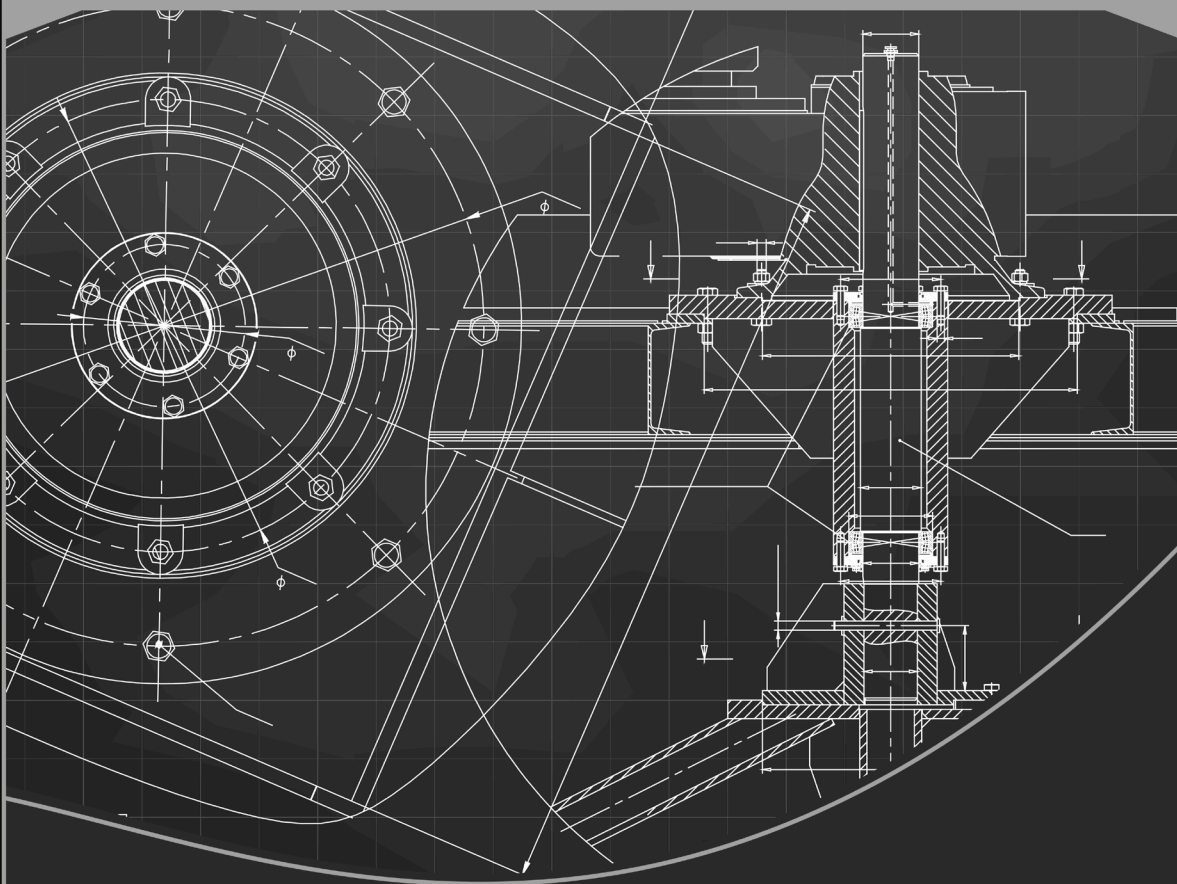


Engenharia mecânica:

