



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 2

Atena  
Editora  
Ano 2019

**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na  
Engenharia Mecânica**  
**2**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-247-0

DOI 10.22533/at.ed.470190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO UNIDIMENSIONAL COM SOLUÇÃO SUAVE UTILIZANDO MALHA ADAPTATIVA	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Hélio Ribeiro Neto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
USO DE MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS NA RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Alessandro Alves Santana</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
MÉTODOS NUMÉRICOS: DIFERENÇAS FINITAS E GUIA DE ONDAS DIGITAIS 1D E 2D - COMPARATIVO DE FREQUÊNCIAS	
<i>Brenno Lobo Netto Peixoto</i> <i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>43</b>
INFLUÊNCIA DA DISCRETIZAÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL EM PROBLEMA PURAMENTE ADVECTIVO	
<i>Thiago Fernando Santiago de Freitas</i> <i>Andreia Aoyagui Nascimento</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
FRONTEIRA IMERSA PARA CORPOS ESBELTOS	
<i>João Rodrigo Andrade</i> <i>Aristeu Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELLING OF GAS-SOLID TURBULENT FLOWS IN COMPLEX GEOMETRIES	
<i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>João Marcelo Vedovoto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>69</b>
ESTUDO NUMÉRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA TRANSIENTE EM PLACAS	
<i>William Denner Pires Fonseca</i>	

*Táisa Santos Machado  
Eduardo Mendonça Pinheiro  
José Felipe Lopes de Carvalho  
Sidney da Conceição Alves  
Thiago Santana de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905047**

**CAPÍTULO 8 ..... 83**

IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL E PROJETO DE UM PID PARA UM  
SERVOMECANISMO

*Wesley Pereira Marcos  
Rodrigo Hiroshi Murofushi  
Bruno Luiz Pereira*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905048**

**CAPÍTULO 9 ..... 98**

MODELAGEM ESTOCÁSTICA DE ESTRUTURAS COMPÓSITAS CONTENDO  
SHUNT RESISTIVO PARA O CONTROLE PASSIVO DE VIBRAÇÕES

*Lorrane Pereira Ribeiro  
Antônio Marcos Gonçalves de Lima  
Victor Augusto da Costa Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905049**

**CAPÍTULO 10 ..... 114**

PROJETO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CHASSI  
TIPO SPACE FRAME MINI-BAJA

*Marcos Claudio Gondim  
Ellberlandyo Lima Grangeiro  
Antonio Eurick Soares Campelo  
Lucas Rodrigues Oliveira  
Bruno de Oliveira Carvalho*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050410**

**CAPÍTULO 11 ..... 126**

SIMULAÇÕES DOS ESFORÇOS VIBRACIONAIS DO CABO CAA 795 MCM (TERN)  
ATRAVÉS DE MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS DE VIBRAÇÃO

*Jhonattan Dias  
Rodrigo Canestraro Quadros  
Marcos Jose Mannala  
Marcio Tonetti*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050411**

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE FREIO APLICADO A UM VEÍCULO  
OFF-ROAD DO TIPO BAJA-SAE

*Felipe Alencar Motta  
Lucas Rocha Dias da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050412**

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>146</b>
OTIMIZAÇÃO DA ESCOLHA DA RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES ATRAVÉS DE MODELAGEM MATEMÁTICA: O PROJETO BAJA SAE	
<i>Pedro Melo Biz</i> <i>Leonardo Gomes</i> <i>Antônio Brasil</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>157</b>
ANÁLISE CINEMÁTICA DE SUSPENSÃO TRAILING ARM COM CAMBER LINKS PARA VEÍCULO OFF-ROAD	
<i>Francisco José Rodrigues de Sousa Júnior</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gustavo Luis dos Santos Silva</i> <i>Antônio Ítalo Rodrigues Pedrosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>169</b>
APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE 2ª ORDEM EM SUSPENSÃO VEICULAR	
<i>Alaí de Souza Machado</i> <i>Pedro Henrique Rodrigues Taveira</i> <i>Filipe Gomes Soares</i> <i>Domingos dos Santos Ponciano</i> <i>Marcus Victor de Brito Rodrigues</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gean Carlos Moura Mota</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>178</b>
ANÁLISE AERODINÂMICA: SIMULAÇÃO FLUIDO DINÂMICA DO PROTÓTIPO EC-05 DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EQUIPE COYOTE	
<i>Paulo Henrique Pereira Araujo</i> <i>Josué Alves Rodrigues Junior</i> <i>Thaiane Mayara Marques Licar</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>190</b>
APLICAÇÃO DE SISTEMAS NEURO-FUZZY NA PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE SUSTENTAÇÃO DO AEROFÓLIO NACA 1412	
<i>Vitor Taha Sant'Ana</i> <i>Bruno Luiz Pereira</i> <i>Tobias Moraes</i> <i>Roberto Mendes Finzi Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050417</b>	

