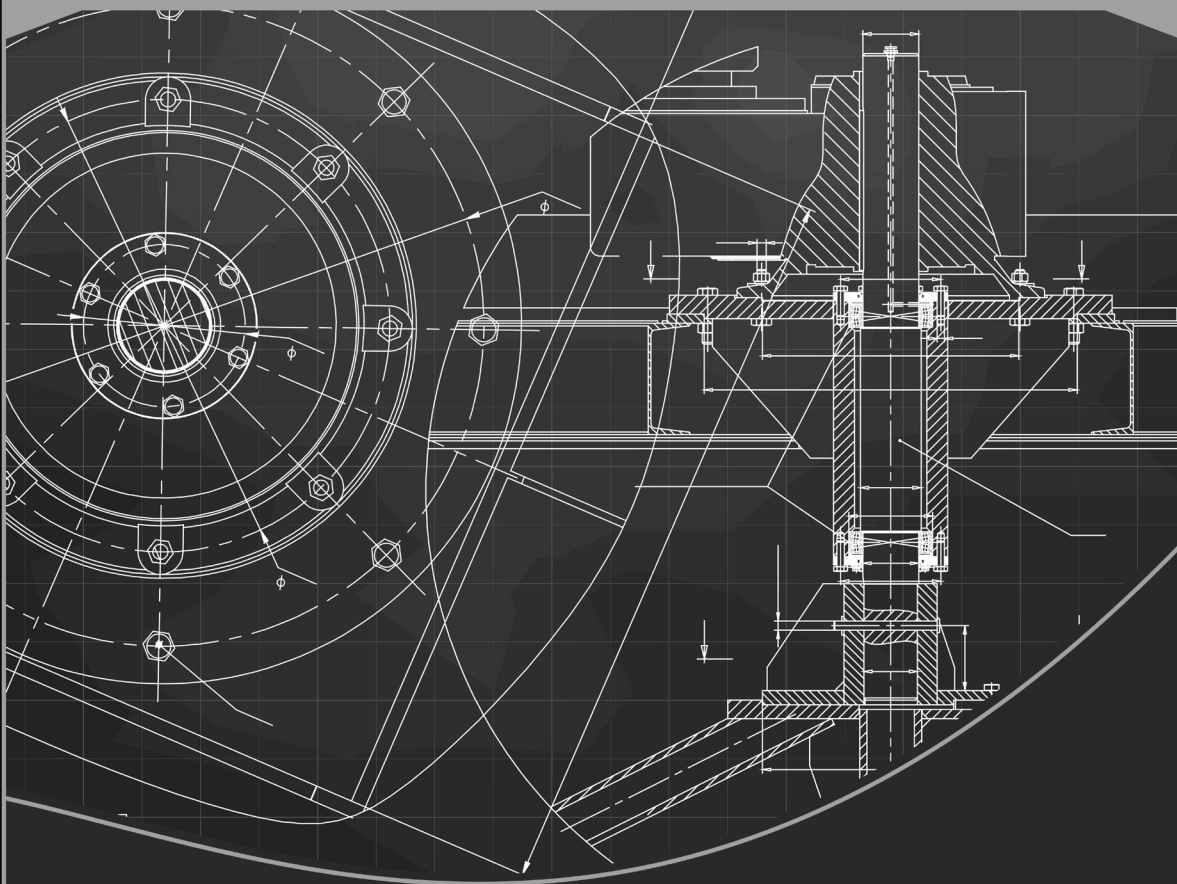


Engenharia mecânica:

