

# Modelagem Matemática do Fenômeno de Transferência de Calor e Massa Existente no Canal de Vapor de Tubos de Calor

BERTOLDO JUNIOR, J.<sup>1</sup>, VLASSOV, V.<sup>1</sup>, SANTOS, N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Aluno de Doutorado do curso de Mecânica Espacial e Controle - CMC.

jorge.bertoldo@inpe.br

**Resumo.** *Este trabalho apresenta o sistema de equações utilizado na modelagem matemática do fenômeno de transferência de calor e massa que ocorre no canal de vapor de tubos de calor de diferentes configurações. Um sistema de quatro equações, sendo elas, equação de conservação de massa, equação de conservação de momentos, equação dos gases ideais e equação de Clapeyron – Clausius é proposto para avaliar a influência dos parâmetros envolvidos no escoamento do vapor gerado na zona evaporação do tubo de calor até a zona de condensação, onde o fluido de trabalho muda de fase e retorna para a zona de evaporação recomeçando o ciclo de operação. As taxas de mudança de temperatura ao longo do comprimento do tubo podem ser calculadas através do modelo matemático proposto com base nestas quatro equações. As equações são discretizadas aplicando o método das diferenças finitas e por fim, o sistema é solucionado através de um método iterativo com passo de integração fixo.*

**Palavras-chave:** Equação de Conservação de Massa; Equação de Conservação de Momentos; Equação dos Gases Ideais; Equação Clapeyron – Clausius; Método Iterativo com Passo de Integração Fixo

## 1. Introdução

O modelo matemático proposto foi desenvolvido para uma dimensão (1D) com o propósito de ser usado em simulações numéricas do escoamento de vapor em tubos de calor de diferentes configurações. As trocas de calor existentes na direção radial, assim como a estrutura porosa não são consideradas ainda neste modelo, uma vez que trata-se de uma abordagem preliminar.

## 2. Metodologia

As equações de conservação de massa (1), conservação de momentos (2), equação de estado (3) e a equação de Clapeyron – Clausius (4) são utilizadas para o cálculo dos parâmetros referentes ao escoamento de vapor. A equação (5) (taxa de evaporação) pode ser usada para calcular as taxas de mudança de temperatura em cada uma das células.

A figura 1 apresenta uma proposta de divisão do canal de vapor em células numéricas (volumes de controle). Os parâmetros são calculados para cada uma das células através de um método de iterativo com passo de integração fixo.

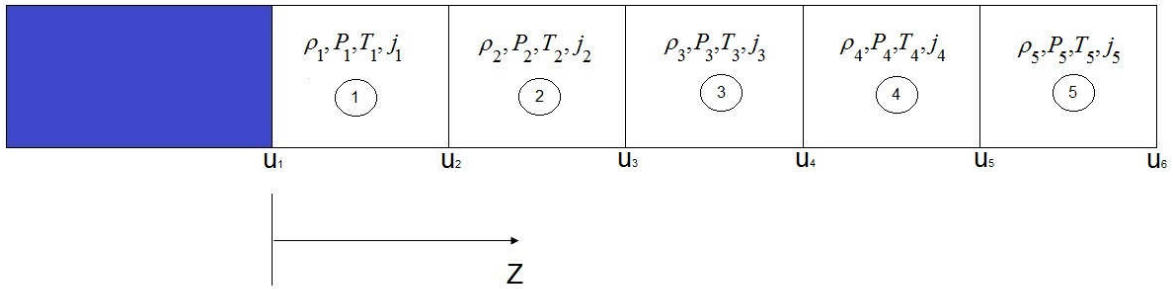


Figura 1. Divisão do canal de vapor de um tubo de calor em células numéricas.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial z} = \frac{4j}{D_v} \quad \rho_i^{t+\Delta t} = \left( \left( \frac{4j_i}{D_v} - \left( \frac{\rho_{i+1}u_{i+1} - \rho_i u_i}{\Delta z} \right) \right) \Delta t \right) + \rho_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} - F_z u$$

$$u_i^{t+\Delta t} = \frac{\left( \left( -\left( \frac{\rho_{i+1}u_{i+1}^2 - \rho_i u_i^2}{\Delta z} \right) - \left( \frac{P_{i+1} - P_i}{\Delta z} \right) - F_{zi} u_i \right) \Delta t \right) - (u_i (\rho_i^{t+\Delta t} + \rho_i))}{\rho_i} + u_i \quad (2)$$

$$P_v = \rho R T_v \quad P_{vi}^{t+\Delta t} = \rho_i R T_{vi} \quad (3)$$

$$\ln\left(\frac{P_v}{P_o}\right) = \frac{\lambda}{R_u} \left( \frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_v} \right) \quad T_{vi}^{t+\Delta t} = \frac{1}{\left( \frac{1}{T_o} \right) - \left( \frac{R}{\lambda} \right) \ln\left(\frac{P_{vi}}{P_o}\right)} \quad (4)$$

$$j = \frac{h(T_w - T_v)}{\lambda} \quad j_i^{t+\Delta t} = \frac{h(T_w - T_{vi})}{\lambda} \quad (5)$$

## Aplicação

O sistema apresentado pode ser usado para simular o funcionamento de tubos de calor na configuração de termosifão e serve como base para o desenvolvimento de modelos mais complexos do escoamento de vapor com a presença de gás não condensável. A próxima etapa deste estudo será a abordagem da dinâmica da difusão entre gás não condensável e vapor em processos de *start up* e *shut down* de tubos de calor de diferentes configurações.

**Agradecimentos:** Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo apoio financeiro na concessão da bolsa de doutorado ao aluno Jorge Bertoldo Junior.

## Referências

Patankar, S. V. (1980) "Numerical heat transfer and fluid flow", Hemisphere, New York.