propriedade física denominada de calor latente.

Os termossifões são constituídos de três partes: o evaporador, região que recebe o calor; a parte adiabática, local onde não ocorre troca de calor com o meio externo; e o condensador, responsável pela troca de calor com o ambiente.

O calor inserido na região do evaporador faz com que o fluido de trabalho entre em ebulição e gere vapor. Esse vapor sobe, passa pela secção adiabática, e chega até o condensador. Nesse local o fluido sofre a transformação de fase e se condensa na parede, devido esta ser a região mais fria. Através da ação da gravidade, esse fluido retorna ao evaporador e o ciclo recomeça. Todo esse processo é mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Funcionamento de um termossifão



Fonte: Mantelli (2009).

MATERIAS E MÉTODOS

O *software* de simulação utilizado no trabalho foi o *Ansys Student 2020 R1* com a ferramenta *Fluent*. Os resultados obtidos foram analisados e comparados com os resultados experimentais do termossifão do trabalho de conclusão de curso, “Influência da razão de preenchimento e da inclinação no desempenho térmico de termossifões”, feito por Aguiar (2016).

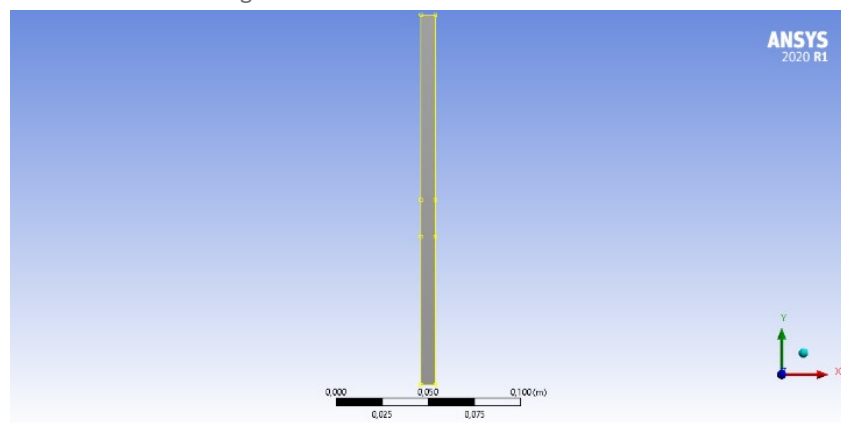
A geometria do termossifão foi feita utilizando a ferramenta *DesginModeler* conforme as especificações do Tabela 1 e ilustrado na Figura 2. Vale ressaltar que as arestas foram seccionadas para determinar as regiões do evaporador, da parte adiabática e do condensador.

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).

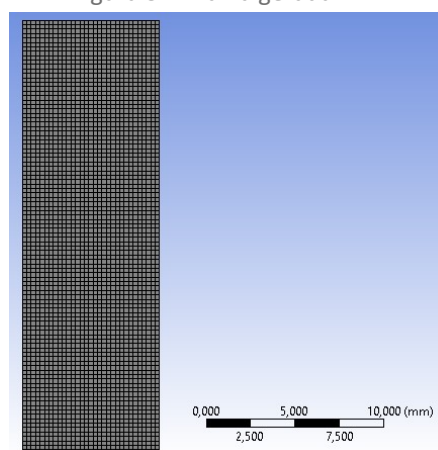
Figura 2 – Geometria do termossifão



Fonte: Autoria própria (2020).

Para a construção da malha foi utilizado a opção *Edge Sizing* em todas as arestas do termossifão, com um tamanho de elemento de 0,25 mm. Além disso, também foi utilizado o *Face Mesh* com o método de quadriláteros, a fim de obter uma malha mais adequada. No total foram criados 24.800 volumes de controle, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Malha gerada



Fonte: Autoria própria (2020).

A simulação foi dividida em duas etapas: (i) etapa de aquecimento na qual não ocorria mudança de fase; (ii) etapa na qual o modelo de mudança de fase (Lee et al. 2013) foi habilitado para aplicar a transformação de líquido para vapor. O fluxo de calor configurado na região do evaporador, conforme a potência de entrada de 20 W, foi de 8.420 W/m². O tempo de aquecimento na primeira etapa foi de 10 s.