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

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

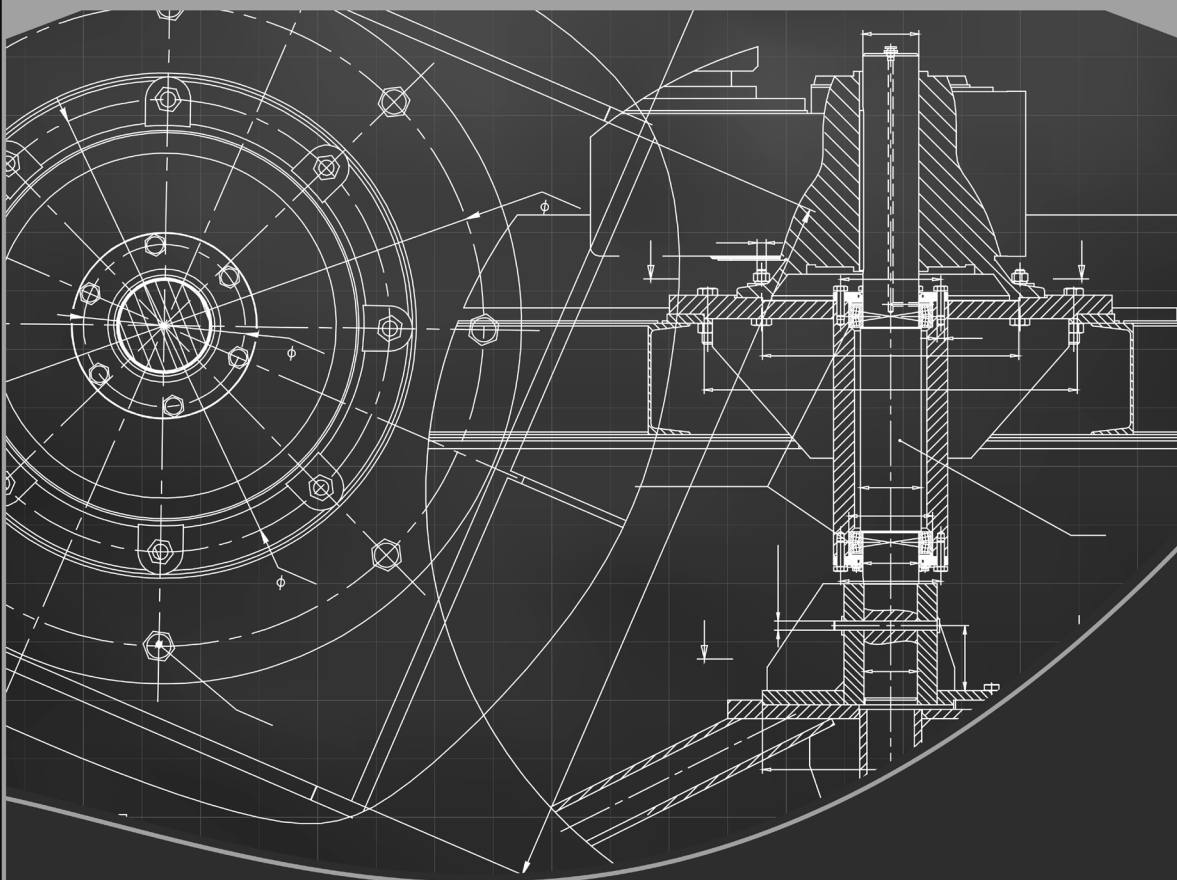
Ano 2021

Engenharia mecânica:

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

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

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

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

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

SINTONIA DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA COM REDES NEURAIS

Data de aceite: 01/06/2021

Tiago Luís Andrade Pereira

Faculdade SATC// Departamento de
Automação Industrial
<http://lattes.cnpq.br/9724159965294521>

Anderson Daleffe

Faculdade SATC/ Departamento de Eng.
Mecatrônica
<http://lattes.cnpq.br/7569701338186684>

RESUMO: O método de sintonia de controladores de temperatura é um processo árduo, que se remete à procura do sinal ideal no menor espaço de tempo, para que a máquina tenha economia de energia e performance adequada. Porém, com a mudança de região, estado ou país do qual a mesma foi projetada, pode gerar uma perda de rendimento ou instabilidade no processo. Com isso, surge a necessidade de que as empresas façam um retrabalho para uma nova sintonia do controlador. Esse trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação de uma rede neural para promover alterações dos valores do ganho proporcional e integral, sendo que esses valores são parâmetros internos de um controlador implementado em um Raspberry Pi, permitindo que a rede neural atue independente, das variações de temperatura ou ação do clima. Os testes foram realizados com um protótipo de secador em faixas de temperatura de 0 a 40 °C se mostrando eficaz, trazendo a curva de sinal ideal para o sistema. O trabalho em questão contribuiu

para uma melhora na eficiência de controladores de temperatura, visto que é reduzido o retrabalho de parametrização e tão logo, produzindo uma performance para o protótipo, constatando-se que as diferenças climáticas fazem toda diferença no processo de controle, seja ele em temperaturas baixas ou altas. Assim como no aperfeiçoamento da inteligência artificial, onde o compartilhamento de informação traga novas ideias para o controle de processos ajudando a economia energética para um mundo sustentável.

PALAVRAS-CHAVES: Inteligência Artificial, Redes Neurais, Keras, Controle, PID.

ABSTRACT: The method of tuning temperature controllers is an arduous process, which refers to the search for the ideal signal in the shortest time so that the machine has energy savings and adequate performance. However, with the change of region, state, or country from which it was projected, it can generate a loss of energy or instability in the process. With this, there is a need for companies to rework for a new tuning of the controller. This work aims to demonstrate the application of a neural network to promote changes in the proportional and integral gain values, and these values are internal parameters of a controller implemented in a Raspberry Pi, allowing the neural network to act independently, from variations of temperature or climate action. The tests were carried out with a dryer prototype in temperature ranges from 0 to 40 °C, proving to be effective, bringing the ideal signal curve to the system. The work in question contributed to an improvement in the efficiency of temperature controllers, since the parameterization rework is

reduced and, as soon as, producing a performance for the prototype, verifying that the climatic differences make all the difference in the control process, either it at low or high temperatures. As well as in the improvement of artificial intelligence, where the sharing of information brings new ideas for the control of processes helping the energy saving for a sustainable world.

