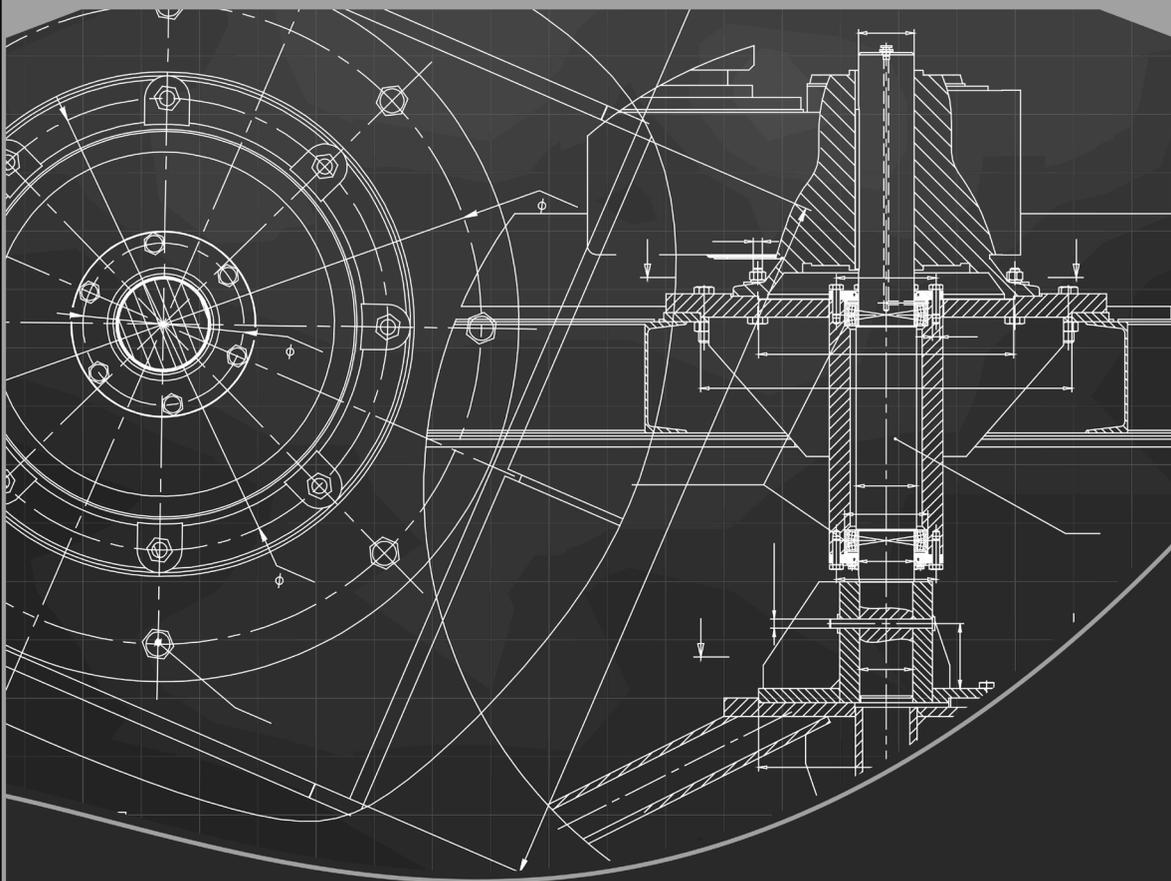


# Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas  
e motores no cotidiano do homem

2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora

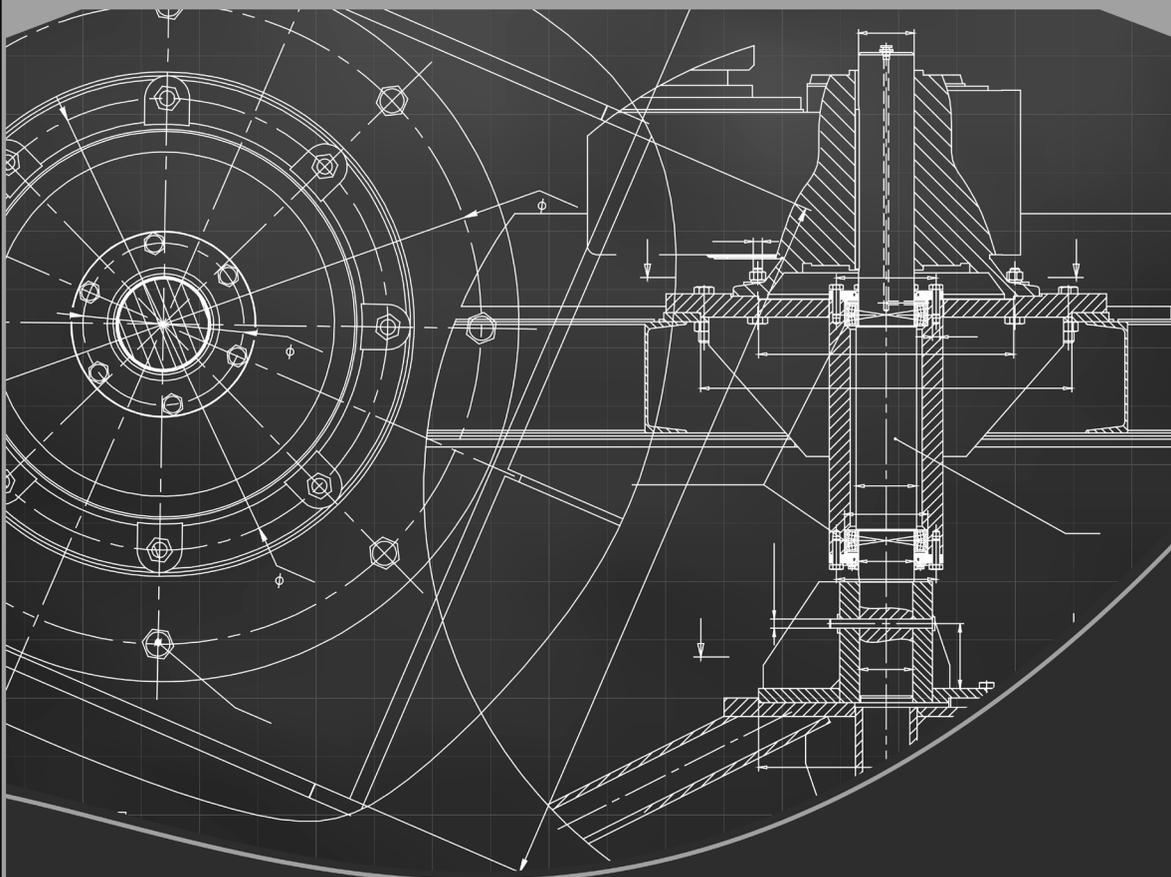
Ano 2021

# Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas  
e motores no cotidiano do homem