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

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

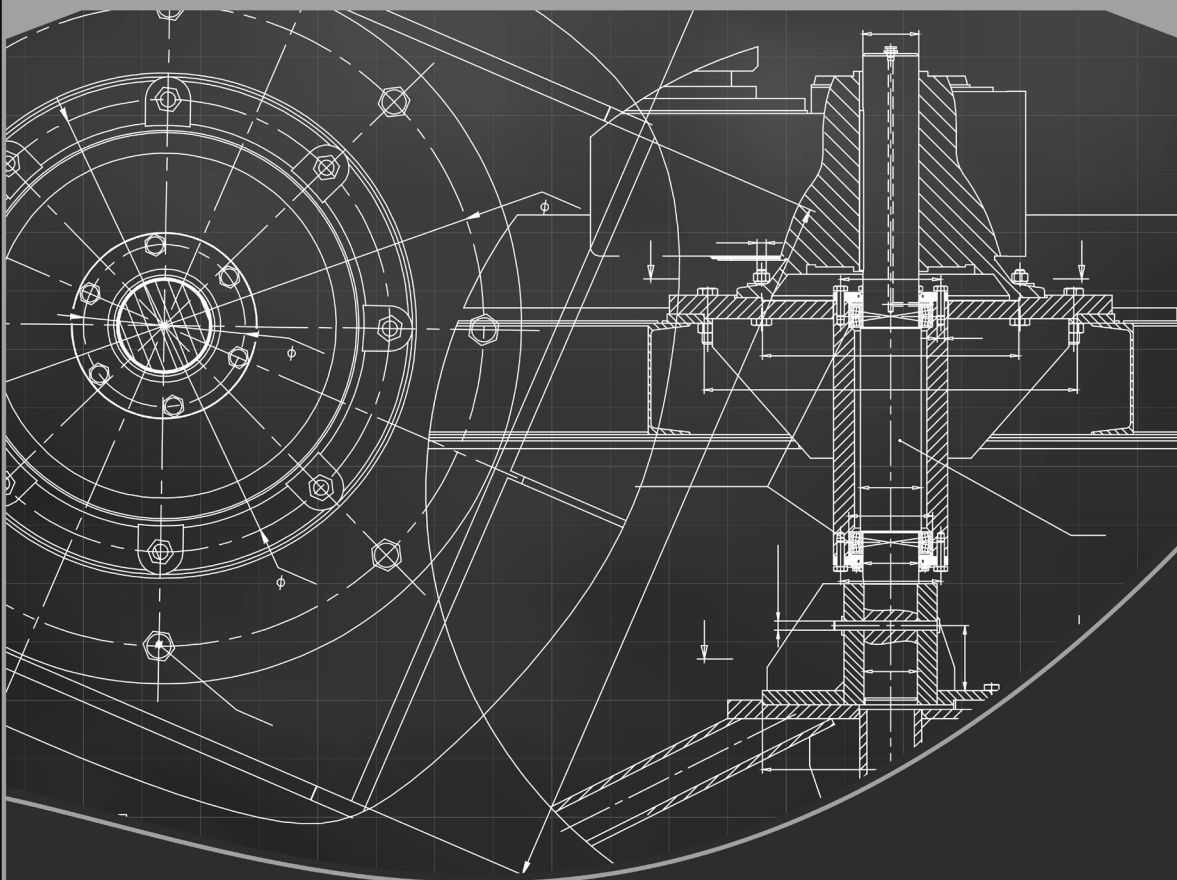
Ano 2021

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 Cremo

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

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 Olimpico 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 Olimpico 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

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

STRUCTURAL OPTIMIZATION OF A NOSE LANDING GEAR FOR CESSNA 172 AIRPLANE

Data de aceite: 01/06/2021

Submission date: 28/02/2021

Raphael Basilio Pires Nonato

CEFET/RJ, Mechanical Engineering
Department

Nova Iguaçu – RJ

<http://lattes.cnpq.br/9331089672178927>

Alexander Dias Lopes

CEFET/RJ, Mechanical Engineering
Department

Nova Iguaçu – RJ

<http://lattes.cnpq.br/7024024366143552>

ABSTRACT: The landing gear assembly is one of the most important aircraft systems because it is the first interface with the ground at the time of landing, supporting individually great part of the impact load that is applied on the aircraft at this instant. Therefore, this system must be provided with a certain security level to perform such a task, however without adding too much mass to the aircraft, i.e. it must be robust enough to support the referred efforts, without aggregating mass enough to increase the fuel consumption to non-acceptable levels. Hence, the structural optimization is necessary, aiming at minimizing the masses of the system components. In this paper, the nose landing gear fork of CESSNA 172 airplane is designed and subjected to a size optimization (minimizing its mass). From the free body diagram analytical and computational calculations (applying the Finite Element Method)

are performed, the latter method being the basis for the structural optimization. Based on the initial design, the results show that the mass has the potential to be reduced at about 33.13%, making the component lighter and, therefore, bringing a reduction in the operational cost of the referred aircraft.

KEYWORDS: Structural optimization, structural analysis, landing gear, Cessna.

1 | INTRODUCTION

Due to globalization, the international relations have intensified, and consequently, the need for faster and more efficient means of transportation for medium and large distances has been growing. Consequently, the number of aircrafts in the Brazilian and global fleets in the next years tends to increase. For example, in 2014, there were 15210 registered aircrafts in Brazil; Six years later, the number has reached 28142 unities, representing an increase of more than 85%, according to ANAC (2020). In view of that, the demand for design, manufacturing, logistics, planning, infrastructure, and other activities directly and indirectly associated to this sector tends to follow this behavior.

In this industry, the primary operational guidelines are safety and economy, which, in some situations, represent a tough dichotomy. Therefore, one of the solutions frequently proposed in this scenario is the optimization. In order to work at the limit of optimal acceptable

and feasible solutions, the objective is to keep a safe design observing the current standards concomitantly with the lowest mass and aerodynamic profile best suited to the function it performs.

In the context of safety, one of the most critical systems of an aircraft is the landing gear because it promotes the first interaction with the ground at the time of landing, supporting individually great part of the impact load applied on the aircraft at this moment. From this understanding, this system must be provided with an adequate security level to perform this type of task, however without adding excessive mass to the aircraft, i.e. it must have the robustness to attend safety/service requirements, without aggregating mass enough to affect the economy of the operation. According to Federal Aviation Administration (FAA) (2012), about 55% of aircraft failures occurred in landing and takeoff maneuvers. From this perspective, the landing gear is the essential intermediation between the landing and the catastrophe, as mentioned by Currey (1988).

1.1 Background and Fundamental Concepts

The first Cessna 172 was manufactured in 1956, in which the tricycle configuration represented the improvement of this model compared to the 170. This then new arrangement of wheels provided greater stability at the time of landing the airplane. The referred model can be seen in Figure 1.



Figure 1. Cessna 172. Source: Smith (2010).

This airplane is a light single-engine, equipped with tricycle landing gear, and can carry four passengers, including the pilot. Its manual also informs that the maximum landing mass is 1091 kg and its load factor is 3. This model is still used in the most diverse aviation branches, from agriculture to warlike industry.

1.2 Landing Gear System

This system is commonly classified according to two branches: its localization related to the gravity center and the number of wheels. Raymer (1989) lists the existing configurations, highlighting that the most applied one is the tricycle, which has a wheel

ahead of the gravity center (near the airplane nose, reason why it is called nose landing gear). The set of two wheels behind the gravity center is denominated main landing gear (see Figure 1).