KEYWORDS: Artificial Intelligence, Neural Networks, Keras, Control, PID.

1 | INTRODUÇÃO

O controle de processo acompanha as atualizações de tecnologia, tornando a fábrica física em um sistema virtual, em que são realizados testes antes da produção do produto. Protótipos são criados para simular eventos, gerar resultados, reduzir erros e aperfeiçoar o profissional.

Neste trabalho foi utilizado um protótipo de secador de grãos aquecido por meio de resistência elétrica, a fim de simular as condições de trabalho e, através de sensores, gerar uma atualização dos parâmetros internos de controle (PI), originando-se de um sistema de topologia, e baseando em redes neurais ou ANN'S (*Artificial Neural Networks*) implementando-se, um controlador PI que utiliza redes neurais para a parametrização.

A análise de controle de temperatura de uma planta industrial, por exemplo, tem função de manter uma linearidade do sistema, variando a potência da resistência elétrica que aquece o túnel de ar para que se mantenha um aquecimento constante. Através dessa temperatura pré-estabelecida como desejável (*Setpoint*), esse degrau que se almeja atingir, deve-se ajustar aos parâmetros de controle para que o sistema se torne estável. Contudo, esses valores do PID (*Proportional Integral Derivative*), será ajustado conforme o processo em que a máquina é projetada, mas os valores desses parâmetros em uma forma “modelo ideal” é abstrato, tornando a tentativa e erro, uma demonstração da melhor saída para um ajuste fino na engenharia e no reconhecimento do processo (LJUNG, 2001).

Como justificativa desse controlador, é usado como exemplo, o armazenamento de grãos em silos, em que a temperatura costuma oscilar de acordo com as condições e períodos do dia. Nesse intervalo, a máquina poderá sofrer interferências, para tanto é necessário o devido reajuste no valor do PI, mantendo assim o processo estável e garantindo a qualidade do produto armazenado.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Redes neurais

Em se tratando de redes neurais, de acordo com Haykin (2004), o cérebro humano processa informações altamente complexas, havendo a possibilidade de armazenamento de dados em neurônios para tomar decisões e percepções mais rápidas que um computador. Nesse sentido, a rede neural vem de um modelo de aprendizado do ser humano, resultante

do processo de tentativa e erro ou pelas conexões conhecidas como pesos sinápticos. Esses pesos são atualizados para manter o conhecimento adquirido, sendo que também podem sofrer mutações, modificando assim a sua topologia, tão logo, formando um novo algoritmo de aprendizado.

A parte da unidade de processamento consiste em um diagrama de blocos de um neurônio conforme a Fig. 1. Nesse conjunto existem três elementos fundamentais (HAYKIN, 2004), tais como: sinapses/pesos aleatórios gerados pelo neurônio na entrada; somador/ combinador linear para equilibrar as funções; e função de ativação/ para o sinal de saída não tender ao infinito.

- Sinapses/pesos aleatórios gerados pelo neurônio na entrada;
- Somador/combinador linear para equilibrar as funções;
- Função de ativação/ para o sinal de saída não tender ao infinito.

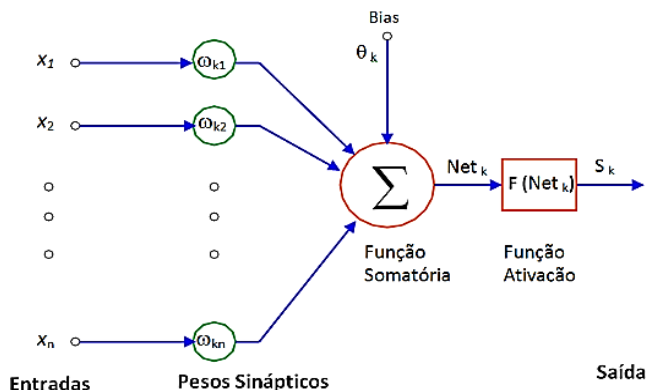


Figura 1 - Modelo de um neurônio Perceptron.

Fonte: Adaptado de Haykin (2004, p.36)

Sobre o processo de controle de temperatura, em alguns modelos de plantas industriais são inerentemente complexos, não-lineares e incertos. Essas mudanças de padrões a serem seguidos, não podem passar dos limites já pré-estabelecidos do processo de um sistema adaptativo. Conforme foi treinado, a rede neural apresentada manda os melhores parâmetros para o controlador, independentemente que a saída esteja no padrão ideal. E, ambos os controladores, adaptativos ou supervisionados, realizam testes para constatar se a função que foi utilizada está no padrão a ser alcançado (AZEVEDO; BRASIL; OLIVEIRA, 2000).