2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora

Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

#### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

#### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenología & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

# Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 2

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-117-3

DOI 10.22533/at.ed.173211806

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.  
CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## 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. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE BANANEIRA COM RESINA SINTÉTICA EM COMPÓSITOS**

Rúi Carlos de Sousa Mota

José Ubiragi de Lima Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.1732118061**

### **CAPÍTULO 2..... 18**

#### **CARACTERIZAÇÃO DA BORRA DE PIAÇAVA (*ATTALEA FUNIFERA*) PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES**

Alexandre Silva de Moraes

Vitor da Silva Lacerda

Alberto Matheus Freitas Oliveira

Ana Claudia Rangel da Conceição

Carlos Alberto França Junior

Victor Antunes Silva Barbosa

Mirtânia Antunes Leão

**DOI 10.22533/at.ed.1732118062**

### **CAPÍTULO 3..... 34**

#### **STRUCTURAL OPTIMIZATION OF A NOSE LANDING GEAR FOR CESSNA 172 AIRPLANE**

Raphael Basilio Pires Nonato

Alexander Dias Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.1732118063**

### **CAPÍTULO 4..... 49**

#### **AVALIAÇÃO DO GRAU DE SENSITIZAÇÃO E O APARECIMENTO DE FASES INTERMETÁLICAS EM TRECHO DE TUBULAÇÃO DE FORNO DE COQUEAMENTO RETARDADO**

Thiago Batista David

Erike Wilker Arruda Figueredo

Fillipe Stephany de Souza Virgolino

Luiz Adeildo da Silva Junior

Moisés Euclides da Silva Junior

**DOI 10.22533/at.ed.1732118064**

### **CAPÍTULO 5..... 60**

#### **FABRICAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7013 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ**

Enéas Carlos de Oliveira Silva

Eduardo José Silva

Thiago Batista David

Moisés Euclides da Silva Junior

Oscar Olimpio de Araujo Filho

**DOI 10.22533/at.ed.1732118065**

**CAPÍTULO 6..... 78**

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7009 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ**

Enéas Carlos de Oliveira Silva  
Eduardo José Silva  
Thiago Batista David  
Moisés Euclides da Silva Junior  
Oscar Olimpio de Araujo Filho

**DOI 10.22533/at.ed.1732118066**

**CAPÍTULO 7..... 96**

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA8011 ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ**

Sandra Torres Zarzar  
Diogo Monteiro do Nascimento  
José Endreo Baracho da Costa  
Moisés Euclides da Silva Junior  
Oscar Olimpio de Araujo Filho

**DOI 10.22533/at.ed.1732118067**

**CAPÍTULO 8..... 111**

**METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS ASSOCIADOS À APLICAÇÃO DE SOLDAGEM EM TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS**

Wagner Gutemberg Cavalcanti da Silva  
Felipe Leandro dos Santos  
Helen Rodrigues Araújo  
Marcio Rolemberg Freire  
Moisés Euclides da Silva Junior

**DOI 10.22533/at.ed.1732118068**

**CAPÍTULO 9..... 126**

**APLICAÇÃO DE MQL NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 4340 COM INSERTO DE METAL DURO TEXTURIZADO A LASER E REVESTIDO DE TiAIN**

Rhander Viana  
Milton Sérgio Fernandes de Lima  
Paulo Vinícius da Silva Resende

**DOI 10.22533/at.ed.1732118069**

**CAPÍTULO 10..... 142**

**ESTUDO DO GRADIENTE DE TEMPERATURA DURANTE O FRESAMENTO DO AÇO AISI 4340 UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Nicollas Vivaldini  
Rodrigo Henriques Lopes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.17321180610**

**CAPÍTULO 11 ..... 150**

**IDENTIFICAÇÃO DO MOMENTO IDEAL DE TROCA DE FERRAMENTAS DE CORTE ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DO DESGASTE POR SINAL DE VIBRAÇÃO E**

## **INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Lucas Costa Brito

Márcio Bacci da Silva

Marcus Antonio Viana Duarte

**DOI 10.22533/at.ed.17321180611**

## **CAPÍTULO 12..... 165**

### **METROLOGIA PARA ENGENHARIAS: CONSTRUÇÃO DE UM PROJETO METROLÓGICO PARA APLICAÇÃO DE CONCEITOS**

Lisiane Trevisan

Daniel Antonio Kapper Fabricio

**DOI 10.22533/at.ed.17321180612**

## **CAPÍTULO 13..... 175**

### **POTENCIAL ECONÔMICO E ENERGÉTICO DO APROVEITAMENTO DO CALOR REJEITADO POR CONDICIONADORES DE AR**

David Coverdale Rangel Velasco

José Alexandre Tostes Linhares Júnior

Felipe Perissé Duarte Lopes

Carlos Maurício Fontes Vieira

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

**DOI 10.22533/at.ed.17321180613**

## **CAPÍTULO 14..... 184**

### **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO REGIME DE TRABALHO DE REFRIGERADOR DE GRÃOS INTEGRADO A TUBOS CANADIANOS**

Eduarda Silva Costa

Matheus Júnio Souza da Silva

Ramiro de Matos Bertolina

Thiago Ferreira Gomes

**DOI 10.22533/at.ed.17321180614**

## **CAPÍTULO 15..... 193**

### **DIMENSIONAMENTO DE CARGA TÉRMICA DE CONDICIONARES DE AR NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE A NR 17 E NBR 16401**

David Coverdale Rangel Velasco

José Alexandre Tostes Linhares Júnior

Márcio Paulo Bonifácio das Neves

André Luiz Vicente de Carvalho

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

**DOI 10.22533/at.ed.17321180615**

## **CAPÍTULO 16..... 205**

### **AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DE UM VEÍCULO AUTOMOTOR PERTENCENTE À FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT**

Roberta Daniela de Souza

Marcelo Dias de Souza

Jonathan Willian Zangeski Novais

**DOI 10.22533/at.ed.17321180616**

**CAPÍTULO 17..... 211**

**AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE UM VEÍCULO BAJA**

Arthur Barroso Costa

João Lucas Moura Ferreira

Igor Antunes Ferreira

Luiz Gustavo Monteiro Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.17321180617**

**CAPÍTULO 18..... 234**

**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DO USO DA AUTOMAÇÃO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL**

Igor Moreno Mamedes

Andrea Teresa Riccio Barbosa

**DOI 10.22533/at.ed.17321180618**

**CAPÍTULO 19..... 245**

**PRINCIPAIS PARÂMETROS DE DESEMPENHO EMPREGADOS PELAS EMBARCAÇÕES DE PEQUENO PORTE MOVIDAS A ENERGIA FOTOVOLTAICA NO DESAFIO SOLAR BRASIL**

