



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
Faculdade de Engenharia Mecânica



**NOME DO AUTOR**

**Título da tese Título da tese Título da tese**  
**Título da tese Título da tese**

**NOME DO AUTOR**

**Título da tese Título da tese Título da tese  
Título da tese Título da tese**

Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Nome do Orientador

Coorientador: Prof. Dr. Nome do Coorientador

Uberlândia  
2020

Esta página será substituída pela ficha catalográfica da biblioteca.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

**Título da tese Título da tese Título da tese  
Título da tese Título da tese**

Autor: Nome do Autor

Orientador: Prof. Dr. Nome do Orientador

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:

---

**Prof. Dr. Nome Completo do Orientador, Presidente**  
**Departamento/Unidade/Instituição**

---

**Prof. Dr. Nome Completo do Membro Interno**  
**Departamento/Unidade/Instituição**

---

**Prof. Dr. Nome Completo do Membro Interno**  
**Departamento/Unidade/Instituição**

---

**Prof. Dr. Nome Completo do Membro Externo**  
**Departamento/Unidade/Instituição**

---

**Prof. Dr. Nome Completo do Membro Externo**  
**Departamento/Unidade/Instituição**

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se com a secretária da pós-graduação.

Uberlândia, 20 de abril de 2020.

*Elemento opcional no qual o autor  
presta homenagem ou dedica seu  
trabalho para uma ou mais pessoas.*

## **Agradecimentos**

Elemento opcional no qual o autor faz agradecimentos dirigidos àqueles que contribuíram de maneira relevante à elaboração do trabalho.

Texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo.

Texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo.

Texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo.

Texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo.

Texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo.

Texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo.

Por fim, agradeço aos membros da banca examinadora, pela disposição em avaliar o presente trabalho e à CAPES/CNPq, pelo apoio financeiro concedido ao longo do mestrado.

*Parece ser uma das características  
fundamentais da natureza que as leis  
físicas fundamentais sejam descritas em  
termos de uma teoria matemática de  
grande beleza e poder.*

---

Paul Dirac

## Resumo

SOBRENOME, Nome. Título da tese Título da tese Título da tese Título da tese Título da tese Título da tese. 29p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

[illegible]

*Palavras-chave:* Palavra1, Palavra2, Palavra3, Palavra4, Palavras5.



## Abstract

LASTNAME, Name. Thesis title Thesis title Thesis title Thesis title Thesis title Thesis title  
Thesis title. 29p. Ph.D. Thesis. School of Mechanical Engineering, Federal University of  
Uberlândia, Uberlândia, 2020.

[illegible]

**Keywords:** Keyword1, Keyword2, Keyword3, Keyword4, Keyword5.

## **Lista de Ilustrações**

1.1	Exemplo de uma figura simples. . . . .	18
1.2	Exemplo de quatro figuras agrupadas. . . . .	19

## **Lista de Tabelas**

1.1	Exemplo de título de tabela . . . . .	18
1.2	Exemplo de Cronograma. . . . .	19

## Lista de Abreviaturas e Siglas

<b>ADI</b>	Direção implícita alternada, do inglês <i>Alternating Direction Implicit</i>
<b>CDS</b>	Esquema da diferença central, do inglês <i>Central Differencing scheme</i>
<b>CFD</b>	Dinâmica dos fluidos computacional, do inglês <i>Computational Fluid Dynamics</i>
<b>CFL</b>	<i>Courant Friedrichs Lewy</i>
<b>DNS</b>	Simulações numéricas diretas, do inglês <i>direct numerical simulations</i>
<b>FOU</b>	<i>Upwind</i> de primeira ordem, do inglês <i>First Order Upwind</i>
<b>LOADS</b>	Esquema de diferenciação localmente analítico, do inglês <i>Locally Analytic Differencing Scheme</i>
<b>MAC</b>	<i>Marker and Cell</i>
<b>MDF</b>	Métodos das diferenças finitas
<b>MEF</b>	Métodos dos Elementos Finitos
<b>MVF</b>	Métodos dos Volumes Finitos
<b>QUICK</b>	Interpolação quadrática a montante para a cinemática convectiva, do inglês <i>Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics</i>
<b>QUICKER</b>	Interpolação quadrática a montante para a cinemática convectiva estendida e revisada, do inglês <i>Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics Extended and Revised</i>
<b>RMS</b>	<i>Root Mean Square</i>
<b>SIMPLE</b>	<i>Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation</i>
<b>SIMPLEC</b>	<i>Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation Consistent</i>
<b>SIMPLER</b>	<i>Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation Revised</i>
<b>SOU</b>	<i>Upwind</i> de segunda ordem, do inglês <i>Second Order Upwind</i>
<b>SOUB</b>	<i>Second Order Upwind Biased</i>
<b>TDMA</b>	<i>Tridiagonal Matrix Algorithm</i>
<b>UNIFAES</b>	Esquema de abordagem finita unificada do tipo exponencial, do inglês <i>Unified Finite Approaches Exponential-type Scheme</i>