Referente a rede neural do Keras, de acordo com Ribeiro e Guimarães (2016), podemos definir Keras como uma biblioteca para rede neural de alto nível na linguagem

python, e que pode ser utilizada em CPU quanto em GPU. Essa aplicação funciona como coletor de dados de entrada em Tensorflow. O usuário pode variar o tipo de rede neural por outro exemplo de rede dentro da mesma biblioteca. A funcionalidade dessa biblioteca é a velocidade de processamento em matrizes predefinidas em *numpy*, quanto a definição do caminho a ser escolhido pela rede neural convulucional e redes recorrentes. Com esse otimizador interno de amostragem, o Keras determina seus parâmetros de saída em uma biblioteca própria em microssegundos, dependendo da matriz em exemplo.

Para gerar linearidade em sistema de controle, conforme dispõe Souza *et al.* (2014), ocorrem através de verificações da medida de saída do sistema. Essas medições fazem a troca de dados com a entrada e, desta forma, faz a atualização corrigindo o valor de atuação do sistema, tornando o processo um ciclo contínuo.

2.2 Método de controle de Ziegler Nichols

De acordo com Garcia (2018), o procedimento utilizado entre variados autores, e que serve de base para novos métodos de sintonia de P, PI e PID, é o método de Ziegler Nichols. Essa função matemática foi desenvolvida por JG Ziegler e NB Nichols em 1942, mas continua a ser um importante método de parametrização.

Segundo Bolton (1995), entre os variados tipos de sintonia que podem ser empregados para ajustar os ganhos do controlador, cada método utiliza-se de um modelo de parâmetros que são retirados do sistema. Com o método Ziegler Nichols se extrai as variáveis da Fig. 2 para sintonizar o controlador onde:

P = Sinal de teste % (degrau)

L = Tempo morto

T = Ponto de inflexão da curva

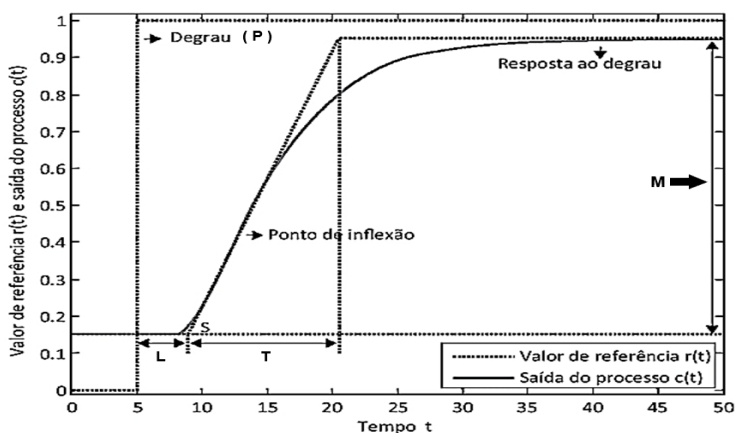


Figura 2 - Parâmetros de sintonia para o método da Curva de Reação do Processo.

Fonte: Adaptado de Garcia (2018, p.422).

Conforme Bolton (1995), utiliza - se a Eq. 1 onde intercepta o gradiente máximo, se retirar R e todas as variáveis se aplica a Tab.1 dependendo modelo de controlador P, PI e PID para realizar o ajuste fino do sistema.

$$R = \frac{M}{T} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

R = Gradiente máximo.

M = Sinal medido %

T = Tempo do gradiente máximo.

MODO DE CONTROLE	Kp	Ki	Kd
Proporcional	P/RL	0	0
Proporcional + Integrativo	0,9P/RL	1/3,33L	0
Proporcional + Integrativo + Derivativo	1,2P/RL	1/2L	0,5L

Tabela 1: Função de Ziegler Nichols, para controladores.

Fonte: Bolton (1995, p.360)

Onde:

Kp = Ganho proporcional

Ki = Ganho integral

Kp = Ganho derivativo

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para comprovação de um modelo de sintonizador que utiliza redes neurais, foi realizado um protótipo de secador apresentado na Fig. 3, para simular o evento do sistema de uma planta industrial.



Figura 3 - Protótipo de um secador.

Fonte: Do autor (2019)

Utilizou-se de um Raspberry Pi3 apresentado na Fig. 4, que desempenhou a função de controlador do sistema em questão. Outro componente utilizado foi o sensor de temperatura (DS18B20) que desempenhou a função de realimentação da planta. O atuador do processo que realizou o chaveamento de potência elétrica, foi um relé de estado sólido com *zero-cross*, variando a potência da resistência interna do secador.