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>195</b>
AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONTROLE ATIVO DE RUÍDO EM VENEZIANAS ACÚSTICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS VIA ELEMENTOS FINITOS	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>203</b>
ABSORVEDORES ACÚSTICOS DE RUÍDO: MODELAGEM NUMÉRICA	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Israel Jorge Cárdenas Nuñez</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>211</b>
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESCOLHA DAS DIMENSÕES DO RECEPTOR NO MÉTODO DO TRAÇADO DE RAIOS ACÚSTICOS	
<i>Henrique Gebran Silva</i>	
<i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<i>Pollyana Alves Resende</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050420</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>228</b>

## ESTUDO NUMÉRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA TRANSIENTE EM PLACAS

### **William Denner Pires Fonseca**

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Campinas – SP

### **Táisa Santos Machado**

Faculdade Pitágoras de São Luís  
São Luís – MA

### **Eduardo Mendonça Pinheiro**

Faculdade Pitágoras de São Luís  
São Luís – MA

### **José Felipe Lopes de Carvalho**

Faculdade Pitágoras de São Luís  
São Luís – MA

### **Sidney da Conceição Alves**

Faculdade Pitágoras de São Luís  
São Luís – MA

### **Thiago Santana de Oliveira**

Faculdade Pitágoras de São Luís  
São Luís – MA

**RESUMO:** O presente estudo visa o modelamento, a elaboração e a implementação de um algoritmo computacional para o cálculo da distribuição de temperatura unidimensional transiente em coordenadas retangulares. A equação da condução de calor é discretizada pelo Método dos Volumes Finitos e o programa é elaborado através do software MATLAB®. Inicialmente é verificado como se comportado o perfil de temperatura para diferentes passos de tempo, posteriormente, o programa é validado

com a comparação dos resultados obtidos com resultados experimentais provenientes da literatura. Percebe-se que a distribuição de temperatura começa com um perfil hiperbólico e com a evolução no tempo este se torna linear. **PALAVRAS-CHAVE:** Distribuição de Temperatura, Método dos Volumes Finitos, MATLAB®.

**ABSTRACT:** The present study aims at the modeling, elaboration and implementation of a computational algorithm for the calculation of the transient one-dimensional temperature distribution in rectangular coordinates. The heat conduction equation is discretized by the Finite Volume Method and the program is elaborated using the MATLAB® software. Initially it is verified how the temperature profile behaved for different steps of time, later, the program is validated with the comparison of the results obtained with experimental results from the literature. *rite the English version with the same structure using italic characters.*

**KEYWORDS:** Temperature Distribution, Finite Volume Method, MATLAB®

## 1 | INTRODUÇÃO

A condução é o processo de transferência de calor no qual a transferência de energia

ocorre das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas (ÇENGEL; GHAJAR, 2012) e (Bergman et al, 2015). Um dos objetivos principais da análise da condução de calor é determinar o campo de temperaturas em um meio resultante das condições impostas em suas fronteiras, ou seja, deseja-se conhecer a distribuição de temperaturas que representa como a temperatura varia com a posição no meio. Uma vez conhecida essa distribuição, o fluxo de calor por condução em qualquer ponto do meio ou na sua superfície pode ser determinado através da lei de Fourier (BANDINI, 1997). Bandini (1997) comenta que o estudo do fluxo de calor pode ser determinado de várias formas, dentre estas destacam-se, as análises experimentais e computacionais. Os estudos experimentais podem apresentar maior confiabilidade nos resultados em relação aos métodos computacionais, entretanto, ainda são procedimentos demorados, com custos bastante elevados e também possuem uma série de erros e incertezas associados aos experimentos que devem ser estudados com cautela. Já os métodos computacionais permitem análises mais rápidas e com custos inferiores, sobretudo devido à capacidade de processamento dos computadores digitais, o que torna os métodos computacionais uma importante ferramenta. Neste contexto, o presente trabalho busca o modelamento, a elaboração e a implementação de um algoritmo computacional para o cálculo da distribuição de temperatura unidimensional transiente em coordenadas retangulares.

