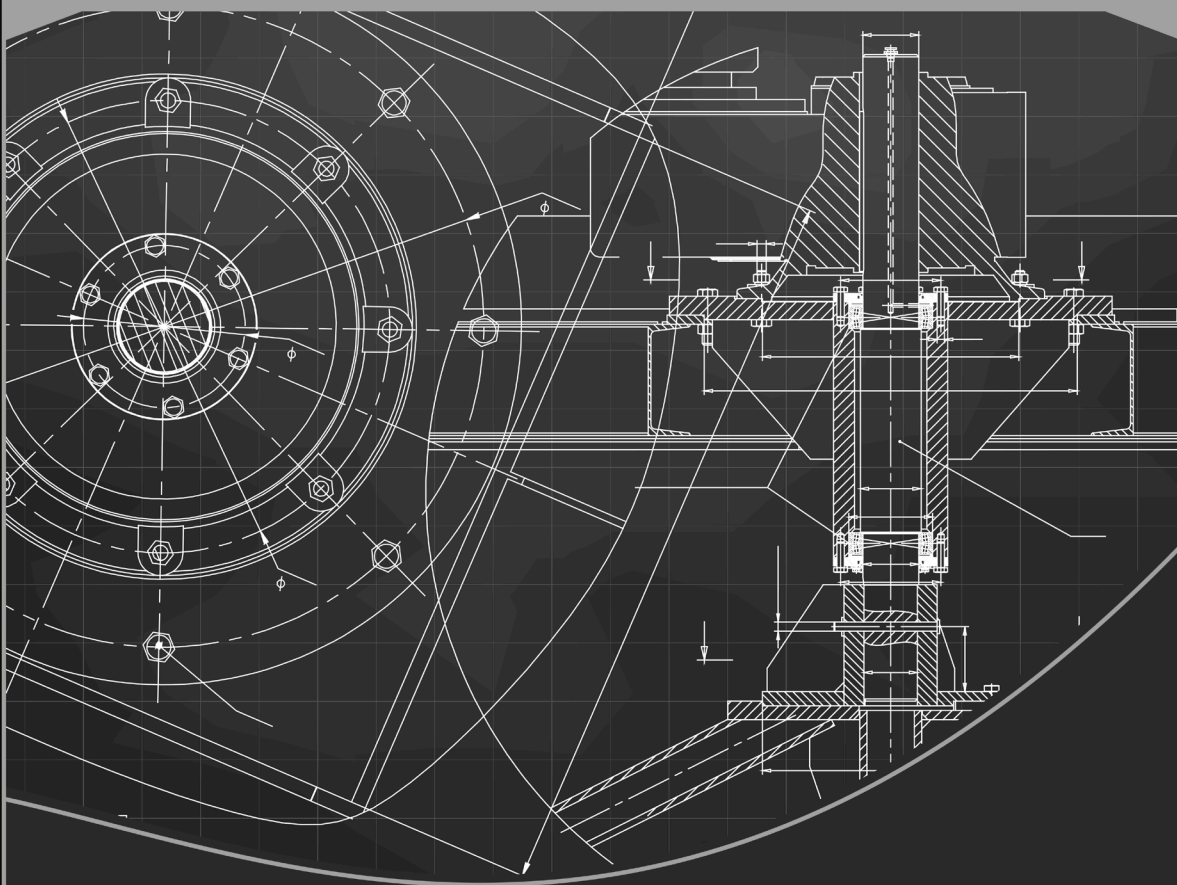


Engenharia mecânica:

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

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

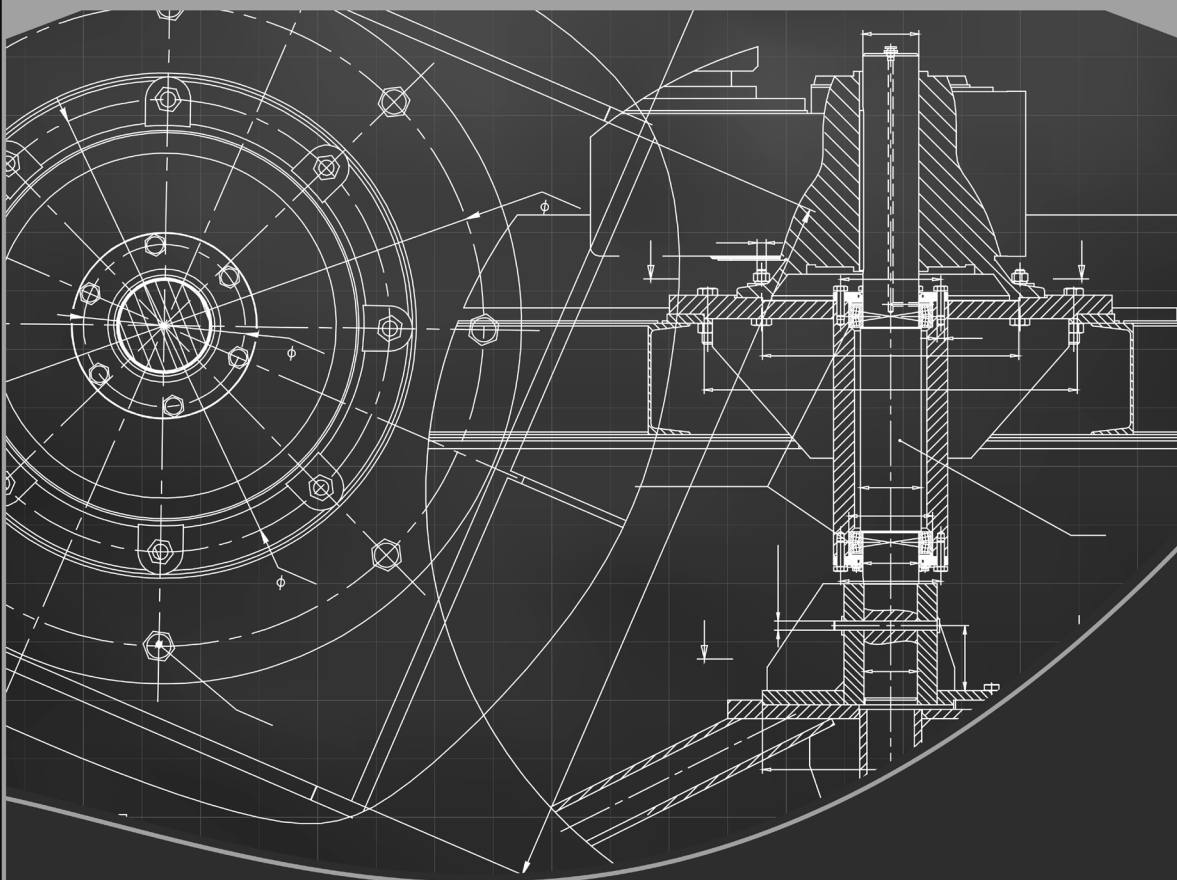
Ano 2021

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 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