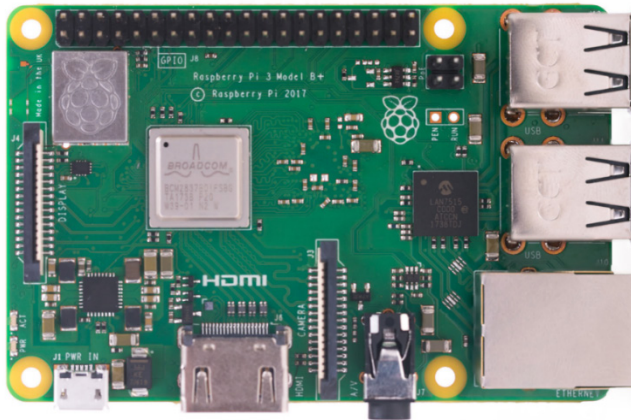


Figura 4: Raspberry Pi 3B+.

Fonte: Monk (2016).

3.1 Análise de controle

Com a análise e aplicação do método de Ziegler Nichols, foram retirados três modelos de gráficos, com variações de temperaturas externas entre 0 e 40°C. Para os primeiros testes realizados, foi condicionado dentro de uma câmara frigorífica com temperatura ajustada para 1 °C, por um controlador externo para que esse evento simulasse um dia de

temperatura baixa. Os demais testes realizados foram em seqüências, sendo: uma de 25 °C para temperaturas médias, e 40 °C para temperaturas altas. O teste realizado visa retirar os sobressinais e subssinais, que traga maior eficiência em um menor espaço de tempo.

3.1.1 Temperaturas baixas, médias e altas

Foram realizados dez testes para se obter a média da curva de temperatura do protótipo. A mesma quantidade foi aplicada para as três temperaturas.

O sinal de teste (degrau) foi de 60% da potência do sistema, com uma temperatura inicial de 1,56 °C. No decorrer do tempo de 1.200 segundos foi retirado o gráfico apresentado na Fig. 5, com uma temperatura final de 43,56 °C com o sistema já estabilizado. A frequência utilizada foi de 6,25Hz. O resultado foi de um período total de 160ms, onde 96ms foi atuado no sistema, e durante 64ms o mesmo permaneceu desligado. Durante o período em que o controlador ficou acionado, totalizou 6 ciclos completos da senoide.

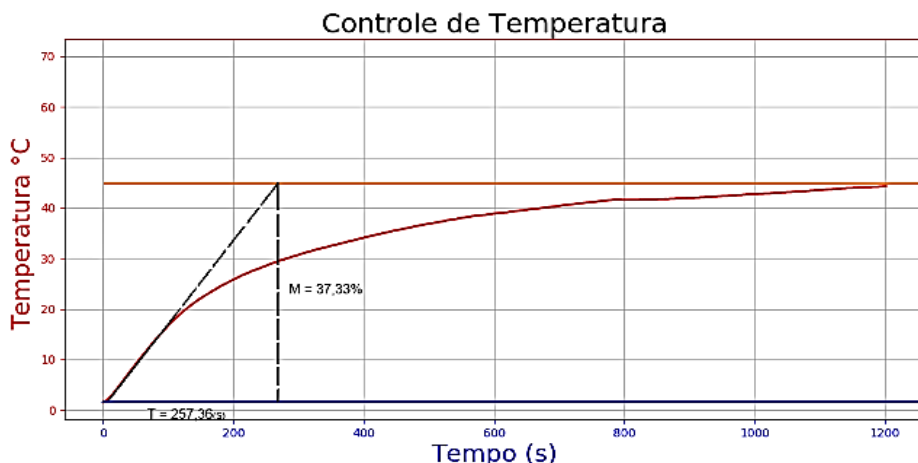


Figura 5 - Rampa de Aquecimento de 1,56 a 43,56 °C.

Fonte: Do autor (2019)

$$Kp = \frac{0,9 \cdot 60}{\frac{37,33}{257,36} \cdot 13} = 28,63 \quad Ki = \frac{1}{3,33 \cdot 13} = 0,023 \quad (1)$$

No teste para temperatura média de 25 °C, o sinal de teste (degrau) também foi de 60% da potência do sistema, com uma temperatura inicial de 25,86 °C. No decorrer do tempo de 1200 segundos, foi obtido o gráfico apresentado na Fig. 6 com uma temperatura final de 69,32 °C e com o sistema já estabilizado