The components of a nose landing gear are shown in Figure 2. The role of the cylinder-piston assembly is to connect the entire system to the airplane structure and damp the impact of the landing, absorbing part of the energy and transferring part to the airplane structure. The upper and lower locating cams fit to provide guidance to have the wheel axle orthogonal to the longitudinal axle of the airplane. The torque arms help the cylinder-piston assembly to keep the alignment of the fork, while the latter houses the axle and wheel. At a specific moment of landing, the wheel touches the ground and the load is transferred to the axle, which propagates it to the fork (the scope of calculation of this paper), transmitting the efforts to the cylinder-piston assembly and to the torque arms.

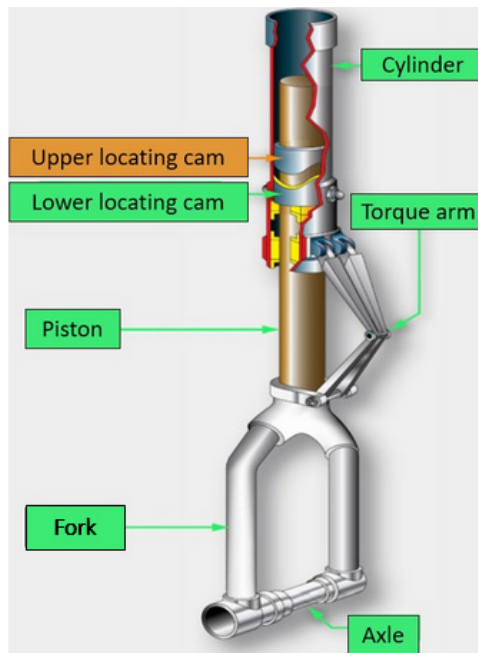


Figure 2. Main components of the nose landing gear of a Cessna 172. Source: FAA (2012).

The following formulation is based on the premise that the landing process is performed on three wheels. This type of landing is characterized by equally distributing the impact loading from the ground, which can be calculated by Equation 1, according to FAA (2002):

$$F_{MAX} = m_{MAX} g F_L, \quad (1)$$

where m_{MAX} is the maximum allowed mass to proceed to a landing process, F_L is the load factor, and g is the gravity acceleration. Due to this loading, two main forces arise: one horizontal F_H directed backwards the airplane, another vertical F_V directed upwards, respectively given by Equations 2 and 3, according to FAA (2002):

$$F_H = 0.4 F_V, \quad (2)$$

$$F_V = 0.15 F_{MAX}. \quad (3)$$

These loads constitute the main input data to the calculation presented in this paper, which scope is the fork optimization. According to the load path related to the landing process, the axle provides the input load to the fork. Besides that, the opening width and height are dictated by the wheel assembly (which includes the wheel, axle, washers, spacers, etc.).

1.3 Optimization

This branch is concerned with exploiting the available limited resources maximizing the output, according to Haftka and Gürdal (1991). The minimum weight design was probably applied in large extent by the aerospace industry, where manufacturing cost is not a priority. While the objective function $f(\mathbf{x})$ is the scope of improvement and can be a measure of the design effectiveness, the constraints impose limits on quantities related to the design. Mathematically, Equation 4 gives the standard formulation:

$$\begin{aligned} \min \quad & f(\mathbf{x}) \\ \text{such that } & p_j(\mathbf{x}) = a, \quad j = 1, \dots, n_p, \\ & q_k(\mathbf{x}) \leq b, \quad k = 1, \dots, n_q, \\ & x_i^L \leq x_i \leq x_i^U, \quad i = 1, \dots, n_r, \end{aligned} \quad (4)$$

Where \mathbf{x} represents a vector of design variables x_i , such that $i = 1, \dots, n_r$. There are n_p equality constraints $p_j(\mathbf{x})$ equal to a constant “a”, n_q inequality constraints $q_k(\mathbf{x})$ less-than a constant “b”, and x_i^L and x_i^U are the lower and upper bounds of the design variable x_i . The feasible domain corresponds to the set of design variables that satisfy the constraints imposed.

Potra and Simiu (2010) introduced a multihazard structural design problem in nonlinear programming. This was performed for an example of four design variables and two hazards (strong winds and earthquake). Gandomi et al. (2011) solved mixed continuous/discrete structural optimization problems by means of a metaheuristic optimization algorithm, the firefly algorithm (FA). Hasançebi et al. (2013) developed a novel algorithm employing a numerical optimization technique that uses the echolocation behavior of bats in seeking a design space for structural optimization. Russo and Rizzi (2014) proposed the

integration between life cycle assessment tools and a computer-aided methodology, based on the integration of structural optimization. The life cycle mapping tool was developed to trace the growth of environmental impacts throughout the product's life cycle. Zhao et al. (2017) performed a structural optimization of a downhole oil-water separator consisting of two series de-oiling hydrocyclones. A combination of methods was made to improve the geometry and, consequently, the separation performance.

Sandal et al. (2018) presented an approach for sizing optimization (mass minimization) with the application to jackets for offshore wind turbine, which constraints were fatigue and ultimate limit states. Bucher (2018) discussed strategies to have a suitable response surface model, evaluating its quality prediction, and discerning about important and unimportant variables. Thore et al. (2019) proposed a topology structural optimization with uncertainty consideration, comparing three solution concepts: Pareto optima, Stackelberg equilibria, and Nash equilibria. Zhao et al. (2020) introduced a novel approach based on the graph theory and the set theory aiming at controlling the number and size of interior holes of the structures.