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

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

Data de aceite: 01/06/2021

Data de submissão: 23/02/2021

Lucas Costa Brito

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia, Minas Gerais
lattes.cnpq.br/9519306355864837

Márcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia, Minas Gerais
lattes.cnpq.br/9291398329256011

Marcus Antonio Viana Duarte

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia, Minas Gerais
lattes.cnpq.br/9030389274220180

RESUMO: Uma das variáveis mais importantes no processo de usinagem é o desgaste da ferramenta. Assim, o monitoramento do desgaste das ferramentas de corte torna-se essencial para garantir o sucesso do produto, aumentar a produtividade, reduzir o impacto ambiental e evitar danos catastróficos. Para contornar as dificuldades das técnicas tradicionais de monitoramento do desgaste, propõe-se uma nova abordagem na aplicação de técnicas de inteligência artificial não supervisionadas. O objetivo principal do trabalho é identificar o momento ideal de troca da ferramenta com base no sinal de vibração coletado durante o

processo de torneamento. A partir de sinais de vibração, utilizou-se redes neurais mapas auto-organizáveis (SOM), para identificar a condição de desgaste da ferramenta. Conjunto de dados desbalanceados para tornar as análises mais próximas da realidade industrial foram utilizados. Realizou-se testes com ferramentas em diferentes condições de desgaste e variando os parâmetros de corte. Os resultados obtidos permitem concluir que é possível avaliar a condição de desgaste da ferramenta de corte com a técnica de inteligência artificial aplicada, utilizando somente o sinal de vibração com taxas de acerto de até 92 %. Além disso, a metodologia permite aplicações industriais por utilizar uma técnica não supervisionada.

PALAVRAS-CHAVE: Redes Neurais SOM, Monitoramento, Ferramentas de Corte, Torneamento.

IDENTIFICATION OF THE TIME TO EXCHANGE CUTTING TOOLS THROUGH WEAR MONITORING USING VIBRATION SIGNALS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ABSTRACT: One of the most important parameters in machining process is tool wear. Thus, monitoring the wear of cutting tools is essential to ensure product quality, increase productivity, reduce environmental impact and avoid catastrophic damages. To overcome the difficulties of traditional wear monitoring techniques, a new approach is proposed in the application of unsupervised artificial intelligence techniques. The main objective of this work is to identify the ideal tool change time based on

the vibration signal collected during the turning process. Based on vibration signals, self-organizing maps (SOM) neural networks were used to identify the wear condition of the tool. Imbalanced data sets were used to simulate the industrial reality. Tests were carried out with tools in different wear conditions and varying the cutting parameters. The results showed that it is possible to evaluate the wear condition of the cutting tool with the applied artificial intelligence technique, using only the vibration signal with up to 92% accuracy. In addition, the methodology allows industrial applications as it is an unsupervised technique.

KEYWORDS: Self-Organizing Maps (SOM) , Monitoring, Cutting Tools, Turning.

1 | INTRODUÇÃO

O desgaste da ferramenta de corte é uma das consequências inerentes do processo de usinagem, o que torna o monitoramento da mesma essencial para garantia da qualidade, confiabilidade e produtividade dos sistemas de fabricação. Visando evitar as consequências dos desgastes trocas desnecessárias de ferramentas são frequentemente realizadas. Estudos mostram que ferramentas de usinagem em máquinas de comando numérico são trocadas com apenas 50 a 80% de sua vida útil, Liu et al. (2018 a,b). Essa prática além de aumentar o custo de produção, tem alto impacto ambiental em função da quantidade de energia e material necessário para produzir uma ferramenta. O monitoramento on-line do desgaste da ferramenta possibilita determinar o momento ideal de troca da ferramenta, resultando no aumento da produtividade, otimização dos custos de processo, e cumprimento das políticas atuais de zero-defeito de produção, Mikołajczyk et al. (2018).

Ao longo do processo de usinagem, devido principalmente ao desgaste, a ferramenta tem sua geometria inicial alterada, influenciando diretamente na qualidade do produto e nas tolerâncias dimensionais alcançadas. O aumento do raio de ponta da ferramenta por exemplo, pode influenciar significativamente as tensões residuais numa peça, Liu et al. (2004). Além disso, desgastes severos podem resultar na quebra inesperada da ferramenta, que por sua vez, pode ocasionar quebras ainda maiores, como o de componentes da máquina ferramenta, Rizal et al. (2017).

Monitorar o desgaste não é uma tarefa simples, principalmente devido a natureza do desgaste, Kannatey-Asibu et al. (2017). Normalmente, mais de um mecanismo de desgaste pode estar envolvido no processo. Trent e Wright (2000) por exemplo, identifica 6 mecanismos distintos de desgaste numa ferramenta de usinagem: abrasão, adesão, difusão, cisalhamento superficial a altas temperaturas, deformação plástica e entalhe. A presença de diversos mecanismos de desgaste dificulta ainda mais a determinação dos corretos parâmetros para criação um sistema que seja capaz de identificá-lo, Nouri et al. (2015). No monitoramento direto, outros fatores dificultam ainda mais a determinação da condição de vida da ferramenta, tais como: a presença do fluido de corte, impossibilitando as medições do desgaste com microscópio ou a necessidade de parar a máquina para uma medição mais precisa. No caso de medição através da rugosidade da peça, a complexidade das peças torna a medida de rugosidade ainda mais complicada.

Uma forma alternativa para monitorar o desgaste é utilizar métodos indiretos. Ou seja, monitorar e analisar parâmetros obtidos através de sinais de vibração, emissão acústica, força de corte, temperatura de corte, torque e corrente do motor principal, por exemplo.