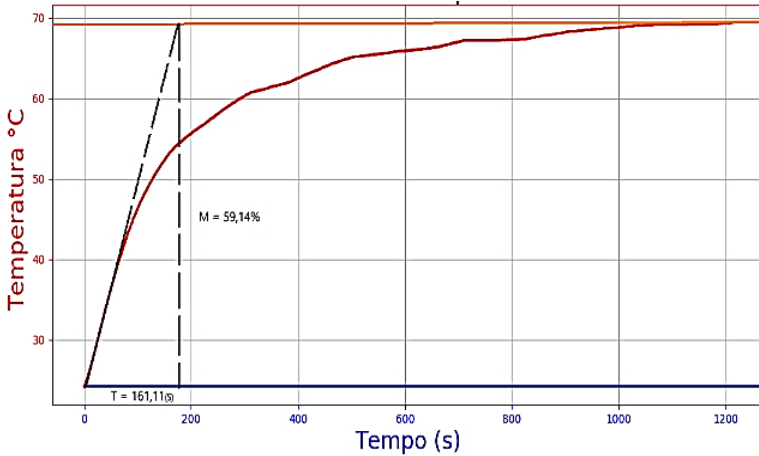


Figura 6 - Rampa de Aquecimento de 25,86 a 69,32 °C.

Fonte: Do autor (2019)

$$Kp = \frac{0,9 \cdot 60}{\frac{59,14}{161,11} \cdot 7} = 21,01 \quad Ki = \frac{1}{3,33 \cdot 7} = 0,043 \quad (2)$$

O teste realizado em temperaturas altas, de 40 °C, novamente foi feita a média dos teste realizados, no qual o sinal de teste (degrau) também foi de 60% da potência do sistema com uma temperatura inicial de 40,1 °C. No decorrer do tempo de 1200 segundos foi obtido o gráfico da Fig.7 com uma temperatura final de 74,27 °C e com o sistema já estabilizado, para poder aplicar o método em questão.

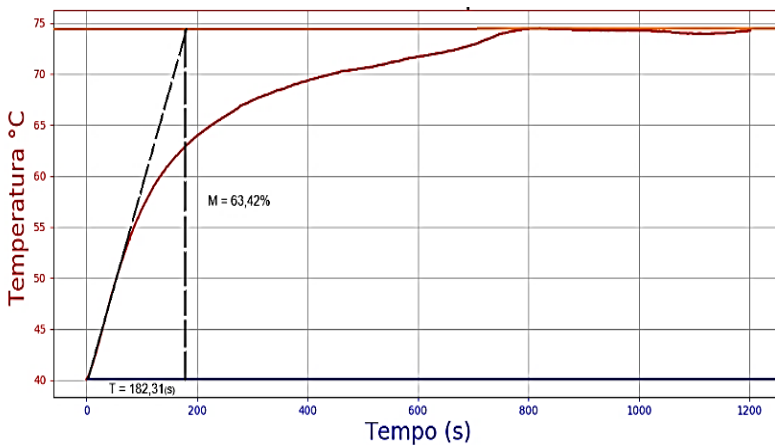


Figura 7 - Rampa de Aquecimento de 40,1 a 74,27 °C.

Fonte: Do autor (2019)

$$Kp = \frac{0,9 \cdot 60}{\frac{63,42}{182,31} \cdot 5} = 31,04$$

$$Ki = \frac{1}{3,33 \cdot 5} = 0,06 \quad (3)$$

3.2 Matrizes de aprendizado

Para o aprendizado da rede neural, foram desenvolvidas matrizes com os valores obtidos anteriormente modificando as variações dos ganhos de Kp e Ki. As matrizes da Fig.8 formam o modelo ideal da rede neural para variadas faixas de temperatura.

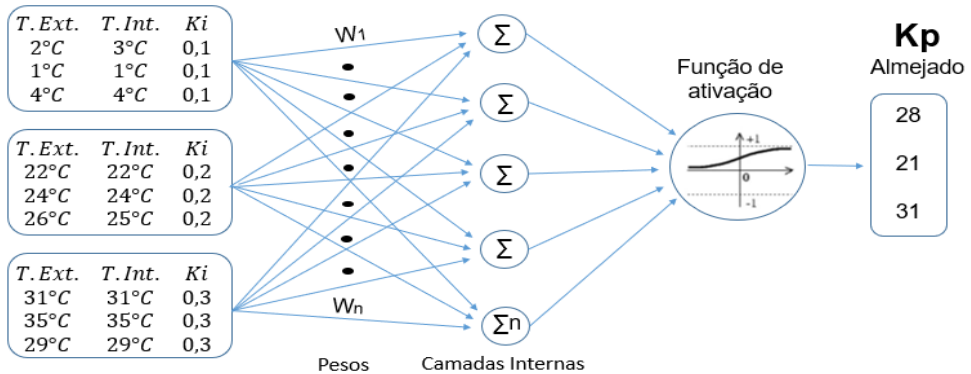


Figura 8 - Modelo de Rede neural.