## 2 | FORMULAÇÃO MATEMÁTICA E MÉTODO NUMÉRICO

Para o desenvolvimento do modelo matemático foram admitidas as seguintes hipóteses simplificadoras:

- Fluxo de calor ocorre somente na direção x;
- Propriedades termo físicas constantes;
- Não há geração interna de energia.

De acordo com Bergman et al., (2015), o processo de transferência de calor por condução, independentemente de sua natureza, pode ser expresso matematicamente pela equação da condução térmica, esta é expressa pela Eq. (1).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Considerando as hipóteses simplificadoras já mencionadas, a equação apresentada é reduzida a:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \alpha \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$ ,  
 Onde:  $\rho c_p$ , difusividade térmica.

As condições de contorno utilizadas no presente trabalho foram dimensionadas de maneira a verificar a evolução do campo de temperatura ao longo da placa, a condição adotada na entrada do domínio computacional é de primeira espécie, comumente chamada de condição de Dirichlet, em termos matemáticos esta é expressa por:

$$T(0,t) = T_s \quad (3)$$

Para a saída do domínio optou-se pela condição de terceira espécie (tipo Robin), esta é apresentada por:

$$k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_f} = h_{\infty,I} [T_I - T_{\infty,E}] \quad (4)$$

As temperaturas utilizadas na entrada e saída do domínio computacional foram de 38°C e 28°C respectivamente e o coeficiente de convecção térmica é a ordem de 30 W/m.K.

A equação da condução térmica foi discretizada pelo Método dos Volumes Finitos, onde este procedimento consiste em integrar, no volume de controle finito, a equação diferencial na forma conservativa (PATANKAR, 1980) e (MALISKA, 2004). O desenvolvimento numérico foi elaborado ainda com base em uma malha unidimensional em coordenadas retangulares, isto é, na direção coordenada das abscissas x.

Partindo da equação da difusão térmica, Eq. (2), e efetuando a integração no tempo e no volume de controle, temos:

$$\int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dt = \alpha \int_w^e \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial T}{\partial t} dt dx \quad (5)$$

Como resultado das integrações no espaço e no tempo da primeira e segunda sentença da equação, obtém-se respectivamente:

$$\int_t^{t+\Delta t} \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_e - \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_w \right] dt = \alpha \int_w^e (T_p^1 - T_p^0) dx \quad (6)$$

Utilizando uma aproximação linear, no qual  $\Delta x$  representa a distância entre os pontos da malha computacional e aplicando a formulação totalmente implícita para a discretização temporal do lado esquerdo da equação, temos:

$$\int_t^{t+\Delta t} \left[ \frac{T_E - T_P}{\Delta x_e} - \frac{T_P - T_W}{\Delta x_w} \right] dt = \alpha (T_p^1 - T_p^0) \Delta x \quad (7)$$

Ou ainda,

$$\left[ \frac{T_E^1 - T_P^1}{\Delta x_e} - \frac{T_P^1 - T_W^1}{\Delta x_w} \right] - \left[ \frac{T_E^0 - T_P^0}{\Delta x_e} - \frac{T_P^0 - T_W^0}{\Delta x_w} \right] = \alpha (T_p^1 - T_p^0) \Delta x \quad (8)$$

Desacoplando os termos referentes à difusividade térmica e linearizando o termo fonte, obtém-se equação geral de discretização, onde esta é expressa por (PATANKAR, 1980):

$$a_P T_P = a_E T_E + a_W T_W + b \quad (9)$$

Sendo os coeficientes:

$$a_E = \frac{k_e}{(\delta x)_e}$$

$$a_P^0 = \frac{\rho c_P \Delta x}{\Delta t}$$

$$b = S_C \Delta x + a_P^0 T_P^0$$

$$a_P = a_E + a_W + a_P^0 - S_P \Delta x$$

Onde, o valor já conhecido da temperatura no ponto P que é o nível de tempo anterior  $t$ , é simbolizado pelo sobrescrito “0”, e o nível de tempo atual,  $t + \Delta t$ , no qual se busca a solução, é representado pelo sobrescrito “1”.

As simulações foram realizadas com um domínio de 20 volumes de controle, as cotas da velocidade foram calculadas utilizando o arranjo deslocado e o método de solução utilizado foi o iterativo, mais precisamente o algoritmo de Thomas (TDMA). Foram utilizados ainda um fator de convergência da ordem de  $10^{-3}$ , com 5000 iterações, sendo que o incremento de tempo utilizado foi 0,1 s ao passo de tempo de 50000, 150000 e 300000 s.