Therefore, structural optimization plays an important role in the society because it aims at providing enough safety associated with the lowest possible cost. One of the main difficulties is often addressed to develop and implement a tailor-made algorithm in order to reflect the specific circumstances of the design.

2 | MATERIALS AND METHODS

The analysis of the fork assumed some premises in order to simplify and turn it feasible. The main assumptions are based on thermodynamics, manufacturing processes, and natural principles. Just to mention some of them, the process of deformation is considered isothermal and isochoric, the material homogeneous and isotropic, and that Saint Venant's principle is observed (pertinent concentration factors are taken into account). The component is made of AISI 4130 steel, normalized at 870°C, exception made for the region of the holes of the interface with the axle and the holes to assembly the piston-cylinder assembly, which are suddenly cold when the heating reaches 855°C (quenching process). The material properties of this component are presented in Table 1.

Quantity	NORMALIZED PART	Magnitude	QUENCHED PART	Magnitude
Brinell hardness (HB)		163		241
Ultimate tensile strength (MPa)		615		841
Yield tensile strength (MPa)		435		655
Modulus of elasticity (GPa)		205		205
Poisson's ratio		0.29		0.29
Elongation at break (%)		27.0		20.5
Reduction of area (%)		61.2		63.6

Table 1. Fork material properties (AISI 4130). Source: Matweb (2020).

2.1 Free Body Diagram

This mapping of actuating loads aims at obtaining the input to the analytical calculation and to the finite element analysis (FEA) conducted to produce the topological optimization. The specific condition in which this design is executed is the exact moment of the landing, which can be initially represented by the wheel touching the ground. This produces the horizontal F_H and vertical F_V loads on the wheel, described by Equations 2 and 3, respectively. This action pushes the wheel against the axle (producing contact, shear, and bending loading), which in its turn acts on the fork (with bending, compression, torsion, contact, and buckling effects). The latter induces compression, contact, and bending on the piston-cylinder assembly, being the load transferred to the main structure of the airplane (transferring torsion, bending, contact, and compression).

The free body diagram of the fork is shown in Figure 3, in which the nomenclature is understood as follows: variables initiating with letter "R" stand for reaction forces; "F" for applied loads; "M" for reaction moments; and "T" for applied moments. The main dimensions of this component are symbolically represented in Figure 4. Complementarily, Table 2 shows the geometrical and loading magnitudes related to these symbols.

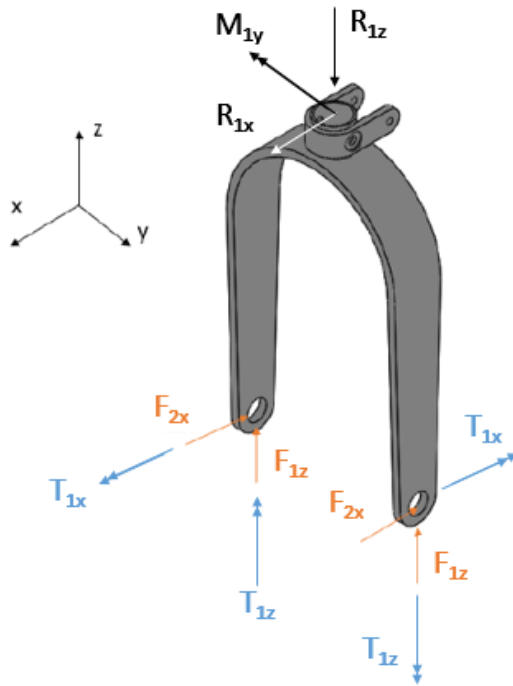


Figure 3. Free body diagram of the fork. Source: own authorship (2020).

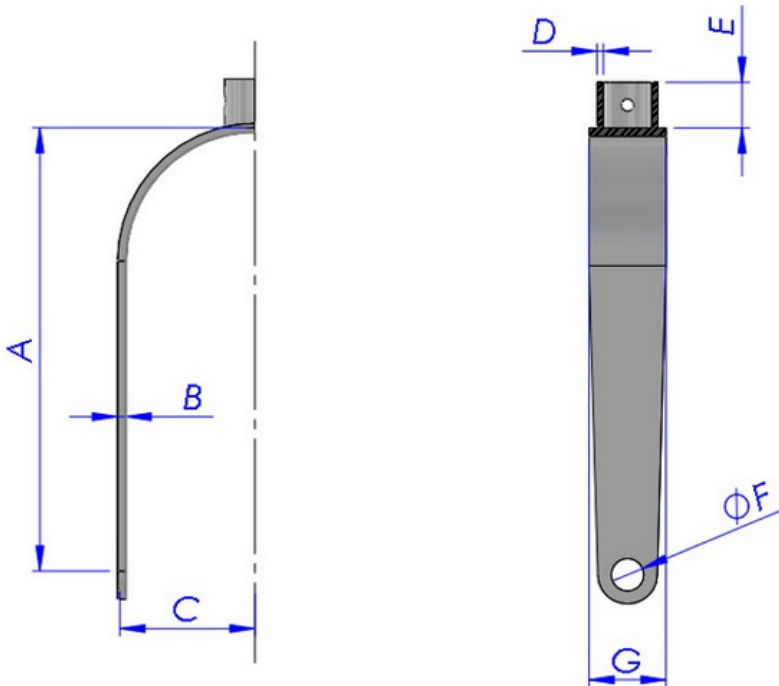


Figure 4. Main dimensions of the fork. Source: own authorship (2020).

