



**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

**TESE DE DOUTORADO**

**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

Coorientador: Prof. Dr. Nome do Coorientador

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.

Quando se tratar de dissertações e teses que receberam auxílio financeiro de agências de fomento é recomendada a referência ao apoio recebido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo no nnnnnn/aaaa-d.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), processo aaaa/nnnnn-d.

Texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo,  
texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo,  
texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo.

Texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo,  
texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo,  
texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo, texto de ejemplo.

*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. 30p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

Elemento obrigatório elaborado conforme NBR6028 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003), apresentado em um só bloco de texto sem recuo de parágrafo consistindo na apresentação concisa das ideias do texto completo. Deve descrever de forma clara e sintética a natureza do trabalho, o objetivo, o método, os resultados e as conclusões, visando fornecer elementos para o leitor decidir sobre a consulta ao texto completo. Deve ser redigido em linguagem clara e objetiva, ser inteligível por si mesmo, empregar verbos na voz ativa e na terceira pessoa do singular e conter de **150 a 500 palavras**. Deve-se evitar o uso de símbolos abreviaturas, fórmulas, quadros, equações. Após o texto do resumo, seguem as palavras-chave representativas do conteúdo do trabalho, que devem aparecer após um espaço em branco de 1,5, à margem esquerda, separadas entre si por ponto final.

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



## Abstract

LASTNAME, Name. Thesis title thesis title thesis title thesis title thesis title thesis title thesis title thesis title thesis title. 30p. Ph.D. Thesis. School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2020.

[illegible]

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

## **Lista de Ilustrações**

3.1	Estrutura de um trabalho acadêmico. . . . .	21
3.2	Exemplo de quatro figuras agrupadas. . . . .	22

## **Lista de Tabelas**

3.1	Exemplo de título de tabela. . . . .	19
-----	--------------------------------------	----

## Lista de Abreviaturas e Siglas

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<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>CNPq</b>	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
<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>IBGE</b>	Instituto Brasileira de Geografia e Estatística
<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>SIMPLEC</b>	<i>Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation Consistent</i>
<b>SOU</b>	<i>Upwind</i> de segunda ordem, do inglês <i>Second Order Upwind</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

$A_i$	Coefficientes de influência modificados	
$a_i$	Coefficientes de influencia das equações do momento discretizadas	
$C_f$	Coefficiente 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	$6.62607 \times 10^{-34} \text{ Js}$

## Subscritos

$w$	Paredes
-----	---------

# Sumário

<b>Lista de Ilustrações</b>	<b>9</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>10</b>
<b>Lista de Abreviaturas e Siglas</b>	<b>11</b>
<b>Lista de Símbolos</b>	<b>12</b>
<b>Sumário</b>	<b>14</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>16</b>
1.1 Objetivos . . . . .	16
1.2 Justificativa . . . . .	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
2.1 title . . . . .	18
2.1.1 title . . . . .	18
2.1.1.1 title . . . . .	18
2.2 Aspectos Práticos . . . . .	18
<b>3 Fundamentação Teórica</b>	<b>19</b>
3.1 Equações e fórmulas . . . . .	19
3.2 Tabelas . . . . .	19
3.3 Citações . . . . .	20
3.4 Figuras . . . . .	21
<b>4 Metodologia e Aplicações</b>	<b>23</b>
<b>5 Resultados e Discussões</b>	<b>24</b>
<b>6 Conclusões</b>	<b>25</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>26</b>
<b>Apêndices</b>	<b>27</b>
<b>A – Primeiro Apêndice</b>	<b>27</b>
<b>B – Segundo Apêndice</b>	<b>28</b>

<b>Anexos</b>	<b>29</b>
<b>A – Primeiro Anexo</b>	<b>29</b>
<b>B – Segundo Anexo</b>	<b>30</b>





## **1.2 Justificativa**

A descrição das justificativas deve ser precisa e clara permitindo ao leitor a compreensão da relevância da realização deste trabalho.



### 3 Fundamentação Teórica

Serve como base para fundamentar o trabalho, devendo incluir toda a informação pertinente ao tema através de citações conforme a NBR 10520 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2002).

#### 3.1 Equações e fórmulas

As equações e fórmulas devem ser destacadas no texto para facilitar a leitura. Para numerá-las, usar algarismos arábicos entre parênteses e alinhados à direita. Por exemplo, considere a equação (3.1).