Dentre as várias possibilidades de monitoramento indireto, pesquisas mostram o sucesso da utilização do sinal de vibração para classificação da condição de desgaste da ferramenta, Siddhpura e Paurobally (2013). Rizal et al. (2017) durante o estudo em fresamento utilizando multi-sensores e *Mahalanobis-Taguchi system* (MTS) mostrou ser o sinal de vibração um dos parâmetros de maior relevância para o método de classificação, com acurácia média de 88.89%. Sevilla et al. (2015 a,b) mostraram que devido a seu baixo custo e fácil instalação, sensores de vibração são amplamente utilizados em monitoramento da condição da ferramenta (*Tool Condition Monitoring* - TCM). Prasad e Babu (2017) provaram que no processo de torneamento existe grande correlação entre o sinal de vibração e o desgaste da ferramenta, através da análise numérica e experimental, avaliando a amplitude do sinal e o desgaste. Rmili et al. (2016) propuseram um método de identificação da condição da ferramenta baseado na análise de vibração alinhado a um sistema automático de detecção em processo de torneamento.

Alinhado a utilização de sinais de vibração, e outros métodos de medição indireto, diversos estudos, como mostrado em Zhou e Xue (2018), vêm sendo realizados com objetivo de desenvolver modelos de inteligência artificial confiáveis para a identificação da condição de desgaste da ferramenta de corte. Yen et al. (2013) utilizaram a técnica *self-organization feature map* (SOM) juntamente com o sinal de emissão acústica (AE) para monitoramento do desgaste da ferramenta na microusinagem, obtendo uma taxa de classificação média de 98% para a condição da ferramenta. Da Silva et al. (2016) aplicaram uma rede neural probabilística para classificação da condição de desgaste em operação de fresamento, obtendo até 91% de acerto. Hassana et al. (2018) compararam seis *benchmarks* para classificar desgaste da ferramenta, dentre elas, redes neurais, *support vector machine* (SVM) e *k-nearest neighbor* (kNN), obtendo até 90% de acerto com SVM.

A maioria dos estudos de TCM trabalha com modelos em que os dados são balanceados (o que, em geral, facilita a aprendizagem do modelo), ou seja, mesma quantidade de sinais para classes (no caso do trabalho, normal e desgastada). Além disso, os classificadores são supervisionados, o que não representa a realidade industrial, limitando sua aplicação. Além disso, muitos trabalhos incluem mais de um sensor, o que pode contribuir para aumentar o custo de implementação em larga escala.

Portanto, o objetivo desse trabalho é desenvolver um método utilizando técnica de inteligência artificial não supervisionada para identificar o momento ideal de troca da ferramenta de corte. Para isso, propôs a utilização de uma rede neural SOM. Em função da ampla gama de aplicações e baixo custo de implementação optou-se por utilizar o monitoramento através do sinal de vibração.

O trabalho encontra-se organizado da seguinte forma. Seção 2 tem-se uma breve explicação sobre o método utilizado. Na seção 3 a metodologia é apresentada. A montagem dos testes e aquisição dos sinais são discutidos na seção 4. Na seção 5 tem-se as análises dos resultados obtidos. E por fim, a seção 6 conclui o trabalho.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Rede Neural SOM (Self-Organizing Map)

A rede SOM foi implementada com sucesso em inúmeras aplicações, em áreas como identificação de falhas, classificação, reconhecimento de voz e análise de *cluster* (Lia et al. 2018; Mikaeil et al. 2018; Lokesh et al. 2019; Mutheneni et al. 2018; Jain et al. 2018; Burnap et al. 2018).

O procedimento basicamente se resume em uma transformação não linear de um espaço de alta dimensão para um espaço com baixa dimensão Cai et al. (2014). Automaticamente, as amostras do conjunto de dados são agrupadas de acordo com suas similaridades, separando aquelas com características diferentes em outros grupos.

A arquitetura da SOM corresponde a uma rede neural com uma camada competitiva bidimensional ou unidimensional, onde existe interação lateral entre os neurônios dentro de uma vizinhança. A rede combina competição como uma forma de aprendizagem objetivando o melhor ajuste dos pesos. Primeiramente, inicia-se os pesos com valores aleatórios pequenos. Em seguida, o conjunto de entrada é apresentado. Através da técnica de quantização vetorial, calcula-se a similaridade, definindo a unidade de melhor correspondência (*best matching unit* - BMU), minimizando o erro de quantização Cai et al. (2014) e o neurônio vencedor é tido como vizinhança topológica.

Baseados nas respostas anteriores, o modelo é atualizado ajustando os pesos até a convergência final determinada, como apresentado na Equação 1, Kohonen (1995), onde m_i é o vetor de referência mais próximo de x , t é o índice dos passos de regressão, x é a amostra, $h_{c(x),i}$ é a função da vizinhança e a taxa de aprendizado.

$$m_i(t+1) = m_i(t) + a(t)h_{c(x),i}(x(t) - m_i(t)) \quad (1)$$

Em resumo, primeiro realiza-se o treinamento não supervisionado com base nos dados apresentados e no processo competitivo supracitado. Posteriormente, realiza-se a classificação dos novos dados em relação aos mapas definidos no treinamento Kohonen (1995).

3 | METODOLOGIA

Os testes experimentais foram realizados no torno CNC e os sinais de vibração das ferramentas coletados em diferentes condições de desgastes. Foram utilizadas duas condições de usinagem, para teste e validação do método. Os sinais adquiridos foram processados e parâmetros vibratórios extraídos para serem utilizados como entradas no sistema de classificação.

Para seleção dos parâmetros vibratórios que melhor representam a condição de desgaste da ferramenta, realizou-se a normalização dos dados e o Teste de Grubbs a fim de eliminar valores extremos (*outliers*) do grupo considerado em condições de desgaste normal. O teste *t* de comparação da população foi aplicado para selecionar os parâmetros vibratórios. Os parâmetros selecionados através do teste *t*, foram utilizados como entrada para treinamento dos classificadores, possibilitando a classificação de novas ferramentas.

3.1 Extração dos parâmetros

Os parâmetros de entrada dos modelos de inteligência artificial devem ser escolhidos cuidadosamente a fim de contribuir na criação de modelos com boa generalização e alta assertividade. Além de evitar problemas como *overfitting* e *underfitting* e reduzir custo computacional dos mesmos. Selecionar os parâmetros que apresentam correlação com o desgaste da ferramenta é a chave para o sucesso do modelo, Xie et al. (2019). Para o estudo, 71 parâmetros relacionados a análise estatística, domínio do tempo, e frequência foram extraídos dos sinais brutos de vibração, Tabela 1.