David Coverdale Rangel Velasco

Valter Luís Fernandes de Sales

**DOI 10.22533/at.ed.17321180619**

**CAPÍTULO 20..... 255**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL**

David Coverdale Rangel Velasco

Elivandro Tavares Lôbo

Welder Azevedo Santos

Wagner Vianna Bretas

Rodrigo Martins Fernandes

**DOI 10.22533/at.ed.17321180620**

**CAPÍTULO 21..... 268**

**SINTONIA DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA COM REDES NEURAIS**

Tiago Luís Andrade Pereira

Anderson Daleffe

**DOI 10.22533/at.ed.17321180621**

**CAPÍTULO 22..... 284**

**COMPARISON OF STRAIN AND LOAD OBTAINED VIA STRAIN GAGE BY WIRE AND WIRELESS TRANSMISSIONS**

Raphael Basilio Pires Nonato

Luiz Carlos Gomes Sacramento Júnior

Leonardo Ferreira Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.17321180622**

<b>CAPÍTULO 23.....</b>	<b>300</b>
<b>SISTEMA AUTOMATIZADO DESTINADO À ALIMENTAÇÃO DE ANIMAIS DE PEQUENO PORTE</b>	
Eliezer Silva Bonfim de Jesus	
Guilherme de Souza Carneiro Meireles	
Josedacson Barbosa de Lacerda	
Kevin Ruan dos Reis Oliveira	
Rúi Carlos de Sousa Mota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.17321180623</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>307</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>308</b>

## DIMENSIONAMENTO DE CARGA TÉRMICA DE CONDICIONARES DE AR NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE A NR 17 E NBR 16401

Data de aceite: 01/06/2021

Data de submissão: 08/03/2021

### **David Coverdale Rangel Velasco**

Universidade Estadual do Norte Fluminense  
Darcy Ribeiro  
Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/9356476964884212>

### **José Alexandre Tostes Linhares Júnior**

Universidade Estadual do Norte Fluminense  
Darcy Ribeiro  
Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/9046803786078806>

### **Márcio Paulo Bonifácio das Neves**

Universidade Candido Mendes  
Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/2951106557135895>

### **André Luiz Vicente de Carvalho**

Universidade Candido Mendes  
Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/0509266582086801>

### **Afonso Rangel Garcez de Azevedo**

Universidade Estadual do Norte Fluminense  
Darcy Ribeiro  
Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/5332016516191423>

**RESUMO:** Manter a temperatura corporal dentro dos limites salubres é uma das necessidades fundamentais para a sobrevivência do homem. Contudo, o conforto térmico não está relacionado somente a isto, mas também ao desempenho do

ser humano. Este trabalho consiste numa análise comparativa entre as duas normas brasileiras que tratam das condições de conforto térmico, NR 17 e NBR 16401. Por meio do DesignBuilder foi possível determinar a carga térmica mínima e máxima necessária para atender as normas supracitadas. O estudo de caso foi realizado na Universidade Candido Mendes, localizada no município de Campos dos Goytacazes. Foi possível observar que ambas as normas não são equivalentes e que a diferença entre elas pode ultrapassar os 30% para dimensionamento em sistemas unitário de condicionamento de ar. Contudo, pode-se observar neste estudo de caso que dimensionamentos de sistemas de condicionamento central existe um potencial menor para que a carga térmica em ambas as normas possua uma diferença tão expressiva. Dentre as normas avaliadas a NBR 16401 se mostrou como a mais conservadora do ponto de vista da carga térmica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carga térmica, conforto térmico, climatização, ergonomia.

### DIMENSIONING THE THERMAL LOAD OF AIR CONDITIONERS IN BRAZIL: A COMPARISON BETWEEN NR 17 AND NBR 16401

**ABSTRACT:** Keeping body temperature within healthy limits is one of the fundamental needs for man's survival. However, thermal comfort is not only related to this, but also to human performance. This work consists of a comparative analysis between the two Brazilian standards that deal with thermal comfort conditions, NR 17 and NBR 16401. Through DesignBuilder it was

possible to determine the minimum and maximum thermal load required to meet the above standards. The case study was carried out at the Candido Mendes University, located in the municipality of Campos dos Goytacazes. It was possible to observe that both standards are not equivalent and that the difference between them can exceed 30% for dimensioning in unit air conditioning systems. However, it can be seen in this case study that the design of central conditioning systems has less potential for the thermal load in both standards to have such a significant difference. Among the evaluated standards, NBR 16401 proved to be the most conservative from the point of view of thermal load.

**KEYWORDS:** Thermal load, thermal comfort, air conditioning, ergonomics.

## 1 | INTRODUÇÃO

De acordo com as necessidades de desempenho do corpo humano, seu metabolismo produzirá energia, devendo cerca de 80% desta ser rejeitada em forma de calor. É de responsabilidade da construção fornecer um conforto térmico ao homem, sejam elas quais forem às condições climáticas externas, afim de que o mesmo tenha melhores condições de vida e de saúde (FROTA; SCHIFFER, 2001).

O conforto térmico é variável fundamental para sua sobrevivência do homem, assim como sua produtividade, visto a influência que o conforto térmico possui nas capacidades físicas e psicológicas do mesmo. Watt (1996) constatou que a queda de produtividade aumenta exponencialmente em função do aumento de temperatura a níveis desconfortáveis, assim como cresce a frequência de erros. Segundo BATIZ, *et al.* (2009) pode-se perceber também que um desconforto térmico prejudica o processo de atenção e memória das pessoas.

Visando estabelecer condições psicofisiológicas mínimas de trabalho que proporcionem um conforto, segurança e desempenho eficiência aos trabalhadores, o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) criou a Norma Regulamentadora (NR) 17. A cerca das condições de climatização, a NR 17 recomenda que em locais de trabalho com solicitação intelectual e atenções constantes (escritórios, laboratórios, salas de desenvolvimentos e/ou análise de projeto, etc) sigam as seguintes recomendações: Índice de Temperatura Efetiva (ITE) entre 20 e 23°C, velocidade do ar máxima de 0,75 m/s, Umidade Relativa (UR) do ar mínima de 40% (MET, 2018).

Contudo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem sua própria norma de refrigeração, a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 16401/2008. Esta norma substituiu a NBR 6401/1980 e trata de Instalações de ar-condicionado, Sistemas centrais e unitários, sendo fracionada em três partes. A primeira, denominada NBR 16401-1, atua traçando parâmetros para projetos que envolvam instalações, a segunda parte, NBR 16401-2, tem por finalidade fornecer parâmetros de conforto térmico e a última parte, NBR 16401-3, trata a respeito da qualidade do ar (ABNT, 2008b).