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (3.1)$$

#### 3.2 Tabelas

De acordo com IBGE, tabela é uma forma não discursiva de apresentar informações em que os números representam a informação central. As tabelas devem trazer um título indicando claramente o conteúdo. Por exemplo, considere a tabela 3.1.

Tabela 3.1: 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

### 3.3 Citações

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 (Pereira, 2021)”.
- 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 Santos (2021), 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 (Silva, 2021), tal coisa é muito melhor do que aquela outra coisa.”

### 3.4 Figuras

Gráficos e figuras devem apresentar legendas contendo todas as informações referentes ao que está sendo apresentado. Por exemplo, considere a figura 3.1.

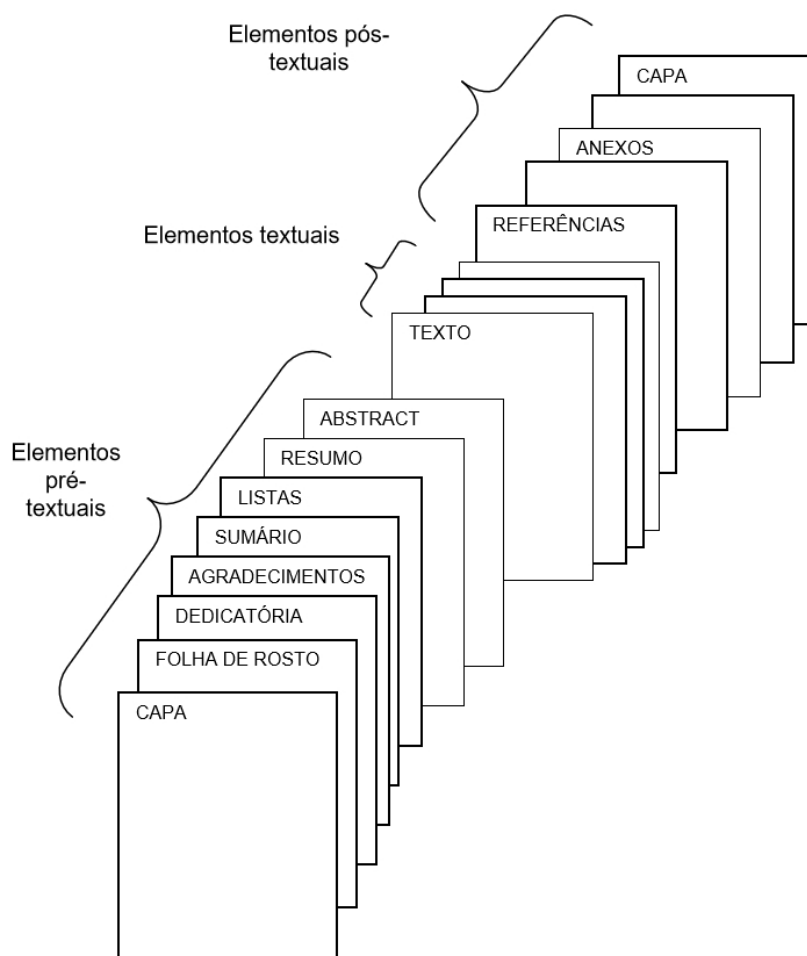
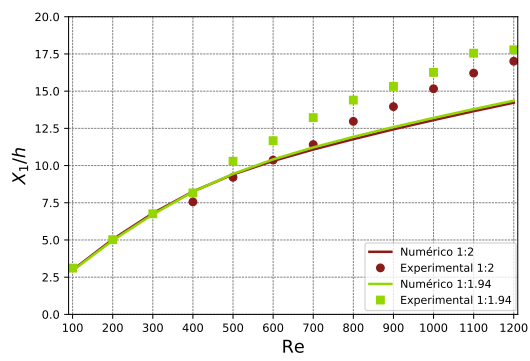
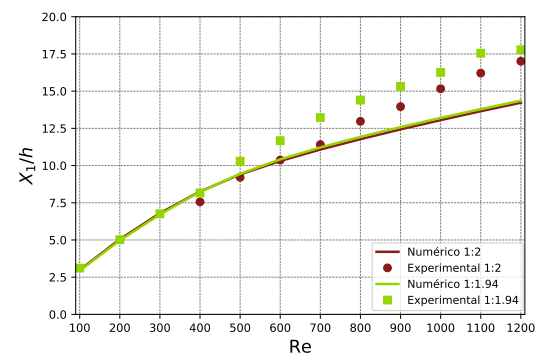


Figura 3.1: Estrutura de um trabalho acadêmico.