GEOMETRICAL	Quantity	Magnitude (mm)
	A	292
	B	5.56
	C	89
	D	4
	E	30
	F	21.3
	G	50.8
LOADING	Quantity	Magnitude (N)
	Force F_{1x}	122.5
	Force F_{1z}	306.0
	Quantity	Magnitude (Nmm)
	Moment T_{1x}	13008
	Moment T_{1z}	5210

Table 2. Values of the geometrical and loading quantities. Source: own authorship (2020).

2.2 Analytical Calculation and Finite Element Analysis (FEA)

The classical mathematical expressions from mechanics of materials were used to perform the analytical calculation for stresses and safety factors. The stress concentration factor is associated to the mean actuating stress to reflect the stress concentration phenomenon. The potentially critical infinitesimal elements selected are under plane stress state. The location followed by the types of actuating stresses are listed: (a) lower holes (interface with the axle): contact; (b) transition from the legs to the cylinder: bending, torsion, and compression; (c) upper holes (interface with the piston-cylinder assembly): compression, bending, torsion, and contact; (d) legs: buckling, compression, bending, and torsion.

Therefore, the equations applied in this work for the analytical calculation are the following: contact, bending, torsion, and compression stresses, and critical load from buckling, which are given, respectively, by Equations 4, 5, 6, 7, and 8. Besides that, it's considered the wheel doesn't absorb any part of the load impact.

$$\sigma_C = \frac{F_C}{A_P}, \quad (4)$$

$$\sigma_B = \frac{M_B y}{I}, \quad (5)$$

$$\tau_T = \frac{M_T r}{I_P}, \quad (6)$$

$$\sigma_{COM} = \frac{F}{A}, \quad (7)$$

$$F_{CRI} = K_B \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 E I, \quad (8)$$

In which F_c is the contact force and A_p is the area of a component projected on the other. M_B is the bending moment, y is the distance between the neutral axle and the fiber to calculate, and I is the moment of inertia related to the rotation axle. M_T is the torsion moment, r is the radius of the region under torsion, and I_p is the polar moment of inertia. F is the force normal to the analyzed plane and A is the area under compression (which normal to the plane under analysis is parallel to the compression force vector and opposite in direction to it). $K_B = 1$ (one end fixed, another free to displace) is the support condition for buckling, F_{CRI} is the critical load magnitude to provoke the buckling phenomenon, L is the leg length, and E is the elasticity modulus.

These regions present stresses combined such that they should be expressed in terms of principal stresses to apply a failure criterion. In this work, von Mises theory was used to calculate the safety factor N (Equation 9) of the infinitesimal elements listed under this topic based on yield strength S_y :

$$N = \frac{S_y}{\left(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2 \right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{S_y}{\sigma_{VM}}, \quad (9)$$

Where σ_{VM} is the von Mises stress, σ_1 and σ_2 are the maximum and minimum principal stresses, respectively.

Once the analytical calculation was done, a finite element analysis (FEA) was conducted in COSMOSWorks® software, which results were given in terms of stresses and displacements. The analysis observed the conditions presented by the free body diagram, where material parameters were taken from Table 1, and geometrical and loading parameters were extracted from Table 2.

2.3 Optimization Problem

The problem to solve in this paper refers to a size optimization of the thickness of the fork legs, intending to minimize the mass of this component. The black-box algorithm of the software COSMOSWorks® was used for this intent. All the boundary conditions were inserted on, the objective set to be the minimization of the mass subjected to constraint of maximum von Mises stress (290 MPa) found in the most critical region of the legs, i.e. the upper part connected to the cylinder. Due to the fact that the selected manufacturing final process of the fork is the welding (the cylinder is welded to the legs), after the mass is minimized, a standardization to the closest upper fraction of denominator 32 of inch is

made, allowing the acquisition of a standard available thickness, decreasing its cost and facilitating eventual substitutions.

3 | RESULTS AND CONCLUSIONS

The free body diagram shown in Figure 3 and the data contained in Tables 1 and 2 were input for the optimization performed. The finite element analysis performed is represented graphically in Figures 5 (mesh in the region of the holes that house the axle), 6 (mesh in the region of transition between the cylinder and the legs), 7 (stress in transition cylinder-legs), 8 (stress filtered equal or greater than 290 MPa), and 9 (total displacement).



Figure 5. Mesh for the transition lower holes-legs of the fork. Source: own authorship (2020).



Figure 6. Mesh for the transition cylinder-legs of the fork. Source: own authorship (2020).