Caso o critério de convergência adotado para os cálculos da distribuição de temperatura for atingido dentro do passo de tempo, este é incrementado e uma nova estação é calculada. Esta sequência é repetida até que seja atingido o número máximo de iterações. Se, ao contrário, o critério de convergência não for atingido, ainda no mesmo passo de tempo determina-se uma nova entrada até atingir a convergência.

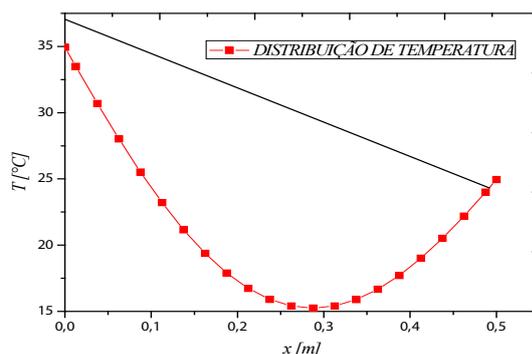
O algoritmo computacional do problema (Anexo A) foi desenvolvido com um auxílio de um microcomputador e do software MATLAB®, disponível na rede computacional do MSILAB/UEMA.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na metodologia apresentada anteriormente, nesta parte do trabalho serão apresentados e discutidos os resultados obtidos.

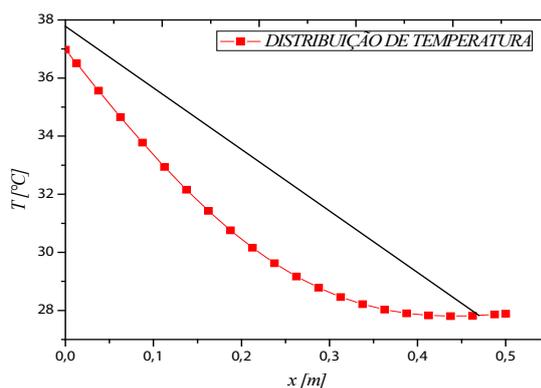
A Fig. (1) explana a distribuição de temperatura para o tempo de 50000 s. Observa-se para esta situação uma curva hiperbólica, isto era esperado, pois de acordo com Maliska (2004), para passos de tempo relativamente pequenos o calor apenas começa

a penetrar o domínio computacional.



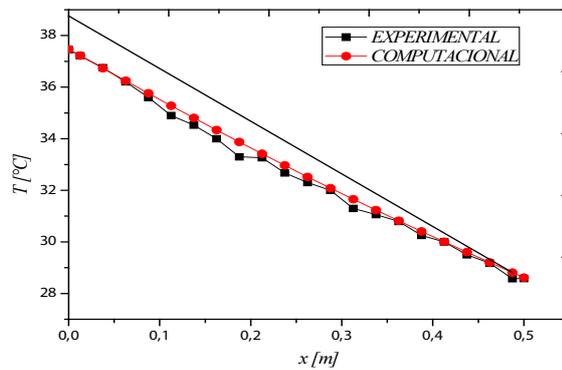
**Figura 1.** Distribuição de temperatura para  $t = 50000s$

Continuando-se a evolução ao longo do tempo ( $t = 150000s$ ), percebe-se na Fig. (2) uma distribuição exponencial de temperatura, levando a tendência de uma curva linear.



**Figura 2.** Distribuição de temperatura para  $t = 150000s$

A Fig. (3) explica a distribuição de temperatura para o tempo de 300000 s. Verifica-se que para esse passo de tempo, há a obtenção de uma curva linear, levando o perfil de temperatura ao regime permanente. Nesse caso, quando tal regime é atingido, a Eq. (2) se reduz à derivada segunda igual a zero. Como a aproximação numérica dessa derivada reproduz um perfil linear (MALISKA, 2004), tem-se que a solução numérica é a própria solução exata.



**Figura 3.** Distribuição de temperatura para  $t = 300000s$

A Fig. (3) explica ainda a comparação dos resultados computacionais e experimentais, verifica-se que as curvas estão bem próximas, chegando assim à conclusão de que o algoritmo computacional para análises dos campos de temperatura em placas planas foi bem elaborado.

#### 4 | CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a elaboração de um algoritmo computacional para o cálculo da distribuição de temperatura em placas planas, cujo objetivo deste é a implementação do algoritmo em situações reais que necessita da análise destes campos.