Os parâmetros de conforto térmico da NBR 16401-2 são apresentados na Tabela 1, sendo eles divididos de acordo com a estação do ano e a UR do ar. Ao comparar a

NBR 16401 com a NR 17 podemos observar-se que ambos utilizam diferentes critérios para dimensionamento. A priori, a NR 17 parece ser mais rigorosa por ser específica para ambientes com solicitações intelectuais e atenções constantes, mas em contra partida a NBR 16401-2 é específica para ar condicionados leva em consideração uma quantidade maior de variáveis.

	Verão (0,5 clo)		Inverno (0,9 clo)	
<b>Umidade relativa do ar</b>	65%	35%	60%	30%
<b>Temperatura operativa</b>	22,5°C a 25,5°C	23°C a 26°C	21°C a 23,5°C	21,5°C a 24°C
<b>Grau de turbulência</b>	30% a 50%	< 10%	30% a 50%	< 10%
<b>Velocidade média do ar</b>	0,20 m/s	0,25 m/s	0,15 m/s	0,20 m/s

Tabela 1. Parâmetros de conforto conforme a NBR 16401-2.

Uma vez que ITE não pode ser igualado a Temperatura Operativa do Ar (TOA) é possível que responsável pelo dimensionamento da carga térmica fique em dúvida sobre qual norma adotar. Neste sentido, o presente estudo, tem por finalidade, analisar comparativamente a aplicação das normas supracitadas, tendo como objeto de estudo o bloco B da Universidade Cândido Mendes (UCAM). A comparação foi realizada por meio do software DesignBuilder, o que permitiu verificar a diferença entre os métodos em diferentes salas que estavam em diferentes condições.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

NBR 16401-1 recomenda que a carga térmica necessária pra refrigerar ambientes seja dimensionado por meio de programas de computador, pois, exceto para ambientes muito simples, é inviável a sua realização sem a utilização de um software, dada a exatidão necessária e a complexibilidade cálculo (ABNT, 2008a).

Neste sentido, este estudo foi realizado por meio do DesignBuilder. Para a utilização deste *software* foi necessário construir um modelo tridimensional detalhado do ambiente a ser simulado, selecionar algoritmos para cálculos de carga térmica, bem como determinar o parâmetro de conforto térmico a ser alcançado. Assim, visando proporcionar a repetibilidade deste estudo, nas subseções seguintes serão detalhadas estas variáveis.

### 2.1 Ambiente simulado

O ambiente dimensionado foi o bloco B da UCAM, localizada na Avenida Anita Peçanha, número 100, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, com coordenadas geográficas aproximadamente iguais a 21°45'33"S, 41°20'44"O e com elevação de 13 metros (GOOGLE, 2020). A Figura 1 e 2 ilustram a vista frontal e superior da parte principal da UCAM respectivamente, sendo na última identificados os blocos da mesma.



Figura 1. Vista frontal da UCAM.

Fonte. BARCELO (2017).



Figura 2. Vista superior da UCAM e suas divisões.

Fonte. Google (2020).

O bloco B é um edifício de 4 andares onde o último é reservado para arquivar documentos, os seus 3 primeiros possuem 33 salas de aula que são responsáveis por abrigar aproximadamente 1500 pessoas, assim como uma sala do apoio acadêmico, outra do Projeto Matemática Interativa (PMI) e outra do diretório acadêmico. Sendo o bloco B o objeto de estudo deste trabalho, restringiu-se o estudo somente as salas presentes nos 3 primeiros andares, onde há permanência de pessoas.

As condições climáticas na qual o ambiente estará submetido foram determinadas de acordo os dados do DesignBuilder do Rio de Janeiro com modificações realizadas e acordo a coordenadas do edifício e dados climáticos fornecidos da estação de Campos dos Goytacazes fornecidos pelo INMET. Estes dados estão disponíveis no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edifícios (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no formato *Energyplus Weather Data* (EPW).

A modelagem da construção foi realizada de acordo com medidas realizadas com trenas de 5 e 30m. Os materiais foram definidos de acordo com as informações fornecidas pelo encarregado de obras da UCAM, sendo eles os seguintes:

- Porta de 3 cm constituída integralmente de madeira;
- Parede de 15 cm constituída de: 2,5 cm de reboco + 10 cm de tijolo + 2,5 cm de reboco;
- Laje de 45 cm constituída de: 2 cm de gesso + 28 cm de espaço de ar + 12 cm de concreto + 1 cm argamassa + 2 cm de granito;
- Janela padrão do software, com propriedades do vidro em conformidade com a ISO 10292 e a *Europäische Norm* (EN) 673.

A quantidade de pessoas em sala de aula foi considerada igual a 1 aluno/m<sup>2</sup> e um professor por sala, visto que esse é a capacidade máxima segundo o MEC (2014). No entanto, como as demais salas possuem uma ocupação significativamente menos densa, considerou-se a ocupação das mesmas como 0,3 pessoa/m<sup>2</sup>. Embora no corredor não haja um número de pessoas fixas, considerou-se uma carga térmica flutuante conforme o valor padrão do *DesignBuilder*. Em todas as salas de aula considerou-se que o professor levaria um *datashow* e notebook, pois mesmo que a estrutura de uma determinada sala não possua um *datashow* fixo, a UCAM disponibiliza os equipamentos para empréstimo e tradicionalmente é utilizado junto com um *datashow* um notebook.

O dimensionamento, considerou que as salas do mesmo andar estão refrigeradas ao mesmo tempo enquanto que as de andares diferentes não estão, se assemelhando ao uso onde normal da UCAM. Foi desprezada a influência dos prédios vizinhos e, portanto, eles não foram inseridos no *DesignBuilder*. De modo a simplificar o cálculo, a carga térmica do professor e dos aparelhos eletrônicos foram somadas posteriormente no Excel. Contudo devido à falta de bibliografia e a baixa emissão de calor, a carga térmica das lousas digitais utilizadas nas salas do primeiro andar foram desprezadas. A bibliografia utilizada para definir a carga térmica dos equipamentos e professor foi a ASHARE (2017), fonte da NBR 16401-1, e os valores adotados são ilustrados na Tabela 2.

Fonte de calor	Potência dissipada
<b><i>Datashow</i></b>	308 W
<b>Professor</b>	160 W
<b>Computador</b>	59 W
<b>Lâmpada LED</b>	4,27 W

Tabela 2. Potência dissipada por fontes de carga térmica extra.

## 2.2 Algoritmos utilizados

Embora o DesignBuilder possa utilizar mais de 30 métodos do *EnergyPlus*, neste trabalho, conforme recomendação do DesignBuilder e devido aos métodos limitados a versão de teste, foram utilizados os algoritmos *Thermal Analysis Research Program* (TARP) e DOE-2, respectivamente para calcular a convecção interna e externa.