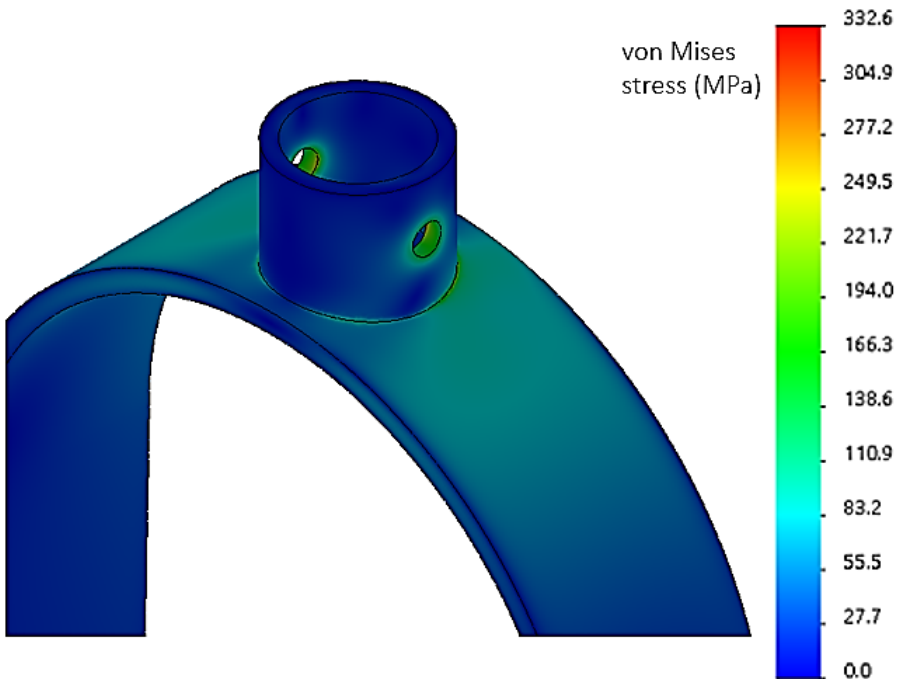


Figure 7. Stress in transition cylinder-legs. Source: own authorship (2020).

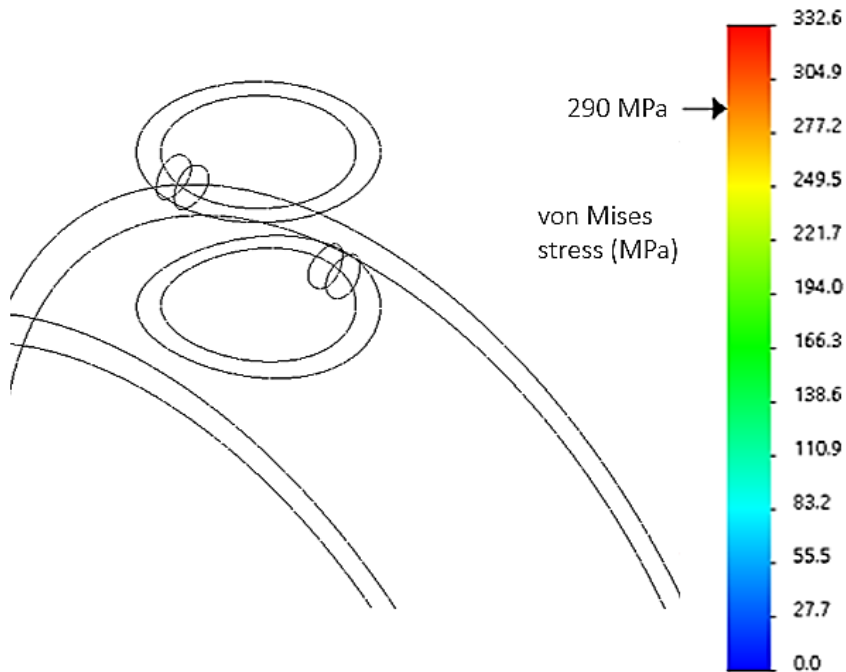


Figure 8. Stress filtered equal or higher than 290 MPa. Source: own authorship (2020).

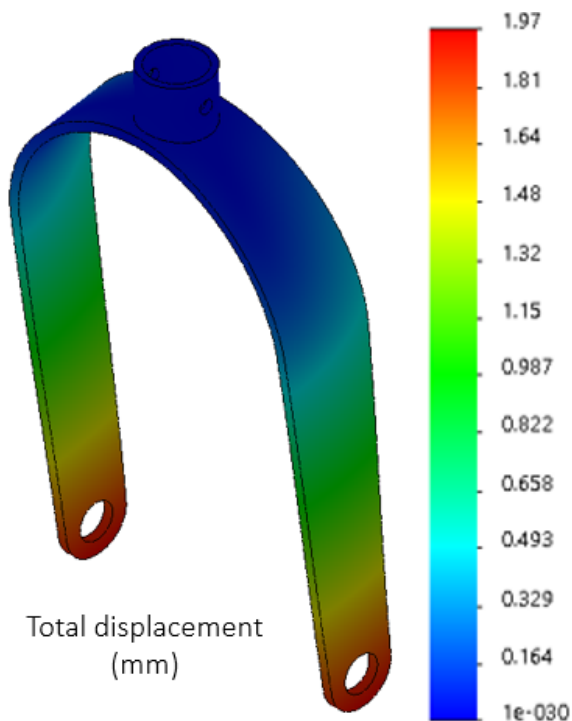


Figure 9. Total displacement of the fork. Source: own authorship (2020).

The last five figures refer to results after the optimization process. The largest and the smallest sizes of the tetrahedral finite elements used are 1 and 0.2 mm, respectively (using the curvature-based mesh). Therefore, as can be noted in Figure 8, the stress is not greater than 290 MPa, except for some singularities in the hole of the cylinder and in the transition between the cylinder and the legs.

The initial design had an initial thickness of 7.94 mm (5/16 in), which corresponds to a maximum von Mises stress of 153.36 MPa (safety factor $N = 2.84$), and to a mass of 2160.51 g. After three iterations, the algorithm returned the optimal output of mass (1444.63 g), corresponding to a thickness of 5.48 mm and to a maximum stress of 290 MPa (safety factor $N = 1.5$). In order to use a standard thickness of raw plate, the thickness was then selected to be 5.56 mm (7/32 in). After performing the simulation for this new thickness, the maximum von Mises stress found was 284.70 MPa (safety factor $N = 1.53$), and the final result for the mass was 1536.13 g, which represents a mass reduction of 33.13% (see Table 3 for further details of other iterations).