## Lista de Símbolos

### Letras Latinas

$A_i$	Coeficientes de influência modificados	
$a_i$	Coeficientes de influencia das equações do momento discretizadas	
$C_f$	Coeficiente de atrito	
$D$	Dilatação, divergente de velocidade	
$D_i$	Termo da difusão adimensional	
$ER$	Razão de expansão do canal	
$F_i$	Fluxo de massa convectiva	
$H$	Altura total do canal	
$h$	Altura do degrau	
$h_E$	Altura do comprimento de entrada do degrau	$[m]$
$J$	Fluxos viscosos e advectivos combinados através do contorno da célula	
$K$	Termo fonte da equação geradora	
$L_c$	Comprimento característico	
$P$	Pressão física, mais carga hidrostática	
$Pe$	Número de Peclet	
$Re$	Número de Reynolds	
$S$	Termo fonte da equação de transporte	
$S_a$	Termo fonte da equação de transporte discretizada	
$t$	Tempo adimensional	
$u$	Componente de velocidade na direção x	
$v$	Componente de velocidade na direção y	
$V_c$	Velocidade característica	
$X_i/h$	Comprimentos característicos de cada região de recirculação	

## Letras Gregas

$\chi$	Função real para o número de Peclet celular
$\Gamma$	Difusividade
$\lambda$	Autovalor da Solução elementar
$\mu$	Viscosidade dinâmica do fluido
$\nu$	Viscosidade cinemática do fluido
$\omega$	Sub-relaxação adotada no método de Gauss-Siedel
$\phi$	Variável genérica
$\Pi$	Coeficientes de influência no esquema de Allen e Southwell
$\pi$	Função real para o número de Peclet celular
$\psi$	Termo de correção para as equações do momentum discretizadas
$\rho$	Densidade do fluido
$\tau_w$	Tensão de cisalhamento na parede
$\theta$	ângulo entre a malha e o escoamento

## Constantes Físicas

$c$	Velocidade da luz em um sistema inercial	$299,792,458 \text{ m/s}$
$g$	Constante Gravitacional	$6.67384 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
$h$	Constante de Plank	$6.62607 \times 10^{-34} \text{ Js}$

## Sumário

<b>Lista de Ilustrações</b>	<b>10</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>11</b>
<b>Lista de Abreviaturas e Siglas</b>	<b>12</b>
<b>Lista de Símbolos</b>	<b>13</b>
<b>Sumário</b>	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1 Motivação . . . . .	17
1.2 Objetivos . . . . .	17
1.3 Justificativa . . . . .	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>20</b>
2.1 Aspectos Práticos . . . . .	20
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>21</b>
3.1 Motivação . . . . .	21
<b>4 METODOLOGIA E APLICAÇÕES</b>	<b>22</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>23</b>
5.1 title . . . . .	23
5.1.1 title . . . . .	23
5.1.1.1 title . . . . .	23
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>25</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>26</b>
<b>A – Primeiro Apêndice</b>	<b>26</b>
<b>B – Segundo Apêndice</b>	<b>27</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>28</b>
<b>A – Primeiro Anexo</b>	<b>28</b>







texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo, texto de exemplo.

1.3 Justificativa

Tabela 1.1: Exemplo de título de tabela

Cabeçalho 1	Cabeçalho 2	Cabeçalho 3	Cabeçalho 4
Texto	número	número	número
Texto	número	número	número
Texto	número	número	número
Texto	número	número	número
Texto	número	número	número

Atenção ao fazer citações a referências para garantir o uso da forma correta, considerando os seguintes exemplos:

- Se desejar que uma citação a uma referência apareça no final da frase, use com o comando “citep”. Exemplo: “Tal coisa é muito melhor do que aquela outra coisa (Modest, 2013; Modest e Haworth, 2016)”
- Se desejar que uma citação a uma referência apareça no meio da frase, como parte da própria frase, use o comando “citet”. Exemplo: “De acordo com Modest (2013), tal coisa é muito melhor do que aquela outra coisa.”
- **Atenção** - nunca usar o comando “citep” para citações a referências que aparecem no meio da frase, como parte da própria frase. Exemplo: “De acordo com (Modest, 1991), tal coisa é muito melhor do que aquela outra coisa.”