Conclui-se com pesquisa que a distribuição de temperatura em coordenadas retangulares é transiente até certo passo de tempo, e que depois esta se torna permanente, isto ocorre pelo fato de que quanto mais há a evolução no tempo, as aproximações numéricas tendem a se tornar uma derivada segunda igual à zero. Foi observado também que, os métodos computacionais podem auxiliar de forma ativa os experimentos laboratoriais.

#### 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Laboratório de Simulação Numérica (MSiLAB) da Universidade Estadual do Maranhão pela infraestrutura disponibilizada para a elaboração desse trabalho e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico do Maranhão pela concessão de Bolsa ao segundo autor.

#### REFERÊNCIAS

BANDINI, M. A. **Simulação numérica dos campos de temperatura e velocidade em armazenadores térmicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal

do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1997.

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A.S.; INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7ed. São Paulo: LTC, 2015. 672 p.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. F. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. 903 p.

MALISKA, C.R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. 2 ed: São Paulo: LTC, 2004. 453 p.

PATANKAR, S.V. **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**. Hemisphere Publishing. 1980.

## ANEXO A

### Algoritmo computacional do problema

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%%% ESTE PROGRAMA CALCULA A DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM UMA  
PLACA
```

```
%%% APLICANDO O ALGORITMO DE THOMAS E O MÉTODO DE VOLUMES FINI-  
TOS
```

```
%%% O PROBLEMA É DITO UNIDIMENSIONAL E TRANSIENTE
```

```
%%% A DISCRETIZAÇÃO NO TEMPO É O MÉTODO TOTALMENTE IMPLICITO
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
clear all
```

```
clc
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%GERANDO A MALHA DO PROBLEMA, VALORES LIMITES DO DOMINIO
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%DE CALCULO DO PROBLEMA, XL E YL
```

```
%
```

```
XL = 0.5; %DIMENSÃO MÁXIMA DO DOMINIO NA DIREÇÃO X
```

```
%
```

```

% NUMERO DESEJAVEL DE VOLUMES DE CONTROLE NAS DIREÇÕES X E Y
% RESPECTIVAMENTE, NVOLX, NVOLY
%
NVX = 20;
%
%%%%%%%%% DEFININDO O SISTEMA DE COORDENADAS, MODE = 2 PARA
%%%%%%%%% COORD.CILINDRICA E MODE=1 PARA COORD. CARTESIANAS
%
MODE = 1;
%
%%%%%%%%% CALCULO DO NUMERO MAXIMO DE NÓS EM X E Y (L1, M1)
%
L1 = NVX+2; % DIREÇÃO X
L2 = L1-1;
L3 = L2-1;
%
%%%%%%%%% ESTA FUNCTION GERA AS FACES DO VOLUME DE CONTROLE DESLOCA-
DO PARA
%%%%%%%%% DETERMINAÇÃO DAS COTAS DA VELOCIDADE
%
XU(2) = 0;
DX1 = XL/NVX;
    for i=3:L1
        XU(i) = XU(i-1)+DX1;
    end
X(1) = XU(2);
X(L1) = XU(L1);
    for i=2:L2
        X(i) = (XU(i+1)+XU(i))*0.5;
    end
end