3.2 Pré-processamento dos dados

Os dados foram pré-processados para garantir a eficiência do método. A normalização foi realizada de acordo com Equação 2, Lu e Wan (2013), onde (x_{max}^j) é o valor máximo e (x_{min}^j) o valor mínimo das amostras para cada parâmetro (*j*), sendo (x_i^j) o valor para o *j* parâmetro da amostra *i*.

$$(X_i^j) = \frac{x_i^j - x_{min}^j}{x_{max}^j - x_{min}^j} \quad (2)$$

Número do Parâmetro	Descrição
1	Média
2	Assimetria (<i>Skewness</i>)
3	Curtose (<i>Kurtosis</i>)
4	Valor Pico
5	Valor Pico-a-Pico
6	Nível RMS em função da amplitude do sinal
7	Fator de Crista
8	K4 [$10\log_{10}(\text{RMS} \cdot \text{Curtose})$]
9-29	Energia em bandas de frequências
30-71	Energia em envelope em bandas de frequências

Tabela 1. Parâmetros estatístico, domínio do tempo e frequência.

Fonte: Autor (2020).

Teste de Grubbs foi utilizado para identificação dos valores extremos (*outliers*) no grupo de treinamento, Wang et al. (2018), Grubbs (1969). O teste t foi utilizado para definir os parâmetros que apresentam maior correlação com o desgaste da ferramenta. Os parâmetros que resultaram em maiores valores da razão $T = t/t_{\text{crítico}}$ foram selecionados. O cálculo da razão t é realizado com duas hipóteses básicas acerca da média, sendo $H_0: \mu_1 = \mu_2$ e $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$, onde μ_1 e μ_2 são as médias populacionais dos parâmetros das ferramentas com desgaste normal e crítico, respectivamente.

Utilizando uma alternativa bilateral, tem-se que a hipótese nula (H_0) será rejeitada com nível de significância (α) de 5%, se $t > t_{\text{críticosuperior}}$ ou $t < t_{\text{críticoinferior}}$.

3.3 Treinamento, teste e modelo

O método não supervisionado SOM foi utilizado. A rede SOM foi formada por duas dimensões, taxa de aprendizado 0.01, valor mínimo de performance do gradiente de $1e-5$, valor máximo de épocas de treinamento de 1000 e tamanho inicial da vizinhança 10.

Para avaliar os métodos de classificação realizou-se testes em duas condições de corte, determinadas conjuntos a e b .

Ressalta-se que os dados de treinamento e validação são diferentes, sendo 70% dos sinais para treinamento e 30% para validação. A mesma quantidade de dados foi mantida nas duas análises. Além disso, o treinamento e validação foram realizados 200 vezes para diferentes conjuntos de dados que foram criados aleatoriamente para cada teste a fim de confirmar a robustez do classificador. O resultado final foi a média das análises.

4 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Processo de torneamento

Os testes foram realizados em um torno CNC, ROMI Multiplic-35D, com 11 kW de potência no motor principal e 20 kVA de potência instalada, com velocidade máxima no rotor de 3000 rpm. O material da peça utilizada no trabalho foi o aço AISI D6 com composição química: 2,10% C, 11,50% Cr, 0,70% W e 0,15% V.

As ferramentas utilizadas foram de PCBN, do fabricante Sandvik Coromant, classe CB7015, com 50% CBN e ligante cerâmico, com geometria SNGA120412 S01030A CB7015. A faixa de trabalho indicada pelo fabricante para a utilização da ferramenta na usinagem de aços endurecidos é velocidade de corte (V_c) de 150-250 m/min, avanço (f) 0,05 - 0,30 mm/rev. e profundidade de corte (a_p) de 0,07 - 1,20 mm. As condições utilizadas são apresentadas na Tabela 2.

Conjunto	V_c	a_p	f
Conjunto (a)	200 m / min	0,2 mm	0,1 mm / rev
Conjunto (b)	150 m / min	0,1 mm	0,05 mm / rev

Tabela 2. Condições de corte.

Fonte: Autor (2020).

Situações típicas de desgaste envolvem mais de um tipo de desgaste, entretanto do ponto de vista de processo, o desgaste de flanco, V_b , é o mais importante, sendo a variável mais comum a ser utilizada para avaliação da condição da ferramenta, Liu et al. (2018a).

Seguindo as recomendações padrões de desgaste, definiu-se como critério de fim de vida útil quando V_b atingisse 0,30 mm. Para o conjunto (a), foram utilizadas 12 ferramentas, sendo 5 ferramentas em condição normal de desgaste, definida por V_b menor que 0,30 mm e 7 ferramentas com desgaste crítico, nas quais V_b era maior que 0,30 mm. Para o conjunto (b), utilizou-se 5 ferramentas, inicialmente novas, que foram utilizadas até a condição de desgaste crítico. Os ensaios foram realizados de maneira aleatória e as ferramentas utilizadas pertenciam a lotes distintos para evitar erros sistemáticos.

O desgaste de flanco medido após cada passe através da análise da superfície de folga em um estéreo microscópio, SZ61 - Olympus, com câmara digital integrada, com ampliação de 40 X. Antes de cada medição realizou-se a calibração do estéreo microscópio por meio de uma escala graduada. Para cada ferramenta inspecionada, foram realizadas três medições, obtendo a média dos valores, o que assegura a confiabilidade estatísticas das mesmas.

Em resumo, utilizou-se um total de 17 ferramentas no teste, considerando os conjuntos a e b, com os intervalos de desgaste de flanco sendo: desgaste normal [$V_B = 0 - 0,30$ mm] e desgaste crítico [$V_B > 0,30$ mm].

4.2 Aquisição dos sinais

Os acelerômetros foram fixados nas posições vertical (direção de corte) e horizontal (direção de avanço). Utilizou-se dois acelerômetros *Brüel & Kjær* com sensibilidades $2,06$ pC/m/s² e $1,00$ pC/m/s² conectados a dois amplificadores de carga *Brüel & Kjær* modelo 2635, e posteriormente a uma placa de aquisição de sinais da National Instruments, de 32 bits, 4 canais.

O sistema de monitoramento foi acoplado ao microcomputador, os dados foram coletados e salvos para posterior análise. O aparato experimental é apresentado na Figura 1.