### 2.2.1 *Thermal Analysis Research Program* (TARP)

O TARP é um algoritmo que utilizado para calcular transferências de calor por convecção por meio da: Equação 1 da ASHARE (1985) para paredes verticais; Equação 2 de Walton (1983) para superfícies horizontais ou inclinadas estáveis, isto é, que tendem a retardar o movimento do fluxo de ar; e a Equação 3 de Walton (1983) para superfícies horizontais ou inclinadas instáveis com movimento intensificado (BATISTA; LAMBERTS; GÜTHS, 2011).

$$h = 1,31 \cdot |\Delta T|^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$h = \frac{1,810 \cdot |\Delta T|^{\frac{1}{3}}}{1,382 + |\cos \Sigma|} \quad (2)$$

$$h = \frac{9,482 \cdot |\Delta T|}{7,283 - |\cos \Sigma|} \quad (3)$$

Onde:

$h$  : Coeficiente de convecção, em  $W/m^2K$ ;

$\Delta T$ : Diferença da temperatura da superfície e do ar, em K ou  $^{\circ}C$ ;

$\cos \Sigma$ : Cosseno do ângulo de inclinação da superfície.

### 2.2.2 *DOE-2* (Exterior)

O DOE-2 é algoritmo derivado da combinação dos algoritmos *Mobile Window Thermal Test* (MoWiTT) e o *Building Loads Analysis and System Thermodynamics* (BLAST). Neste algoritmo, para superfícies muito lisas, vidro, utiliza-se a Equação 4 e para superfícies mais rugosas faz-se necessário a utilização também da Equação 5 (MIRSADEGHI *et al.*, 2013).

$$h_{ext} = \sqrt{h_{nat}^2 + (a \cdot V_z^b)^2} \quad (4)$$

$$h_{ext} = (1 - R_f) \cdot h_{nat} + R_f \cdot \sqrt{h_{nat}^2 + (a \cdot V_z^b)^2} \quad (5)$$

Onde:

$h_{ext}$ : Coeficiente de convecção externo, em  $W/m^2K$ ;

$h_{nat}$ : Coeficiente de convecção natural, em  $W/m^2K$ ;

- a: Constante, em  $W/m^2K(m/s)^b$ ;
- b: Constante;
- $V_z$ : Velocidade do ar;
- $R_f$ : fator de rugosidade superficial.

### 2.3 Parâmetros de conforto térmico utilizados

Os parâmetros de conforto térmico da NR 17 e NBR 16401-2/2008 estão associados a temperatura, UR e a velocidade do ar. De acordo com os dados da estação de Campos dos Goytacazes (A607) referentes ao ano de 2019 fornecidos pelo INMET (2020), foi verificado que o valor mediano da UR do ar é igual a 80% e o valor médio é igual a 75%. Assim, neste estudo considerou-se como UR do ar para ambas as normas o valor de 80% que é a mais crítica das medidas de centralidades supracitadas do ponto de vista de dimensionamento da carga térmica.

A velocidade do ar depende do equipamento utilizado para condicionar o ambiente, sua configuração e posição de instalação, assim como o local da sala na qual será realizada a leitura. Uma vez que o propósito deste trabalho é comparar a normas e não pontos de desconforto em ambientes, considerou-se que o ar do mesmo estivesse com uma velocidade homogênea próxima ao repouso.

Além das premissas adotadas para ambas as normas, para realizar um dimensionamento conforme a NBR 16401-2 escolher uma estação para dimensionar a carga térmica. Como a condição crítica de projeto de um sistema de refrigeração é o verão, adotou-se como TOA, para as simulações referentes a NBR 16401-2.

Contudo, diferente da TOA, ITE não pode ser utilizado como parâmetro para dimensionamento de carga térmica pelo DesignBuilder. Desta forma deve-se utilizar algum recurso como equações e ábacos para determinar a temperatura do ar. Missenar criou duas formas de expressar o ITE, sendo a primeira em função da temperatura do ar e UR, Equação 6, e a segunda em função das variáveis supracitadas e a velocidade do ar, Equação 7 (SUPING *et al.*, 1992).

$$ITE = T_a - 0,4(T_a - 10) \left(1 - \frac{U_r}{100}\right) \quad (6)$$

$$ITE = 37 - \frac{37 - T_a}{0,68 - 0,0014U_r + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}} - 0,29T_a \left(1 - \frac{U_r}{100}\right) \quad (7)$$

Onde:

ITE: Índice de Temperatura Efetiva, em °C;

$T_a$ : temperatura do ar, em °C;

$U_r$ : Umidade Relativa, em %;

v: velocidade do ar, em m/s.

Visando trabalho utilizar um método que não dependa da velocidade do ar, utilizou-se a Equação 6 para determinar a temperatura do ar tendo como referência a UR de 80% e ITE de 20 e 23°C.

### 3 | RESULTADOS E CONCLUSÕES

Neste trabalho foram avaliadas 36 zonas, distribuídas em 3 andares, por meio de 4 simulações. As simulações da NR 17 foram realizadas tendo como parâmetro uma temperatura do ar de 20,9 e 24,1°C, enquanto as simulações da NBR 16401-2/2008 tiveram como parâmetro uma TOA de 22,5 e 25,5°C.

As simulações referentes a condição de máxima exigência da NR 17 e NBR 16401 foram apresentadas na Tabela 3, enquanto as referentes a carga térmica mínima necessária para refrigerar um ambiente foi apresentada na Tabela 4. Nestas tabelas também foi apresentada área do piso/teto e o volume interno do ambiente dimensionado. De forma a simplificar a visualização, os valores de carga térmica para um determinado ambiente foram destacados de acordo com o seu valor quando comparado com o da outra norma avaliada. Assim, o maior valor da carga térmica de uma sala foi destacado em verde, enquanto ou outro foi destacado em laranja. A variação expressa nestas tabelas corresponde a quantos por cento a maior carga térmica é superior a menor.