Fonte: Do Autor (2019).

3.3 Fluxograma do controlador e programação

Para melhor entendimento do modelo de controlador com redes neurais, foi apresentado um fluxograma conforme Fig. 9. Na figura mostra cada parte do modelo ideal para execução do método, tanto quanto do controlador PI quanto da rede neural.

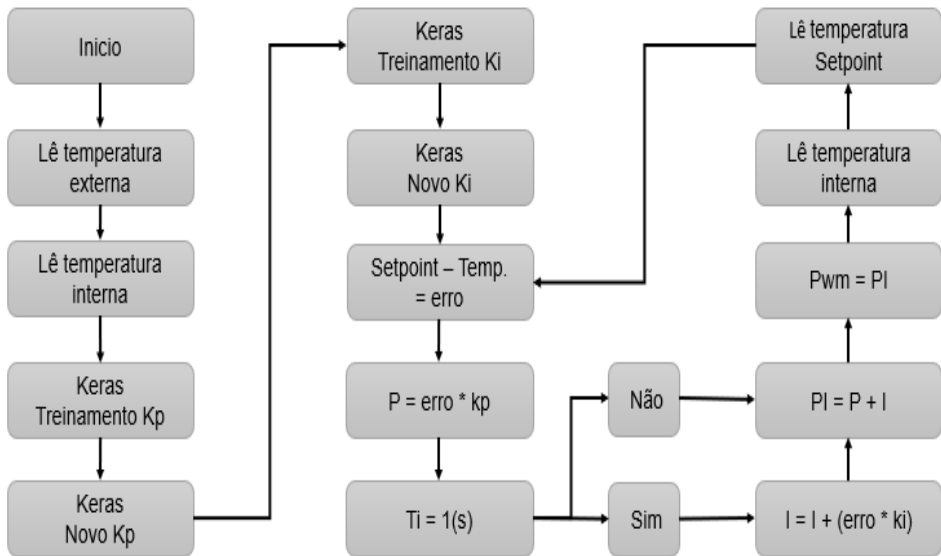


Figura 9: Fluxograma do controlador.

Fonte: Do Autor (2019).

Para retirada de dados do controlador é necessária a importação de algumas bibliotecas apresentado na Fig. 10. Essas bibliotecas são necessárias para a utilização em gráficos, Tensorflow, Keras, temporizadores, registradores do sensor, tela, entre outros, com finalidade de gerar a interface entre o usuário e o controlador.

```

#Tela
import tkinter as tk
import time
import RPi.GPIO as gpio
import threading
#Grafico
import matplotlib.pyplot as plt
#Sensor
import os
import glob
#Tensorflow/Keras
import tensorflow
import keras
import numpy as np
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, Dropout
from keras.callbacks import History
  
```

Figura 10: Importação de Bibliotecas.

Fonte: Do autor (2019)

3.3.1 Modelo de rede neural

A programação de uma rede neural necessita de várias linhas de código em linguagens de baixo nível (C, Java, C++, Assembly), porém em *python* em poucas linhas é possível produzir o modelo desejado, podendo treinar a rede com até quinhentas épocas em trinta segundos ou menos, a depender do dado de entrada.

A linha de programação utilizada é um dos modelos mais otimizados para obter velocidade de processamento. Na matriz de entrada são inseridos os dados como temperatura externa, temperatura interna e o ganho integral. Na matriz resultante são inseridos os possíveis resultados para o ganho proporcional, sendo que quanto maior for o conjunto de matrizes maior será a precisão do aprendizado da rede neural. A Fig. 11 mostra as entradas e saídas da rede neural.

```
x = np.array([[KI1,EXT1,INT1],[KI2,EXT2, INT2],[KI3, EXT3, INT3],#MATRIZ DE ENTRADA
              [KI4, EXT4, INT4], [KI5, EXT5, INT5]])
y = np.array([[KP1], [KP2], [KP3], [KP4], [KP5]])#MATRIZ RESULTANTE
```

Figura 11 - Rede Neural.

Fonte: Do autor (2019).

3.3.2 Dados da rede

Importando um modelo de biblioteca sequencial do *keras*, representado na Fig. 20, deve-se sobrepor as camadas da rede densamente conectadas com as camadas internas conforme a Fig. 12. Nessa rede foi utilizada três entradas com nove neurônios internos e apenas uma saída criando características de um neurônio *perceptron*. Através da função de compilação é dado alguns parâmetros como otimizadores “*sdg*”, *Stochastic gradient descent*, para reajuste dos pesos sinápticos. É necessário também uma função para calcular o erro da rede neural que é denominada “*mse*”, *mean squared error*, o quanto a rede se perdeu em relação a época anterior. E o método “*acc*”, *accuracy*, necessário para calcular a precisão da rede neural.

```
model = Sequential()
model.add(Dense(9, input_dim=3))
model.add(Dense(1))
model.compile(optimizer='sgd', loss='mse', metrics=['acc'])
```

Figura 12 - Criação da rede.