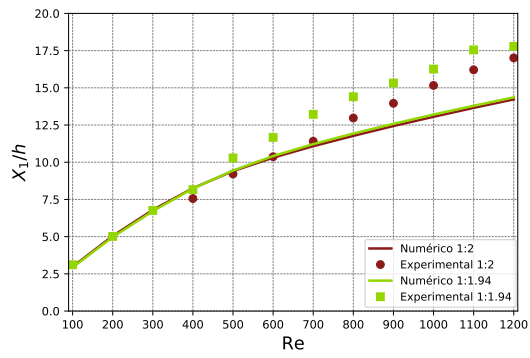
As figuras também podem ser agrupadas em conjunto como ilustrado na figura 3.2.



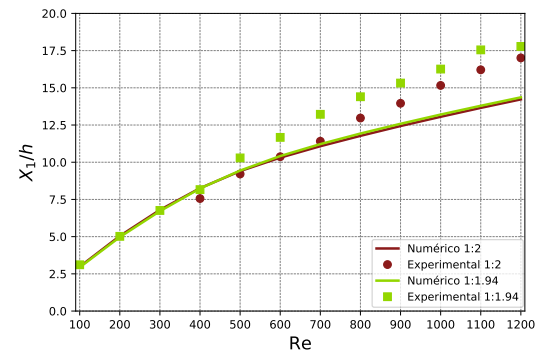
(a) Solução A.



(b) Solução B.



(c) Solução C.



(d) Solução D.

Figura 3.2: Exemplo de quatro figuras agrupadas.

## **4 Metodologia e Aplicações**

A descrição das técnicas utilizadas deve ser precisa e clara permitindo ao leitor a compreensão do trabalho, e tornar possível que outros pesquisadores repitam na íntegra o mesmo método.



## 5 Resultados e Discussões

Nessa etapa são comparados, avaliados e criticados os resultados. Discute-se o valor absoluto e relativo dos resultados. Da apresentação dos fatos pode-se passar para deduções paralelas, generalização cautelosa e enumeração das questões que ocorrem do autor para as quais não encontrou resposta e que requerem estudos e pesquisas além do limite do trabalho.

Pode ser elaborada uma única seção para “Resultados e discussões” em caso de textos não muito extensos e a discussão não muito detalhada. Em caso de resultados complexos é pertinente elaborar um texto para apresentar os resultados e outro para discussão a partir do que foi constatado.

A apresentação dos resultados deve ser clara, objetiva, lógica e acompanhada de comentários. A apresentação de tabelas e ilustrações facilita de maneira extraordinária esta parte do texto. Os dados obtidos, mesmo quando em grande quantidade, devem fazer parte do trabalho, mesmo que em forma de apêndice.

## **6 Conclusões**

As conclusões devem responder às questões da pesquisa, em relação aos objetivos e às hipóteses. Devem ser breves, podendo apresentar recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

## Referências Bibliográficas

PEREIRA, B. Título do trabalho. **Journal of Heat Transfer**, v. 113, n. 3, 650–656, aug 2021.

SANTOS, F. Título do trabalho. **Journal of Heat Transfer**, v. 113, n. 3, 650–656, aug 2021.

SILVA, C. Título do trabalho. **Journal of Heat Transfer**, v. 113, n. 3, 650–656, aug 2021.

## **Apêndice A – Primeiro Apêndice**

Textos elaborados pelo autor, a fim de completar a sua argumentação, sem prejuízo da unidade nuclear do trabalho. Deve ser precedido da palavra Apêndice, identificada por letras maiúsculas consecutivas, travessão e pelo respectivo título. Utilizam-se letras maiúsculas dobradas quando esgotadas as letras do alfabeto.



## **Anexo A – Primeiro Anexo**

São textos ou documentos não elaborados pelo autor que servem como fundamentação, comprovação e ilustração. Deve ser precedido da palavra Anexo, identificada por letras maiúsculas consecutivas, travessão e pelo respectivo título. Utilizam-se letras maiúsculas dobradas quando esgotadas as letras do alfabeto.