Com base nas análises previamente desenvolvidas sobre o sistema, onde-se coletou sinais com frequências de amostragem maiores que a utilizada, verificou-se que com frequência de aquisição de 25 kHz e tempo de coleta de 11 segundos, o sinal de vibração abrangeria todas as excitações que poderiam influenciar no desgaste da ferramenta. Foram coletados 132 sinais de vibração, para o conjunto a e 115 sinais par o conjunto b.

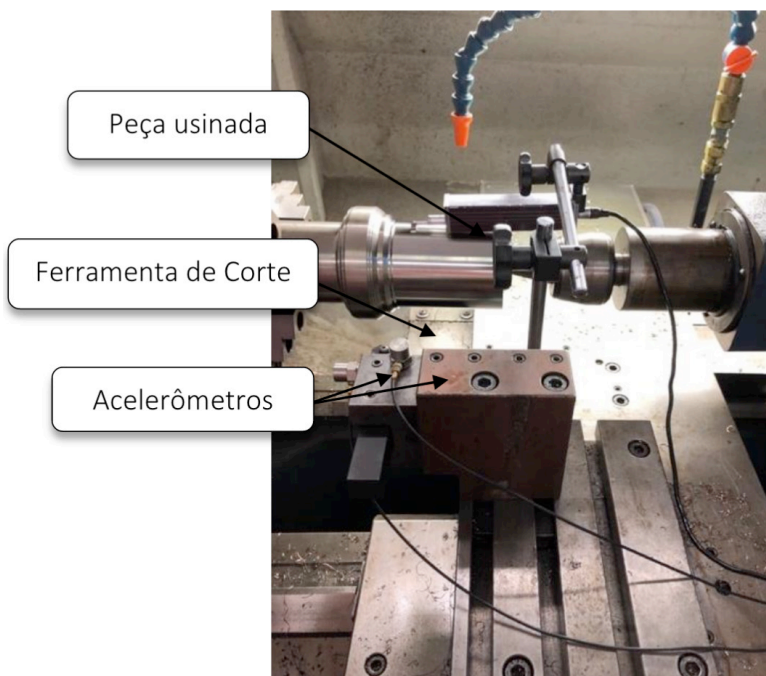


Figura 1. Montagem do aparato experimental.

Fonte: Autor (2020).

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os sinais de vibração brutos no domínio do tempo e da frequência para a ferramenta aleatoriamente selecionada, podem ser observados na Figura 2, com um tempo total de coleta de 11 s, janela *hanning*, *overlap* de 50 % e *df* 6.10 Hz. Nessa etapa, tendo como objetivo apresentar somente o comportamento geral do sinal, não foram realizadas tratamento dos dados para plotagem das figuras. Posteriormente, esses processos foram realizados para extração dos parâmetros vibratórios.

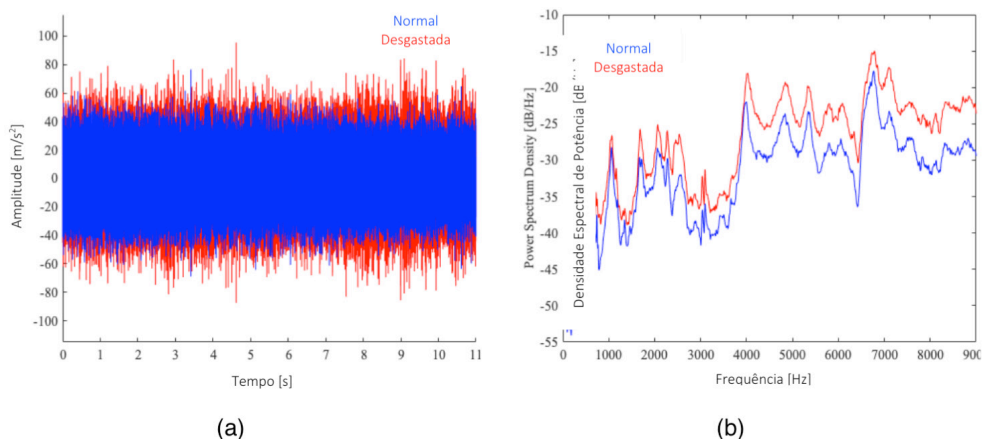


Figura 2. Sinal de vibração para ferramenta em estado normal $V_B = 0,119$ e desgastada $V_B = 0,353$, no domínio do tempo (a) e frequência (b).

Fonte: Autor (2020).

Nota-se pela análise da Figura 2 (a) que existe um aumento da amplitude de vibração com o aumento do desgaste, ou seja, existe uma correlação entre as grandezas, assim como mostrado por Prasad e Babu (2017). Além disso, quando comparado duas ferramentas com grande diferença na condição de desgaste, esse aumento é visualmente perceptível. Nota-se também pela na Figura 2 (b) que algumas bandas de frequência apresentam maior correlação com o desgaste do que outras.

Os sinais de vibração brutos no domínio do tempo e da frequência para ferramentas com valores próximos de desgaste são mostrados na Figura 3.

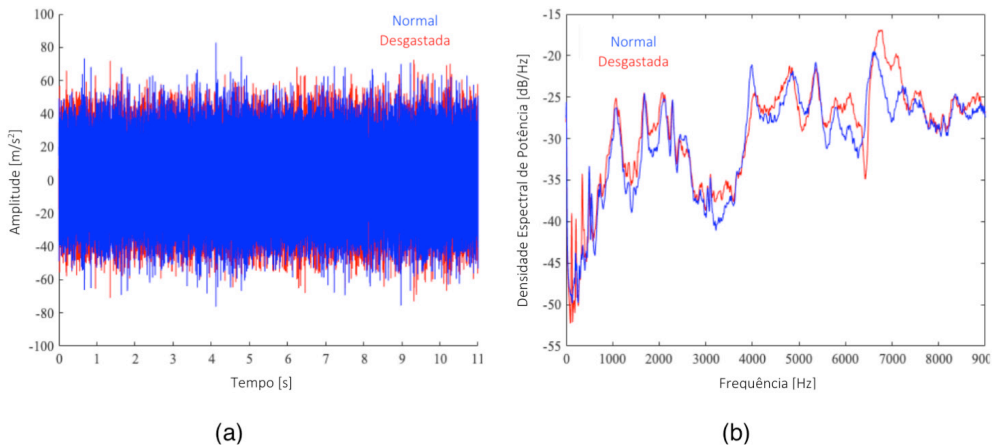


Figura 3. Sinal de vibração para ferramenta em estado normal $V_B = 0,267$ e desgastada $V_B = 0,321$, no domínio do tempo (a) e frequência (b).