Quantity	Initial	Iteration 1	Iteration 2	Optimal	Standardized
Thickness (mm)	7.94	3.97	11.91	5.48	5.56
Stress (MPa)	153.36	410.25	86.35	290.00	284.70
Mass (g)	2160.51	1123.82	3216.96	1444.63	1536.13

Table 3. Optimization iterations for fork. Source: own authorship (2020).

These results address that as the thickness was reduced, the stresses increased and the mass decreased. Due to the fact that the optimization process has not included the shape in its work scope, the mass of the fork still has potential for optimization. In view of this, future improvements of this work can be done by studying a complete topology optimization of the component.

From all the above, it is concluded that the structural optimization has achieved its objectives in what refers to the size (thickness), what provided a mass reduction of about 33.13%. In addition, the thickness of the plate was standardized aiming at facilitating the acquisition of the raw material to manufacture it.

REFERENCES

ANAC: **Aircraft database**. Available in: < [https://www.anac.gov.br/assuntos/ setor-regulado/ aeronaves/ rab/relatorios-estatisticos](https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aeronaves/rab/relatorios-estatisticos)>. Access on: 20 sep. 2020.

BUCHER, C. **Metamodels of optimal quality for stochastic structural optimization**. Probabilistic Engineering Mechanics, v. 54, p. 131-137, 2018.

CESSNA: 172 S NAV III: **information manual**. Available in: < <http://aeroatlanta.com/docs/aero-atlanta-c172sp-naviii-poh.pdf>>. Access on: 26 feb. 2020.

CURREY, N. **Aircraft landing gear design**: principles and practices. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, USA, 392 p., 1988.

FAA. FAR-PART 23.2305: Airworthiness standards: **acrobat category airplanes**. Available in: < https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=685dc1ae97ae3f5e5569e47880fab01e&mc=rue&node=pt14.1.23#se14.1.23_12305>. Access on: 26 feb. 2020.

FAA: Handbooks manuals, chapter 13: **aircraft landing gear systems**. Available in: < https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/media/amt_airframe_hb_vol_1.pdf>. Access on: 20 jan. 2020.

GANDOMI, A. H.; YANG, X-S.; ALAVI, A. H. **Mixed variable structural optimization using Firefly algorithm**. Computers and Structures, v. 89, p. 2325-2336, 2011.

HAFTKA, R. T.; GÜRDAL, Z. **Elements of structural optimization**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 502 p., 1991.

HASANÇEBI, O.; TEKE, T.; PEKCAN, O. **A bat-inspired algorithm for structural optimization**. Computers and Structures, v. 128, p. 77-90, 2013.

MATWEB: **Material properties of AISI 4130 normalized at 870°C**. Available in: < <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c2decafd41b94684bf6f9114ff3cb661&ckck=1>>. Access on: 13 may. 2020.

MATWEB: **Material properties of AISI 4130 water quenched at 855°C**. Available in: < <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ac4f5d5520754966925563d4437e07a6>>. Access on: 13 may. 2020.

POTRA, F. A.; SIMIU, E. **Multihazard design: structural optimization approach**. J. Optim. Theory Appl., v. 144, p. 120-136, 2010.

RAYMER, D. P. **Aircraft design: a conceptual approach**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, USA, 1062 p., 1989.

RUSSO, D.; RIZZI, C. **Structural optimization strategies to design green products**. Computers in Industry, v. 65, p. 470-479, 2014.

SANDAL, K.; VERBAT, A.; STOLPE, M. **Conceptual jacket design by structural optimization**. Wind Energy, v. 21, p. 1423-1434, 2018.

SMITH, R. **Cessna 172: a pocket history**. Amberley Publishing, Gloucestershire, England, 128 p., 2010.

THORE, C-J.; GRUNDSTRÖM, H. A.; KLARBRING, A. **Game formulations for structural optimization under uncertainty**. Int. J. Numer. Methods Eng., v. 121, p. 165-185, 2019.

ZHAO, C.; SUN, H.; LI, Z. **Structural optimization of downhole oil-water separator**. Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 148, p. 115-126, 2017.

ZHAO, Z-L.; ZHOU, S.; CAI, K.; XIE, Y. M. **A direct approach to controlling the topology in structural optimization**. Computers and Structures, v. 227, p. 106-141, 2020.

