



## ANÁLISE ANALÍTICA, NUMÉRICA E COMPUTACIONAL DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE TÉRMICO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ALEXIA FLÁVIA FRANÇA VIEIRA<sup>1,2,\*</sup>, GUSTAVO HENRIQUE FIDELIS DOS SANTOS<sup>2,3</sup>, VIVIAN DE MACHADO MENEZES<sup>2,4</sup>

### 1 Introdução/Justificativa

O processo de refrigeração é muito utilizado na indústria alimentícia para conservação de alimentos, normalmente realizado em câmaras frias. Estas são estruturas isoladas termicamente, a fim de que não ocorram trocas térmicas do ambiente interno com o externo. Os materiais e as dimensões das camadas das câmaras são distintos para auxiliarem, através das diferentes propriedades termofísicas dos materiais de cada camada, o isolamento do ambiente (CHAGAS, 2006).

Para compreensão deste sistema multicamada e minimização de coleta de dados, utiliza-se a modelagem computacional e simulação de processos. Para isso, é necessário analisar e compreender o sistema a ser estudado, desenvolver o modelo matemático proposto e por fim utilizar de ferramentas matemáticas para resolver analiticamente ou numericamente as equações propostas com auxílio de *softwares*.

A transferência de calor por condução ocorre quando há contato entre dois ou mais corpos e o calor de um corpo é transferido aos demais, através do movimento molecular dos corpos. A Lei de Fourier é um dos modelos mais utilizados da física para descrever este mecanismo, determinando o fluxo de calor e o gradiente de temperatura (VANIER, 2010).

### 2 Objetivos

<sup>1</sup> Titulação acadêmica Graduação em Engenharia de Alimentos, instituição Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Laranjeiras do Sul, contato: alexia.franca1996@gmail.com

<sup>2</sup> Grupo de Pesquisa: Modelagem teórica e simulação de sistemas físicos - MTSSF

<sup>3</sup> Titulação acadêmica Doutorado em Engenharia Química, instituição Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Laranjeiras do Sul,

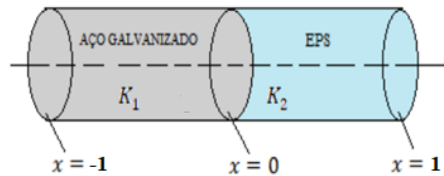
<sup>4</sup> Titulação acadêmica Doutorado em Física, instituição Universidade Federal da Fronteira Sul, **Orientador**.

Modelagem computacional de um sistema multicamadas compostas por materiais diferentes, utilizando abordagens Físicas e Matemáticas em conjunto com *software*.

### 3 Material e Métodos/Metodologia

O estudo da condução de calor em barras homogêneas, com diferentes materiais em contato, foi realizado sob condições de “contato perfeito” na interface desses materiais. Na Figura 1 está ilustrado a barra homogênea do sistema proposto.

**Figura 1:** Barra composta por materiais com propriedades térmicas diferentes.



No problema em questão, a equação do calor é expressa por:

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} - K_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = 0 \quad -1 < x \leq 0 \text{ e } t > 0 \quad (01)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} - K_2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} = 0 \quad 0 < x \leq 1 \text{ e } t > 0 \quad (02)$$

Em que K é a difusividade térmica ( $m^2 s^{-1}$ ).

$$\text{As condições de início foram: } u(x,0) = u_i \quad -1 \leq x \leq 1 \quad (03)$$

E as condições de contorno, incluindo as considerações de contato perfeito foram:

$$x = a \rightarrow u_1 = V_1, \quad t > 0 \quad (03) \quad u_1 = u_2 \quad (05)$$

$$x = b \rightarrow u_2 = V_2, \quad t > 0 \quad (04) \quad K_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} = K_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} \quad (06)$$

O *software* proposto para auxiliar na solução do modelo matemático foi o Maple18®.

### 4 Resultados e Discussão

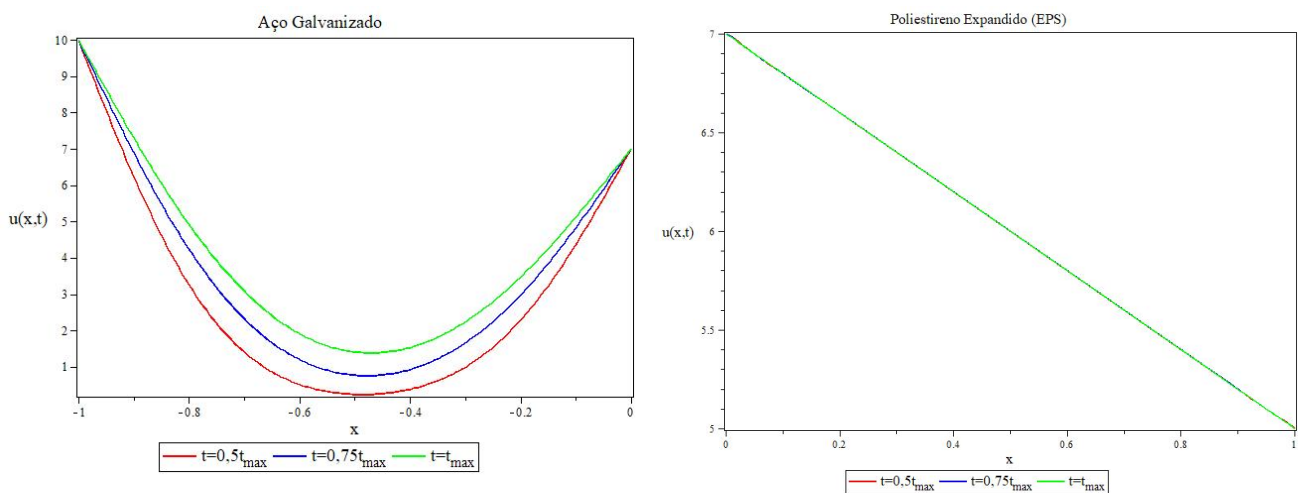
A partir da análise e compreensão do sistema de transferência de calor multicamadas, foram realizadas pesquisas sobre linguagem de programação no *software* Maple18® com o propósito de desenvolver novos códigos de programação para solucionar as equações