Fonte: Autor (2020).

Como pode ser visto, quando o desgaste das ferramentas se encontra muito próximo, é muito difícil classificar a condição da ferramenta apenas observando o sinal. Portanto, para definir o momento ideal da troca de forma automatizada, justifica-se a aplicação de uma técnica de inteligência artificial.

Primeiramente a fim de verificar, e evitar, a presença de valores extremos na amostra (*outliers*), utilizou-se o Teste de Grubbs. Dos testes realizados eliminou-se 5 sinais do conjunto a, resultando em um total de 127 sinais de vibração para o conjunto a, e 115 sinais de vibração para o conjunto b, já que nenhum sinal foi considerado *outlier* nesse conjunto.

Os parâmetros de vibração que melhor caracterizaram o problema em análise foram verificados através do Teste *t*. Após análises dos parâmetros mais relevantes, realizou-se uma varredura, para determinar quantos parâmetros seriam utilizados como dados de entrada nos classificadores. A varredura foi realizada testando combinações entre os 71 parâmetros definidos, e utilizando aquela que obteve maior taxa de acerto na classificação da ferramenta quanto ao desgaste. Os parâmetros utilizados, por sua vez, foram os que obtiveram maior *t-ratio*. Para o conjunto a utilizou-se três parâmetros, sendo: energia do sinal filtrado na banda de frequência de 500 a 3000 Hz, energia do envelope do sinal filtrado na banda de frequência de 6000 a 8000 Hz e energia do envelope do sinal com filtro passa baixo em 7000 Hz. Para o conjunto b, dois parâmetros: nível de energia do sinal filtrado na banda de frequência de 500 a 3000 Hz e energia do envelope do sinal filtrado na banda de frequência de 500 a 3000 Hz.

Analisando a classificação da condição das ferramentas obteve-se taxa de acerto (acurácia) de 92% para o conjunto *a* e 87% para o conjunto *b*. Além do valor de acurácia, a matriz de confusão para ambos os testes é apresentada na Tabela 3 e 4, respectivamente.

Valores Reais	Normal	88,2 %	11,8 %
	Desgastada	0,0 %	100 %
		Normal	Desgastada
		Valor Predito	

Tabela 3. Matriz de Confusão - Conjunto *a*.

Fonte: Autor (2020).

Valores Reais	Normal	100 %	0,0 %
	Desgastada	17,6 %	82,4 %
		Normal	Desgastada
		Valor Predito	

Tabela 4. Matriz de Confusão - Conjunto *b*.

Fonte: Autor (2020).

Por se tratar de um classificador não supervisionado, trabalhando com dados desbalanceados, as taxas obtidas pela rede SOM, foram consideradas satisfatórias, principalmente para o Conjunto *a*. A menor taxa de acerto obtida para o Conjunto *b*, pode ser justificado pelas condições de testes adotadas ao conjunto *b* que resultaram na maior quantidade de dados próximos a zona de transição entre desgaste normal e crítico, dificultando a análise pelo classificador.

Analisando a Tabela 3, pode-se verificar que no Conjunto *a* todas as ferramentas consideradas em condição de desgaste foram classificadas corretamente. Por outro lado, algumas ferramentas consideradas normais foram classificadas como desgastadas, implicando em um erro de classificação. Analisando os sinais correspondente aos 11,8% de erro, notou-se que 10,2% são relacionados a ferramentas com valor de desgaste medido entre 0,27 mm e 0,32 mm, os quais estão muito próximo da zona de transição, e que pode até mesmo, estarem associados a desvio de medição do desgaste no microscópio e não a um erro do classificador. Portanto, avalia-se que a precisão do método se encontra satisfatória. Os demais sinais (1,6 % do erro) foram considerados realmente erro de classificação por não apresentarem justificativa plausível. O fato de o classificador acertar todas as amostras em condição de desgaste permite uma segurança na operação, evitando que ferramentas fora das condições ideais operem, e conseqüentemente identificando o momento ideal de troca. Evitando também maiores danos que podem ser causados pela quebra da ferramenta durante a operação.

Avaliando o Conjunto **b**, Tabela 4, nota-se que todas as ferramentas em condição normal foram classificadas corretamente, implicando erros apenas na classificação das ferramentas com desgaste crítico. Novamente, analisando os sinais correspondente aos 17,6% de erro, notou-se que 15,1% são ferramentas com valor de desgaste medido entre 0,28 mm e 0,31 mm, os quais estão muito próximo da zona de transição e também podem estarem associados a desvio de medição do desgaste no microscópio e não a um erro do classificador. Concluindo também, que a precisão do método se encontra satisfatória. Em relação aos demais sinais (2,5 % do erro) não foram encontrados justificativas plausíveis.

Ressalta-se que caso as condições de operação, material e/ou máquina sejam diferentes das condições em que o classificador foi treinado é necessário treiná-lo novamente para as condições atuais. Afirma-se também, que apesar da necessidade de treinar novamente o sistema, isso não implica em uma limitação do método e sim em uma condição inicial de funcionamento.

6 | CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma metodologia não supervisionada utilizando dados desbalanceados para classificar o desgaste da ferramenta. Tendo como objetivo principal determinar se a ferramenta apresenta condição normal ou desgastada, e consequentemente o momento ideal de troca.

Duas diferentes condições de usinagem foram utilizadas a fim de validar o método, e diversos sinais de vibração coletados para monitorar o processo. Os parâmetros que melhor identificam as diferenças para a condição normal e desgastada foram extraídos com base nos testes estatísticos. Na metodologia proposta, utilizou-se uma rede neural SOM para identificação da condição de desgaste da ferramenta.

Nota-se que o sinal de vibração é capaz de caracterizar o desgaste da ferramenta, sendo uma boa técnica de monitoramento, confirmando os estudos apresentados na literatura. Além disso, através dos resultados obtidos, pode-se concluir que é possível utilizar somente o sensor de vibração, ao invés da combinação de vários outros sensores, o que implicaria em um aumento de custo para implementações industriais em grande escala.