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

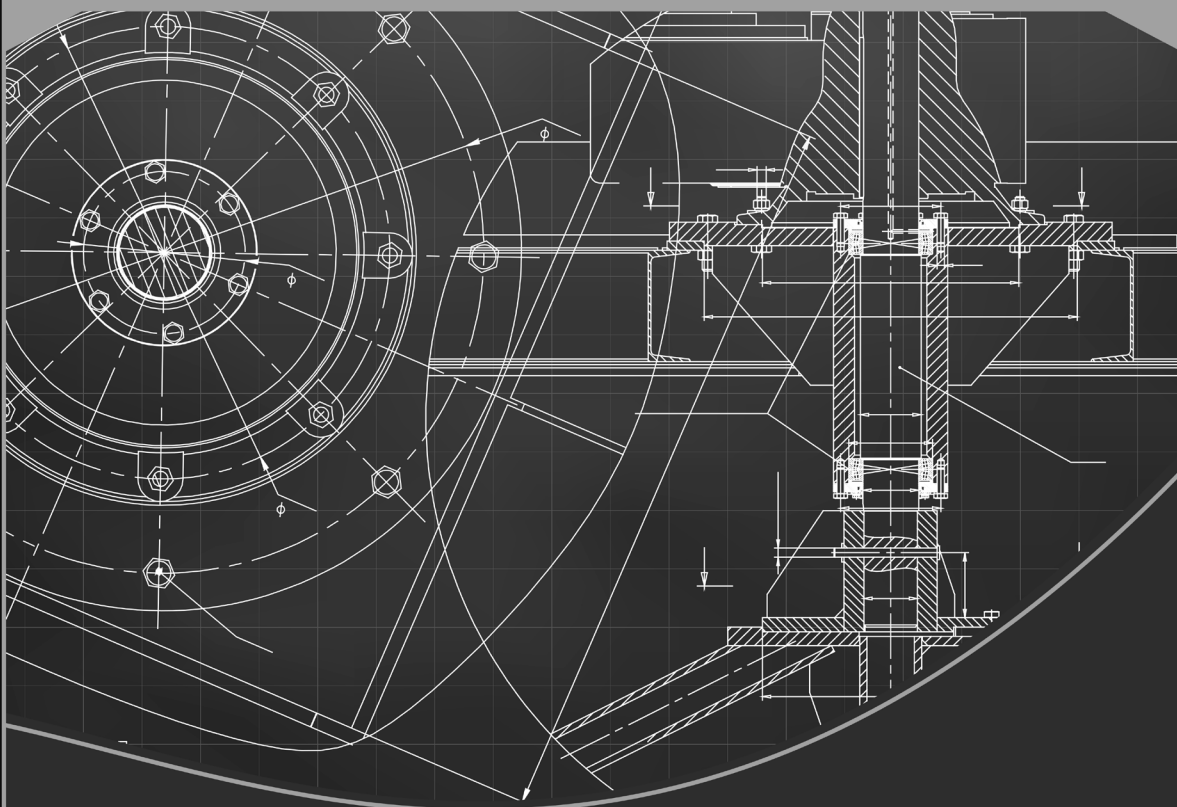
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

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

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Atena
Editora

Ano 2021

Engenharia mecânica:

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

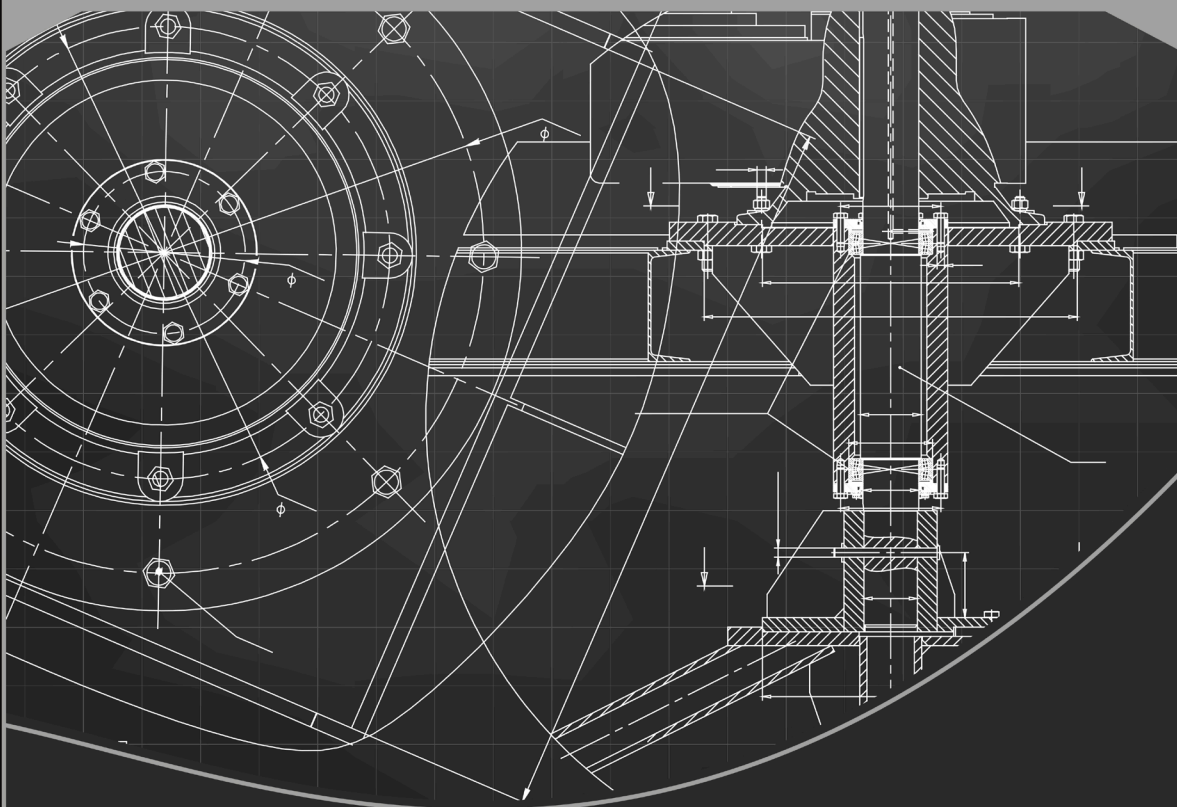
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

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

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Atena
Editora

Ano 2021