Zona	NR 17 (BTU/h)	NBR 16401 (BTU/h)	Variação (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Sala 101	31.303	34.681	10,79	50	136
Sala 102	39.658	43.719	10,24	67	180
Sala 103	50.685	52.766	4,11	67	180
Sala 104	37.816	40.409	6,86	67	180
Sala 105	37.031	39.010	5,34	67	180
Sala 106	37.781	40.375	6,86	67	180
Sala 107	52.976	56.251	6,18	67	180
Sala 108	41.705	45.663	9,49	67	180
Sala do PMI	3.829	4.785	24,95	10	26
Subtotal - 1º andar	332.750	357.692	7,50	526	1420
Sala 201	48.700	54.637	12,19	67	186
Sala 202	48.359	54.671	13,05	67	186
Sala 203	45.288	49.860	10,10	67	186
Sala 204A	24.021	25.932	7,95	33	91
Sala 204B	24.464	26.512	8,37	33	92
Sala 205A	23.816	25.898	8,74	33	91
Sala 205B	24.191	26.307	8,74	33	92

Sala 206A	24.157	26.170	8,33	33	91
Sala 206B	24.055	25.795	7,23	33	92
Sala 207	24.240	26.322	8,59	33	91
Sala 208	24.001	25.673	6,97	33	91
Sala 209	28.232	32.327	14,50	33	92
Sala 210	27.584	31.508	14,23	33	92
Apoio Acadêmico	7.897	9.637	22,04	12	35
Subtotal - 2º andar	398.939	441.215	10,60	540	1512
Sala 301	52.283	59.721	14,23	67	186
Sala 302	51.396	58.595	14,01	67	186
Sala 303	49.212	55.115	12,00	67	186
Sala 304	48.086	53.818	11,92	67	186
Sala 305A	26.000	28.764	10,63	33	91
Sala 305B	26.443	29.207	10,45	33	92
Sala 306A	25.522	28.320	10,96	33	91
Sala 306B	25.863	28.423	9,89	33	92
Sala 307	26.458	29.290	10,70	33	91
Sala 308	25.844	28.403	9,90	33	91
Sala 309	30.007	34.681	15,58	33	92
Sala 310	29.597	34.135	15,33	33	92
Sala do DACAM	9.456	11.469	21,29	12	35
Subtotal - 3º andar	426.133	479.909	12,62	541	1514
Total	1.157.822	1.278.816	10,45	1.607	4.447

Tabela 3. Comparativo entre a NR 17 e a NBR 16401-2/2008: carga térmica necessária para atender toda a faixa de temperatura referente ao conforto térmico.

Zona	NR 17 (BTU/h)	NBR 16401 (BTU/h)	Variação (%)	Área (m²)	Volume (m³)
Sala 101	28.062	29.870	6,44	50	136
Sala 102	35.563	37.713	6,04	67	180
Sala 103	46.692	47.102	0,88	67	180
Sala 104	33.789	34.745	2,83	67	180
Sala 105	33.073	33.414	1,03	67	180
Sala 106	33.755	34.642	2,63	67	180
Sala 107	48.745	50.041	2,66	67	180
Sala 108	37.406	39.487	5,56	67	180
Sala do PMI	2.942	2.908	1,17	10	26
Subtotal - 1º andar	300.061	309.888	3,27	526	1420
Sala 201	44.401	49.622	11,76	67	186
Sala 202	44.026	49.553	12,56	67	186

Sala 203	40.989	44.128	7,66	67	186
Sala 204A	21.905	23.304	6,39	33	91
Sala 204B	22.144	23.850	7,70	33	92
Sala 205A	21.428	22.861	6,69	33	91
Sala 205B	21.701	23.270	7,23	33	92
Sala 206A	21.871	23.577	7,80	33	91
Sala 206B	21.939	23.338	6,38	33	92
Sala 207	21.715	23.285	7,23	33	91
Sala 208	21.886	23.285	6,39	33	91
Sala 209	25.503	29.017	13,78	33	92
Sala 210	24.888	28.198	13,30	33	92
Apoio Acadêmico	6.122	7.760	26,75	12	35
Subtotal - 2º andar	360.552	395.049	9,57	540	1512
Sala 301	47.745	54.330	13,79	67	186
Sala 302	46.824	53.204	13,63	67	186
Sala 303	44.435	49.144	10,60	67	186
Sala 304	43.548	47.574	9,25	67	186
Sala 305A	23.338	25.010	7,16	33	91
Sala 305B	23.748	30.879	30,03	33	92
Sala 306A	22.895	24.840	8,50	33	91
Sala 306B	23.168	25.249	8,98	33	92
Sala 307	23.762	25.537	7,47	33	91
Sala 308	23.182	25.230	8,83	33	91
Sala 309	27.140	31.099	14,58	33	92
Sala 310	26.731	30.655	14,68	33	92
Sala do DACAM	7.613	9.319	22,41	12	35
Subtotal - 3º andar	384.130	432.173	12,51	541	1514
<b>Total</b>	<b>1.044.744</b>	<b>1.137.110</b>	8,84	1.607	4.447

Tabela 4. Comparativo entre a NR 17 e a NBR 16401-2/2008: carga térmica necessária para atender a temperatura mínima referente ao conforto térmico.

Pode-se observar embora a NR 17 seja específica para solicitação intelectual e atenções constantes, em 71 dos 72 cenários analisado a NBR 16401-2 se mostrou mais rígida. Ressalta-se ainda que como a UR do ar é reduzida com o funcionamento do ar condicionado, sendo assim ao considerar a UR do ar como 80% foi uma medida conservadora que tende a tornar a carga térmica calculada pela NR 17 ligeiramente superior. No único cenário em que a NR 17 foi mais rígida a mesma teve uma carga térmica calculada em pouco mais de 1% da NBR 16401, enquanto nos demais cenários a carga térmica calculada pela última norma chegou a ser 30% do que a calculada pela primeira,

sendo este um valor correspondente ao dobro do coeficiente de segurança padrão do DesignBuilder.

No cenário expresso na Tabela 3, pode-se observar as zonas dimensionadas por meio da NBR 16401 são em média 11,19% mais exigentes que a NR17, possuindo uma mediana em 10,35% e um desvio padrão de 4,48% decorrente de variação que oscilou entre 24,95 e 4,11%. Já no cenário expresso na Tabela 4, a NBR 16401 continua sendo mais exigente, contudo, com um valor médio e mediano de 9,40 e 7,68% respectivamente. O que indica que em média os valores da NR 17 e NBR 16401 estão mais próximos. Contudo, pode-se observar também que o desvio padrão do último cenário é de 6,51%, o que é resultado de uma maior disparidade em determinadas zonas em relação ao valor médio, sendo a carga térmica da NBR 16401 de -1,16% a 30,03% da carga térmica calculada pela NR 17.

Quando se observa a diferença por andar, pode-se observar que a menor diferença entre as cargas térmicas das normas foi encontrada no primeiro pavimento, enquanto a maior esteve no terceiro. Contudo, uma vez que estas cargas térmicas são o somatório das cargas térmicas individuais das salas, a disparidade entre as cargas térmicas calculadas das normas foi minimizada situando-se entre 7,5 e 12,62%, com valor médio e mediano de respectivamente 10,24 e 10,60%, para o cenário da Tabela 3, com um desvio padrão de 2,11%, e entre 3,27 e 9,57, com valor médio e mediano de respectivamente 8,45 e 9,57%, para o cenário da Tabela 4, com um desvio padrão de 3,85%.