Na segunda etapa, a transferência de massa foi ativada com o mecanismo de evaporação e condensação, e a viscosidade turbulenta K-epsilon (2eqn) também foi configurada. Esta etapa foi simulada para 10 s de evento do fenômeno físico e a cada simulação o *frequency condensation* foi alterado, visando obter os melhores resultados em comparação com o experimento. Foram testados valores de *frequency condensation* de 60 até 20 s⁻¹, variando de 10 em 10.

O modelo Euler-Euler (Mistura) consegue resolver escoamentos que possuam *n* fases (particuladas ou fluidas) solucionando as equações de conservação da massa [Eq. (1)], conservação de quantidade de movimento [Eq. (2)] e conservação da energia [Eq. (3)]. As expressões foram retiradas do Ansys Help no capítulo 17, que diz respeito a escoamentos multifásicos. Além disso, o modelo Euler-Euler (Mistura) considera que as fases sejam interpenetrantes. Entretanto, o método não possibilita nenhuma interface clara observável entre os fluidos e é muito utilizado em escoamentos que envolvam sedimentação.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m) + \nabla(\rho_m \vec{v}_m) = 0 \quad (1)$$

\vec{v}_m : Velocidade da mistura

ρ_m : Massa específica da mistura

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m) + \nabla(\rho_m \vec{v}_m) = -\nabla p + \nabla[\mu_m(\nabla \vec{v}_m + \nabla \vec{v}_m^T)] + \rho_m \vec{g} + \vec{F} - \nabla(\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \vec{v}_{dr,k} \vec{v}_{dr,k}) \quad (2)$$

μ_m : Viscosidade da mistura

p : pressão

\vec{g} : Força da gravidade

$\vec{v}_{dr,k}$: Velocidade da fase secundária

ρ_k : Densidade da fase

α_k : fração de volume da fase

\vec{F} : Força do corpo

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_k (\alpha_k \rho_k E_k) + \sum_k (\alpha_k \rho_k (\rho_k E_k + p)) = \nabla (k_{eff} \nabla T - \sum_q \sum_j h_{j,q} \vec{J}_{j,q} + (\vec{\tau}_{eff} \vec{v})) + S_h \quad (3)$$

k_{eff} : Condutividade efetiva

E_k : Energia para uma fase

$h_{j,q}$: Entalpia

$\vec{J}_{j,q}$: Fluxo difusivo

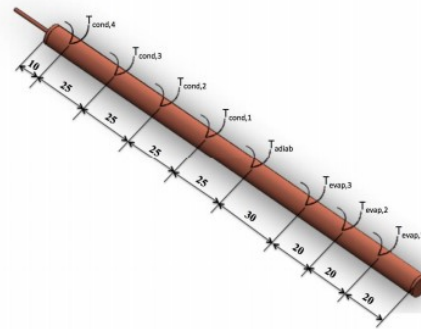
$\vec{\tau}_{eff}$: Tensor de tensão efetivo de Reynolds

S_h : Fonte de calor

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As temperaturas de operação em análise foram mensuradas da região do evaporador e conforme os posicionamentos medidos experimentalmente (Figura 5).

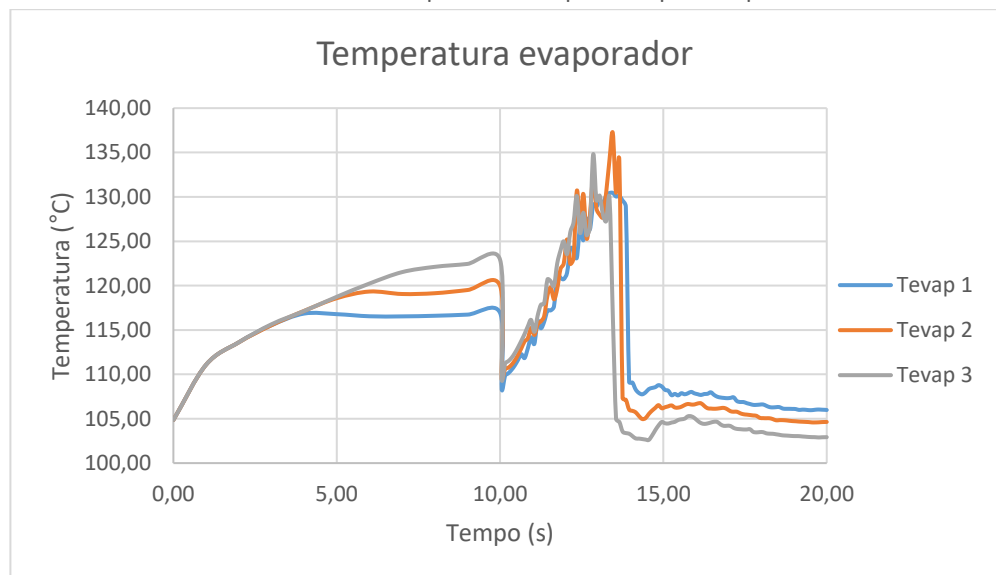
Figura 5 – Posições de medição de temperatura