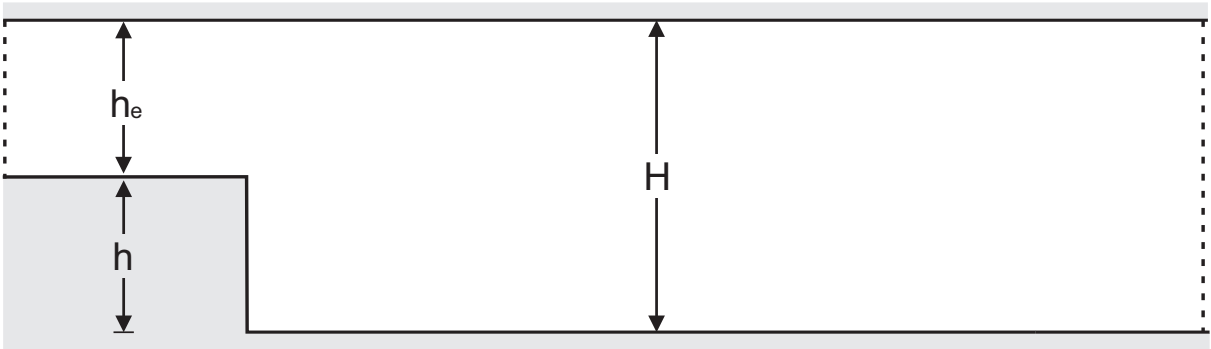
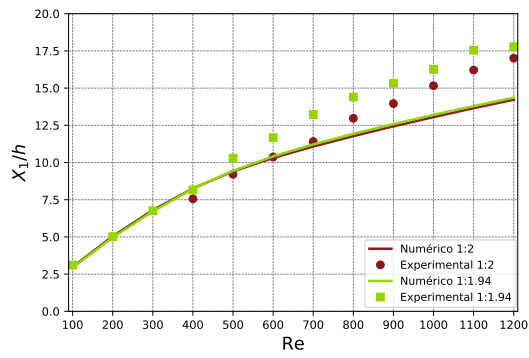
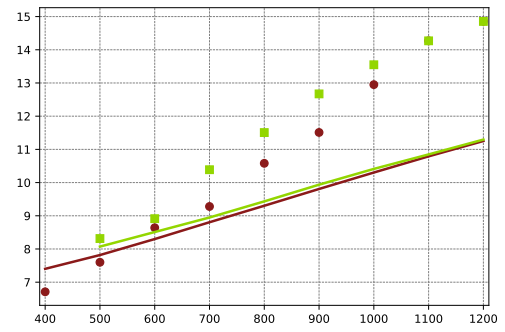


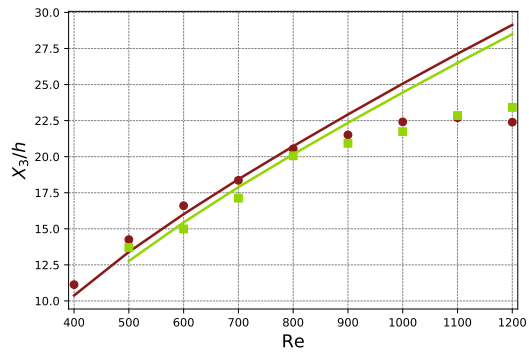
Figura 1.1: Exemplo de uma figura simples.



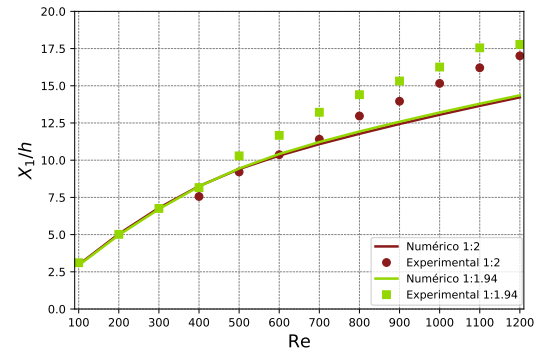
(a) Solução A



(b) Solução B



(c) Solução C



(d) Solução D

Figura 1.2: Exemplo de quatro figuras agrupadas.

Tabela 1.2: Exemplo de Cronograma.

Etapas	2019				2020				2021				2022			
	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	x	x	x	x												
C			x	x	x											
D					x	x	x	x								
E							x	x	x	x						
F								x	x	x	x	x				
G									x	x	x	x				
H										x	x	x	x			
I												x	x	x	x	x
J												x	x	x	x	x
K						x		x		x		x		x		x
L										x	x	x	x	x	x	x













## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MODEST, M.F. The weighted-sum-of-gray-gases model for arbitrary solution methods in radiative transfer. **Journal of Heat Transfer**, v. 113, n. 3, 650–656, aug 1991.

MODEST, M.F. **Radiative Heat Transfer**. Elsevier LTD, Oxford, 2013. ISBN 0123869447.

MODEST, M.F. e HAWORTH, D.C. **Radiative Heat Transfer in Turbulent Combustion Systems**. Springer-Verlag GmbH, 2016. ISBN 9783319272917.