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
$$$$$ GERANDO O COMPRIMENTO DAS FACES DO VOLUMES DE CONTROLE
```

```
% DX = distancia entre um nó e outro
```

```
% XVC = distancia entre uma face e outra
```

```
%%%%%%%%
```

```
for i = 1:L1
```

```
    if i == 1
```

```
        DX(i)=0;
```

```
        XVC(i) = 0;
```

```
    elseif i == L1
```

```
        DX(i)= X(i)-X(i-1);
```

```
        XVC(i) = 0;
```

```
    else
```

```
        DX(i) = X(i)-X(i-1); % TAMANHO DA GRADE (ENTRE PONTOS) - X
```

```
        XVC(i) = XU(i+1)-XU(i); % TAMANHO DO VOLUME DE CONTROLE - X
```

```
    end
```

```
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%%%%%%%%
```

```
%%% CONDIÇÕES INICIAIS E DE CONTORNO
```

```
%%%%%%%%
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
K = 0.8;
```

```
ALFA = 5e-6;
```

```
HO=30; % COEFICIENTE DE PELÍCULA AR EXTERNO (W/m2K)
```

```
HI=20; % COEFICIENTE DE PELÍCULA AR INTERNO (W/m2K)
```

```

TFO=38;           % TEMPERATURA DO AR EXTERNO(°C)
TFI=28;           % TEMPERATURA DO AR INTERNO(°C)
alfaT = 1.5;      % Fator de Relação
PDT = ('Entre com o PDT'); % PASSO DE TEMPO
DT = 0.1;         % INCREMENTO DE TEMPO
CONVT = 1E-4;     % CRITÉRIO DE CONVERGENCIA
ITER = 0;
NITER = 5000;     % NUMERO DE ITERAÇÕES
t = 0;
to = waitbar (0,'Em processamento, aguarde...');
%AA = avifile('Temperatura3.avi');
%-----
% TERMO DIFUSIVO
%-----
for i=2:L2
    AE(i)= 1/DX(i+1);
    AW(i)= 1/DX(i);
end
%-----
% TERMO FONTE
%-----
for i=2:L2
    APO(i)= XVC(i)/(ALFA*DT);
end
%-----
% CONDIÇÃO INICIAL
%-----
for i=2:L2
    T(i)= 0;

```

```

end

%-----
% CONDIÇÃO DE CONTORNO
%-----

for i = 1:L1

    if i==1 % PAREDE EXTERNA

        
$$T(i) = (K \cdot T(i+1) + DX(i+1) \cdot HO \cdot TFO) / (K + DX(i+1) \cdot HO);$$


    elseif i==L1 % PAREDE INTERNA

        
$$T(i) = (K \cdot T(i-1) + DX(i) \cdot HI \cdot TFI) / (K + DX(i) \cdot HI);$$


    end

end

end

%-----
% ATUALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS
%-----

for i=1:L1

    T1(i)=T(i);

end

%T1

fprintf('=====\n');
fprintf('ITER   tf   RESIDUO   T1\n');
fprintf('=====\n');

for TIME=1:PDT

    TIME_DIM = TIME*DT;

    waitbar(TIME/PDT,to);

    for ITER = 1:NITER;

        %-----

        % MONTAGEM DA MATRIZ

        %-----

        for i = 2:L2

```

```

if i==2

    a(i)= APO(i)+AE(i)+AW(i);

    b(i)= AE(i);

    c(i)= 0;

    d(i)= AW(i)*T1(i-1)+APO(i)*T(i);

elseif i==L2

    a(i)= APO(i)+AE(i)+AW(i);

    b(i)= 0;

    c(i)= AW(i);

    d(i)= AE(i)*T1(i+1)+APO(i)*T(i);

else

    a(i)= APO(i)+AE(i)+AW(i);

    b(i)= AE(i);

    c(i)= AW(i);

    d(i)= APO(i)*T(i);

end

end

%-----
% ALGORITMO TDMA
%-----

for i=2:L2

    if i==2

        P(i)= b(i)/a(i);

        Q(i)= d(i)/a(i);

    else

        P(i)= b(i)/(a(i)-c(i)*P(i-1));

        Q(i)= (d(i)+c(i)*Q(i-1))/(a(i)-c(i)*P(i-1));

    end

end

end

```

```

T(L2)= Q(L2);

for i = L2-1:-1:2

    T(i)= P(i)*T(i+1)+Q(i);

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%=====
=====

%                CRITERIO DE CONVERGENCIA

%=====
=====

RESIDT = abs((T1(i)-T(i))/T1(i));

if RESIDT <= CONVT

    break

end

%-----

% ATUALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

%-----

for i = 1:L1

    if i==1

        T(i) = (K*T(i+1)+DX(i+1)*HO*TFO)/(K+DX(i+1)*HO);

    elseif i==L1

        T(i) = (K*T(i-1)+DX(i)*HI*TFI)/(K+DX(i)*HI);

    end

end

for i=1:L1

    T1(i)= alfaT*T(i)+(1-alfaT)*T1(i);

end

ITER = ITER+1;

end

```

```

% fprintf('%2d %f %8.4e %f\n',ITER,TIME_DIM,RESIDT,T1(i));

% T1;

%-----

% GERA UM ANIMAÇÃO

%-----

% F=getframe;
% AA = addframe(AA,F);
% %n=20;
% figure(1)
% plot(X,T1);
% xlabel('ESPESSURA DA PAREDE (metros)');
% ylabel('TEMPERATURA (CELSIUS)');
% axis tight

end

close(to)

%T1

plot(X,T1);

xlabel('ESPESSURA DA PAREDE (metros)');

ylabel('TEMPERATURA (CELSIUS)');

legend ('VARIAÇÃO TRANSIENTE DA TEMPERATURA')

axis tight

grid on

```

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Henrique Ajuz Holzmann** - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-247-0