Por fim, pode-se observar que em geral, para dimensionamento de carga térmica de ar condicionados, a NBR 16401 é mais rígida, mas os dados não convergiram para um valor no qual indicasse o quanto mais rígida a mesma é que a NR 17. Para determinar isto é necessário realizar um estudo específico para o ambiente que for avaliado, pois é possível que os valores da NR 17 e NBR 16401 sejam próximos ou até mesmo que o da NR 17 seja mais conservador. Pode-se observar também que implantação de um sistema de condicionamento de ar unitário potencial maior de atender a uma norma e não a outra. Isso ocorre, pois num sistema de condicionamento central a carga térmica de vários ambientes é somada para seleção de um único aparelho e regiões cujas diferenças entre o resultado ao aplicar diferentes normas forem mais expressivas seriam amenizadas por regiões que os valores seriam mais próximos. Vide o exemplo deste trabalho em que caso fosse instalado um aparelho de refrigeração por andar o maior *spread* seria de 12,51%, enquanto que para sistemas unitários o maior seria de 30,03%.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR16401-1 - **Instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários: projeto das instalações**. Rio de Janeiro, ABNT, 2008a.

\_\_\_\_\_. NBR16401-2 - **Instalações de ar condicionado: Sistemas centrais e unitários: parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro, ABNT, 2008b.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook: Fundamentals**. New York, ASHRAE, 2017.

\_\_\_\_\_. **ASHRAE Handbook: fundamentals**. Atlanta, ASHRAE, 1985.

BARCELO, J. G. M. **Arquivo Pessoal**, 2017.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. **Influências dos algoritmos de condução e convecção sobre os resultados de simulações do comportamento térmico de edificações**. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 4, p. 79–97, 2011.

BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH JUNIOR, J.; KASMIRSKI JUNIOR, P.; VENSKE, R. **Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória**. *Production*, v. 19, n. 3, p. 477-488, 2009.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 6. ed. Studio Nobel, São Paulo, 243 p., 2001.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Version 7.3. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 20 set. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Tempo: Gráficos**. Brasil: INMET, 2020. <<https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/83801#>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos climáticos INMET 2012**. Universidade Federal de Santa Catarina: labEEE, 2020. <<http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Portaria N° 701**. Brasil, MEC, 2014.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR17 - Ergonomia**. Brasil, MTE, 2018.

MIRSADEGHI, M.; CÔSTOLA, D.; BLOCKEN, B.; HENSEN J. L. M. **Review of external convective heat transfer coefficient models in building energy simulation programs: Implementation and uncertainty**. *Applied Thermal Engineering*, v. 56, p. 134–151, 2013.

SUPING, Z.; Guanglin, M.; Yanwen, W.; Ji, L. **Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners**. *International Journal of Biometeorology*, v. 36, n. 2, p. 63–68, 1992.

WATT, J. R. **Evaporative Air Conditioning Handbook**. 2. ed. Springer Verlag, New York, 456 p., 1986.

WALTON, G. N. **Thermal analysis research program reference manual**. US Department of Commerce, National Bureau of Standards, Washington, DC, EUA, 278 p., 1983.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

AA8011 96, 97, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 108  
Aço Inoxidável 49, 50, 53, 54, 58, 59  
Aeração 184, 185, 186, 187, 190, 192  
Alimentação 115, 120, 122, 249, 251, 300, 301, 302, 303  
Análise de Investimento 255  
Animais 300, 301, 306  
Ar Condicionado 175, 178, 181, 202, 203, 204, 238  
Automação e Controle 234  
Automação Industrial 234, 243, 268  
Automação Residencial 238, 241, 243, 300, 306

### B

Bananeira 1, 2, 3, 15, 16  
Bioenergia 19  
Biomassa 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30, 238  
Briquetes 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

### C

Carga Térmica 54, 175, 177, 178, 193, 195, 197, 199, 200, 201, 202, 203, 282  
Catia V5 211, 212, 220, 222, 224  
Climatização 187, 193, 194, 238, 239, 242, 244  
Compósito 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 249  
Conforto 209, 300  
Conforto Térmico 193, 194, 195, 199, 201, 202, 204, 205, 206, 209, 210  
Controle 6, 13, 112, 128, 166, 171, 173, 188, 207, 210, 234, 236, 237, 238, 240, 241, 242, 243, 244, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 282, 283, 302, 303  
Corrosão Intergranular 49, 50, 51, 54, 55, 58, 59  
Custos 2, 18, 20, 61, 97, 111, 112, 113, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 151, 176, 234, 255, 256, 257, 262, 263

### E

Educação 1, 18, 30, 165, 166, 173, 174, 204, 245, 247, 253, 255, 300  
Eficiência 114, 116, 178, 180, 181, 190, 196, 234, 235, 236, 237, 238, 242, 243, 244

Eficiência Energética 18, 175, 177, 178, 181, 182, 183, 184, 196, 204, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244

Elementos Finitos 142, 143, 144, 148, 149

Energia 61, 76, 94, 98, 100, 120, 155, 178, 183, 189, 235, 236, 243, 245, 254, 257, 266, 267, 306

Energia Solar Fotovoltaica 245, 246, 254

Engenharia Mecânica 17, 49, 77, 95, 96, 111, 148, 150, 165, 166, 174, 182, 184, 192, 307

Ergonomia 193, 204, 211, 212, 213, 215, 220, 232

Extrusão 96, 97, 98, 100, 105, 107, 108, 109

## **F**

Fase Sigma 49, 50, 51, 53, 56

Fibra Natural 1

Fibra Vegetal 1, 2

## **I**

Índice de Calor 205, 206, 207, 208

Inteligência Artificial 150, 152, 154, 159, 237, 268, 283

## **L**

Laser 60, 61, 78, 79, 96, 97, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Liga AA7009 78

Liga AA7013 60

## **M**

Metalurgia do Pó 60, 61, 62, 71, 76, 77, 78, 79, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 103

Metrologia 165, 166, 169, 170, 173, 174, 177, 183

Moagem de Alta Energia 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 78, 79, 80, 83, 84, 86, 89, 91, 92, 94, 96, 98, 100

## **O**

Ônibus 205, 206

## **P**

Piaçava 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

Propulsão de Embarcações 245, 246

## **R**

Redes Neurais 150, 152, 237, 240, 243, 244, 268, 269, 272, 276, 282, 283

Refrigerador de Grãos 184, 186

Resíduo 19, 30, 54

## **S**

Sistemas Fotovoltaicos 255, 265, 266, 267

Soldagem 61, 62, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 307

Sustentabilidade 175, 234, 245, 253

## **T**

Temperatura de Corte 142, 148, 152

Temperatura do Ar 184, 189, 199, 200, 205, 206, 207, 208

Texturização 126, 128, 129, 130, 139

Torneamento 126, 130, 133, 135, 136, 139, 148, 150, 152, 156, 161

Tubos Canadianos 184, 186, 192

Tubulações Industriais 111, 112, 119

## **U**

Umidade Relativa do Ar 6, 195, 205, 206, 207, 208

Usinagem 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 150, 151, 154, 156, 161

# Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas  
e motores no cotidiano do homem

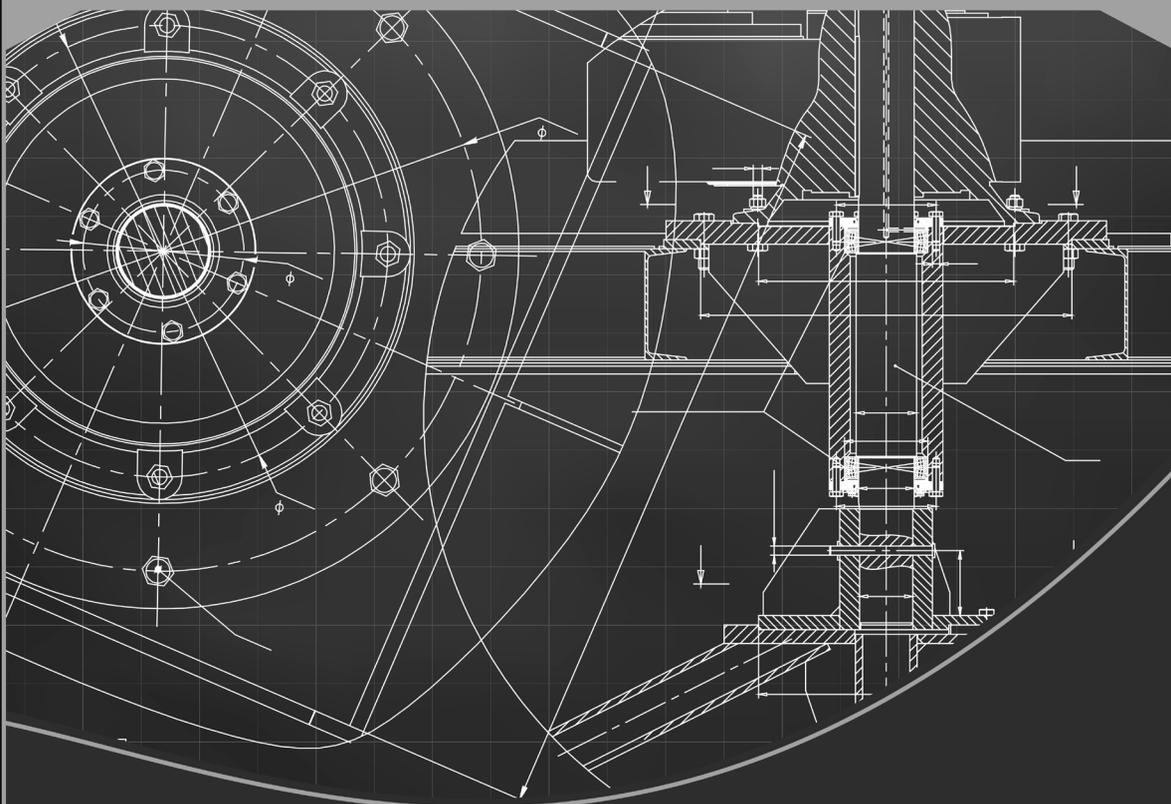
2

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

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora

Ano 2021

# Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas  
e motores no cotidiano do homem

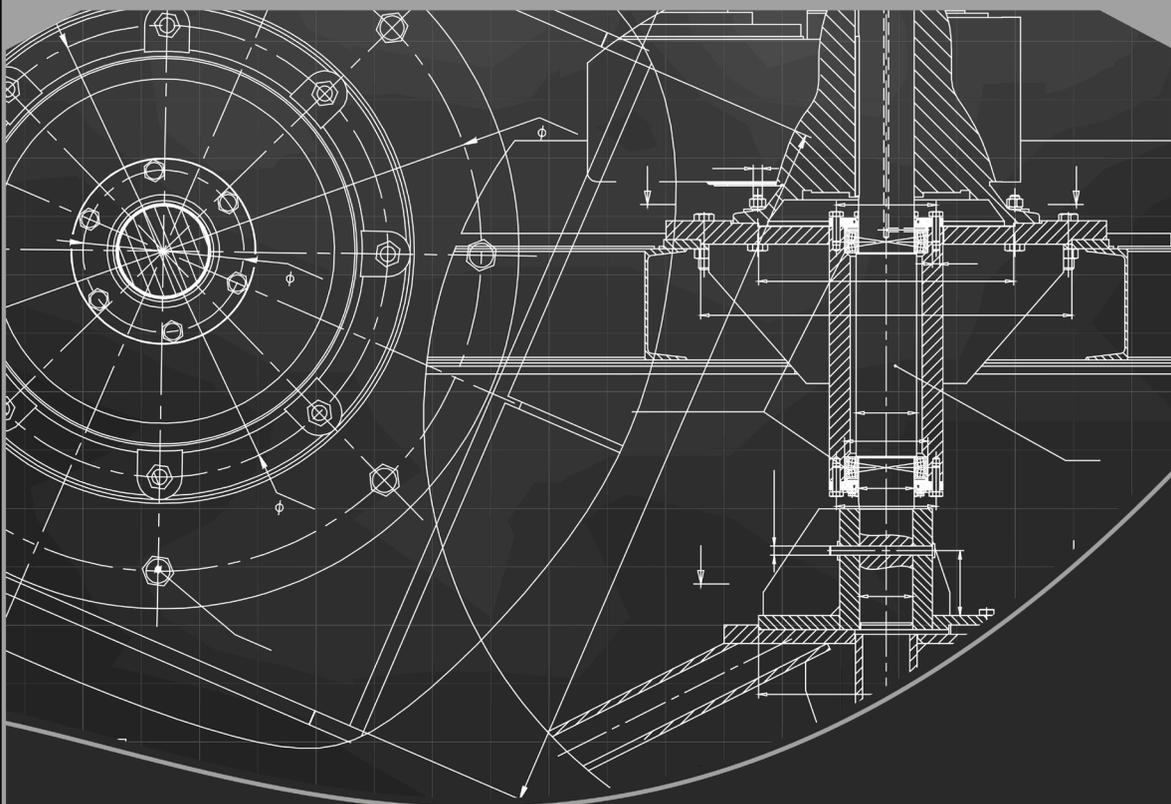
# 2

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

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora

Ano 2021