Para este estudo, as faixas de frequência entre 500 a 3000 Hz e 6000 a 8000 Hz estão intimamente relacionadas a mudanças na condição da ferramenta. O nível de energia do envelope e o nível de energia do sinal filtrado são parâmetros que também se correlacionam bem com o desgaste da ferramenta.

Por fim, com uma taxa de acerto de até 92 %, mostra-se que a metodologia proposta pode ser utilizada para identificar o momento ideal de troca da ferramenta. A metodologia opera como um sistema de classificação do desgaste da ferramenta durante o processo de torneamento sem ser necessário parar o mesmo. Além disso, por se tratar de um sistema

não supervisionado, trabalhando com dados desbalanceados e apenas sensor de vibração, possibilita sua implementação no âmbito industrial. Ressalta-se a importância de realizar o treinamento do sistema para as condições de operação atual do equipamento.

REFERÊNCIAS

Burnap, P., French, R., Turner, F., & Jones, K. (2018). **Malware classification using self organising feature maps and machine activity data.** *Computers & Security*, 73, 399–410.

Cai, Q., He, H., & Man, H. (2014). **Imbalanced evolving self-organizing learning.** *Neurocomputing*, 133, 258–270.

Grubbs, F. E. (1969). **Procedures for detecting outlying observations in samples.** *Technometrics*, 11(1), 1–21.

Hassana, M., Damirb, A., Attiaa, H., & Thomsona, V. (2018). **Benchmarking of pattern recognition techniques for online tool wear detection.** *Procedia CIRP*, 72, 1451–1456.

Kannatey-Asibu, E., Yum, J., & Kim, T. H. (2017). **Monitoring tool wear using classifier fusion.** *Mechanical Systems and Signal Processing*, 85, 651–661.

Kohonen, T. (1995). *Self-organizing maps* (2nd ed.). Berlin: Springer

Jain, D. K., Dubey, S. B., Choubey, R. K., Sinhal, A., Arjaria, S. K., Jain, A., et al. (2018). **An approach for hyperspectral image classification by optimizing SVM using self organizing map.** *Journal of Computational Science*, 25, 252–259

Lia, Z., Fang, H., Huang, M., Wei, Y., & Zhang, L. (2018). **Data-driven bearing fault identification using improved hidden Markov model and self-organizing map.** *Computers and Industrial Engineering*, 116, 37–46.

Liu, C., Li, Y., Hua, J., Lu, N., & Mou, W. (2018a). **Real-time cutting tool state recognition approach based on machining features in NC machining process of complex structural parts.** *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97, 229–241.

Liu, M., Takagi, J., & Tsukuda, A. (2004). **Effect of tool nose radius and tool wear on residual stress distribution in hard turning of bearing steel.** *Journal of Materials Processing Technology*, 150(3), 234–241.

Liu, Y., Wang, X., & Yan, K. (2018b). **Hand gesture recognition based on concentric circular scan lines and weighted K-nearest neighbor algorithm.** *Multimedia Tools and Applications*, 77, 209–223.

Lokesh, S., Kumar, P. M., Devi, M. R., Parthasarathy, P., & Gokulnath, C. (2019). **An automatic tamil speech recognition system by using bidirectional recurrent neural network with self-organizing map.** *Neural Computing and Applications*, 31, 1521–1531.

Lu, M., & Wan, B. (2013). **Study of high-frequency sound signals for tool wear monitoring in micromilling.** *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66, 1785–1792.

- Mikaeil, R., Haghshenas, S. S., & Hoseinie, S. H. (2018). **Rock penetrability classification using artificial bee colony (ABC) algorithm and self-organizing map.** *Geotechnical and Geological Engineering*, 36, 1309–1318.
- Mikołajczyk, T., Nowicki, K., Bustillo, A., & Yu Pimenov, D. (2018). **Predicting tool life in turning operations using neural networks and image processing.** *Mechanical Systems and Signal Processing*, 104, 503–513.
- Mutheneni, S. R., Mopuri, R., Naish, S., Gunti, D., & Upadhyayula, S. M. (2018). **Spatial distribution and cluster analysis of dengue using self organizing maps** in Andhra Pradesh, India, 2011–2013. *Parasite Epidemiology and Control*, 3, 52–61.
- Nouri, M., Fussell, B. K., Ziniti, B. L., & Linder, E. (2015). **Real- time tool wear monitoring in milling using a cutting condition independent method.** *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 89, 1–13.
- Prasad, B. S., & Babu, M. P. (2017). **Correlation between vibration amplitude and tool wear in turning: Numerical and experimental analysis.** *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 197–211.
- Rmili, W., Ouahabi, A., Serra, R., & Leroy, R. (2016). **An automatic system based on vibratory analysis for cutting tool wear monitoring.** *Measurement*, 77, 117–123.
- Rizal, M., Ghani, J. A., Nuawi, M. Z., & Haron, C. H. C. (2017). **Cutting tool wear classification and detection using multi-sensor signals and Mahalanobis-Taguchi system.** *Wear*, 376–377, 1759–1765.
- Sevilla, P., Robles, J., Jauregui, J., & Jimenez, D. (2015a). **FPGA-based reconfigurable system for tool condition monitoring in high-speed machining process.** *Measurement*, 64, 81–88.
- Sevilla, P., Robles, J., Muñoz, J., & Lee, F. (2015b). **Tool failure detection method for high-speed milling using vibration signal and reconfigurable bandpass digital filtering.** *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81, 1187–1194.
- Siddhpura, A., & Paurobally, R. (2013). **A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process.** *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65, 371–393.
- Silva, R. H. L., Silva, M. B., & Hassui, A. (2016). **A probabilistic neural network applied in monitoring tool wear in the end milling operation via acoustic emission and cutting power signals.** *Machining Science and Technology*, 20(3), 386–405.
- Trent, E. M., & Wright, P. K. (2000). ***Metal cutting*** (4th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Xie, Z., Li, J., & Lu, Y. (2019). **Feature selection and a method to improve the performance of tool condition monitoring.** *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100, 3197–3206.
- Wang, C., Caja, J., & Gómez, E. (2018). **Comparison of methods for outlier identification in surface characterization.** *Measurement*, 117, 312–325.

Yen, C. L., Lu, M. C., & Chen, J. L. (2013). **Applying the self- organization feature map (SOM) algorithm to AE-based tool wear monitoring in micro-cutting.** *Mechanical Systems and Signal Processing*, 34, 353–366.

Zhou, Y., & Xue, W. (2018). **Review of tool condition monitoring methods in milling processes.** *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96, 2509–2523.