diferenciais parciais (Equações 01 a 06). Um dos métodos avaliados foi a resolução analítica das equações diferenciais parciais aplicando Laplace. No entanto, os algoritmos pesquisados até o momento no *software* Maple18® não conseguiram solucionar a inversa de Laplace de funções exponenciais que aparecem ao resolver as equações diferenciais parciais analiticamente.

Outro método avaliado foi a resolução das equações diferenciais parciais aplicando ferramentas computacionais do Maple18®. Utilizando este método foi possível solucionar as equações, no entanto, ainda se encontra dificuldade em conseguir escrever o algoritmo que descreva a condição de contato perfeito (Eq. 06). Além disso, é necessário um maior estudo do *software* em relação a plotar as curvas do modelo no mesmo plano cartesiano.

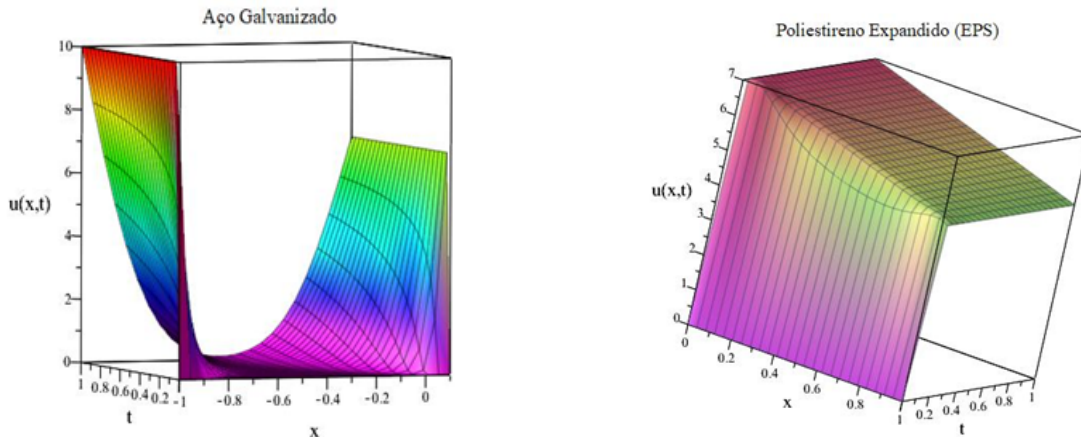
A solução das equações foi realizada utilizando valores de  $K_1 = 14 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  e  $K_2 = 0,12 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  proposto por ALVES (2017) e são apresentadas nas figuras abaixo.

**Figura 2.** Evolução da temperatura ao longo da barra avaliadas para alguns tempos.



Pelas Figuras 2 e 3, a variação da temperatura ao longo da barra de aço galvanizado apresenta comportamento diferente do observado na barra de EPS. Essa diferença se a diferença de grandeza nos valores da difusividade térmica dos materiais. Nas curvas do EPS, a variação da temperatura ao longo da barra é igual para diferentes valores de tempo, enquanto nas curvas do aço galvanizado, há variação no perfil de temperatura ao longo da barra e do tempo.

**Figura 3.** Evolução da temperatura no tempo e ao longo da barra de aço galvanizado e de EPS.



## 5 Conclusão

A utilização do *software* Maple18® tem se mostrado como uma opção para realizar a modelagem computacional e analisar o fenômeno da condução de calor não-estacionário, unidirecional, em uma barra composta por dois materiais (aço galvanizado e isolante térmico).

## Referências

ALVES, C.; WANZELLER, W. G.; DAGNONE, C. A. F. ; CASTRO, G. M. **Aplicação da transformada de Laplace para o problema do transiente térmico em multicamadas.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal da Fronteira Sul. Laranjeiras do Sul-PR. 2017.

CHAGAS, J. A. C. **Projeto e construção de câmaras frigoríficas.** YORK Refrigeration. Joinville-SC, 2006.

VANIER, R. **Determinação de propriedades térmicas de materiais em paredes compostas utilizando o método do problema inverso.** Dissertação de Pós-Graduação. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí – RS. 2010.

**Palavras-chave:** Modelagem Matemática; Câmara fria; Transferência de Calor.

**Financiamento:** Universidade Federal da Fronteira Sul.