Fonte: Marrone (2016).

Os valores de temperaturas e os gráficos foram plotados no pós-processamento do Ansys, o *CFD-Post*. Para uma análise mais aprofundada, os resultados foram exportados para o *Excel* e as comparações foram feitas. No Gráfico 1 é apresentado um exemplo dos resultados numéricos obtidos para uma *frequency condensation* igual a 30 s^{-1} .

Gráfico 1 – Temperatura evaporador por tempo



Fonte: Autoria própria (2020).

Como pode ser visto no Gráfico 1, aproximadamente em 15 segundos as temperaturas começam a estabilizar. Para a análise, foi feita a média aritmética dos valores das temperaturas de operação de 15 até 20 segundos. No Tabela 2 são apresentados os valores de temperaturas medidos experimentalmente e no Tabela 3 os referentes ao modelo de Euler-Euler (Mistura) e 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 do Modelo Euler-Euler (Mistura)

<i>Freq. Condensation 60 s⁻¹</i>				
Temperaturas	Tevap,1	Tevap,2	Tevap,3	Média dos erros
Fluent	107,21 °C	105,97 °C	103,41 °C	
Erro	13,33%	15,56%	13,61%	14,17%
<i>Freq. Condensation 50 s⁻¹</i>				
Temperaturas	Tevap,1	Tevap,2	Tevap,3	Média dos erros
Fluent	106,94 °C	105,44 °C	103,14 °C	
Erro	13,55%	15,98%	13,83%	14,45%
<i>Freq. Condensation 40 s⁻¹</i>				
Temperaturas	Tevap,1	Tevap,2	Tevap,3	Média dos erros
Fluent	107,04 °C	105,91 °C	104,26 °C	
Erro	13,47%	15,61%	12,90%	13,99%
<i>Freq. Condensation 30 s⁻¹</i>				
Temperaturas	Tevap,1	Tevap,2	Tevap,3	Média dos erros
Fluent	107,03 °C	106,37 °C	105,22 °C	
Erro	13,48%	15,24%	12,10%	13,61%
<i>Freq. Condensation 20 s⁻¹</i>				
Temperaturas	Tevap,1	Tevap,2	Tevap,3	Média dos erros
Fluent	106,67 °C	105,32 °C	103,59 °C	
Erro	13,76%	16,08%	13,46%	14,43%

Fonte: Autoria própria (2020).

Analisando os resultados da Tabela 3, observou-se que a menor média dos erros (13,61%) foi encontrado para a simulação com a configuração de *frequency condensation* igual 30 s⁻¹, sendo esta a que melhor representou as condições experimentais.

CONCLUSÃO

O modelo analisado conseguiu solucionar o problema físico com uma razoável concordância. Contudo, os resultados obtidos não foram tão próximos quanto o esperado quando relacionados com os resultados experimentais. O método Euler-Euler (Mistura) apresentou-se como um modelo cabível para o problema físico em questão. Como possível evolução para o estudo, outros modelos multifásicos poderão ser testados e comparados com os valores do experimento, assim como com os resultados obtidos neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

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

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Henrique Dias dos Santos pela oportunidade e credibilidade 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.

ANSYS *Fluent Theory Guide* versão estudante. Ansys Inc., 2019. cap. 17.

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.