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

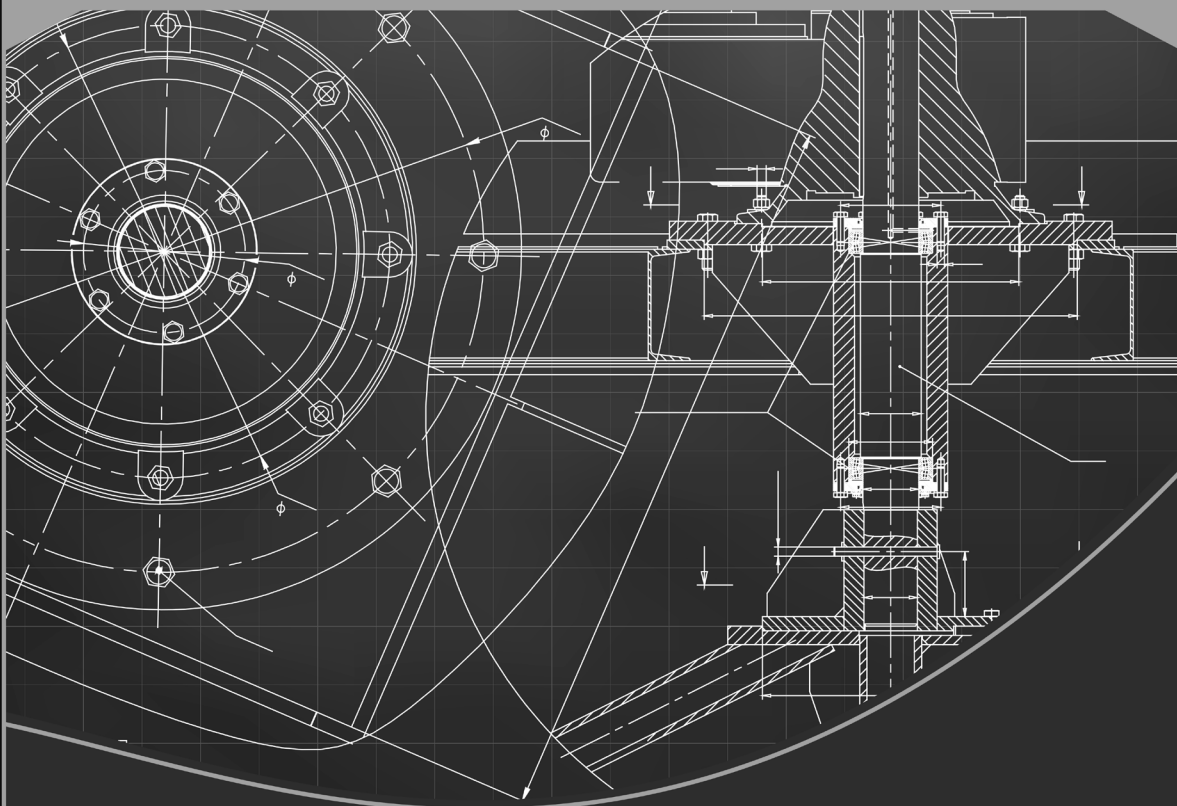
2

🌐 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

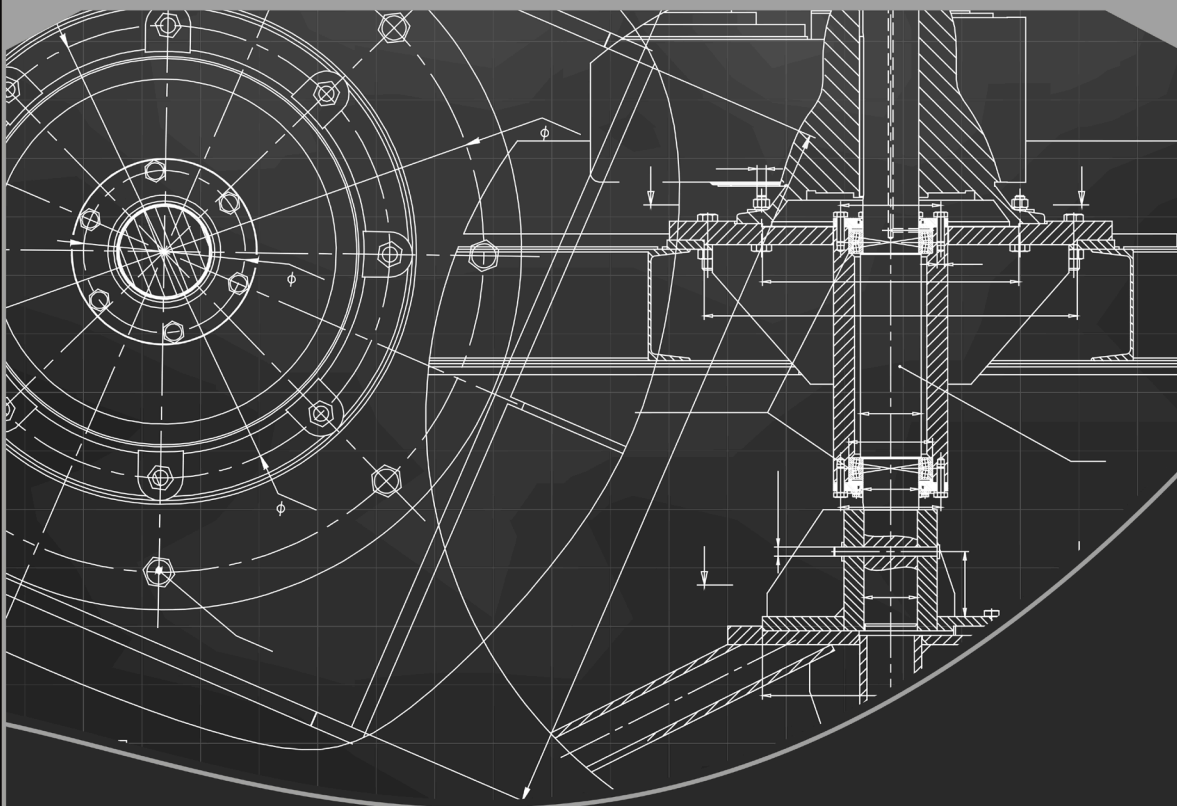
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

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

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



Atena
Editora

Ano 2021