Fonte: Do autor (2019).

3.3.3 Treinamento da rede

Para treinar a rede conforme a Fig. 13 é passada as matrizes através de um número de épocas predefinidas nesse trabalho foi utilizado quinhentas épocas, com a rede neural já treinada deve ser inseridos os dados de temperatura do ambiente externo, temperatura interna e o ganho integral. Esses valores são transformados em uma matriz e essa matriz resultante é inserida no modelo de rede que já foi treinado, logo resultando em um novo valor para Kp. Após todo esse processo que levou aproximadamente trinta segundos. Em seguida a essa etapa é gerado uma nova rede para retirar o valor de Ki.

```
model.fit(x, y, callbacks=[history], epochs=epoca)
w =(sensor_interno/100)
v =(sensor_externo/100)
z =ki
lista = float(w), float(v), float(z)
th = np.asmatrix(lista)
result = model.predict(th)
losss = history.history ['loss']
kp = result*100
kp= kp[0][0]
```

Figura 13 - Treinamento da rede.

Fonte: Do autor (2019).

3.4 Análise dos valores para PID que foram realizados nas temperaturas baixas, médias e altas

Foram realizados os testes no controlador, e quanto ao resultado em faixas de temperaturas baixas conforme apresentado na Fig. 14, com a temperatura inicial de 2,25 °C, a rede neural conseguiu gerar uma resposta para Kp e Ki. Tornando o sistema estável e sua curva característica sem sobressinal ou subssinal, mostrando o comportamento ideal para esse tipo de temperatura. Em 1400 s, o controlador utilizou 100% do atuador para alcançar o setpoint.

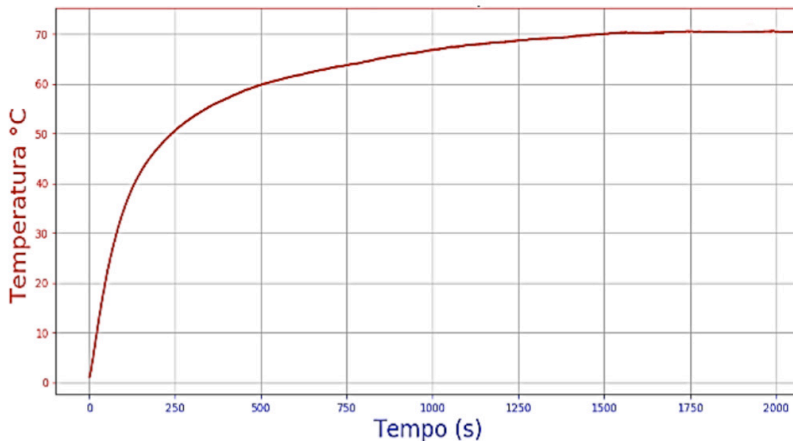


Figura 14 - Resposta do processo com Keras.

Fonte: Do autor (2019)

Quanto ao resultado em faixas de temperaturas médias, conforme analisado na Fig.15, a rede neural teve um erro de 0,0051% na temperatura externa de 26,44 °C. O modelo soube identificar a diferença de temperatura para fazer o reajuste do valor de $K_p = 21,63$.

```

Epoch 499/500
19/19 [=====] - 0s 756us/step - loss: 0.0051
Epoch 500/500
19/19 [=====] - 0s 574us/step - loss: 0.0051

Using TensorFlow backend.
TEMPERATURA DA FABRICA: 26.44 °C
IA-KP 21.63

```

Figura 15 - Rede neural gerando K_p

Fonte: Do autor (2019)

Concluído o processo de aprendizado da rede K_p é novamente gerado outro modelo de rede neural conforme a Fig. 16, com novas matrizes para poder gerar um novo valor para K_i conforme os dados armazenados, onde o erro dessa rede foi de 0,00087%, sendo que o valor que a rede neural gerou de $K_i = 0,21$.

```
9/9 [=====] - 0s 703us/step - loss: 8.7380e-04  
0.21288517  
IA-KI 0.21
```

Figura 16 - Rede treinada gerando Ki

Fonte: Do autor (2019)

Conforme a Fig. 17, o processo para uma temperatura ambiente de 26,44 °C, se tornou estável com os valores gerados pela rede neural, sem sobressinal ou sub sinal, alcançando o Setpoint em 240 s, e depois se manteve estável. Nesse tempo, o controlador utilizou 62% do atuador.

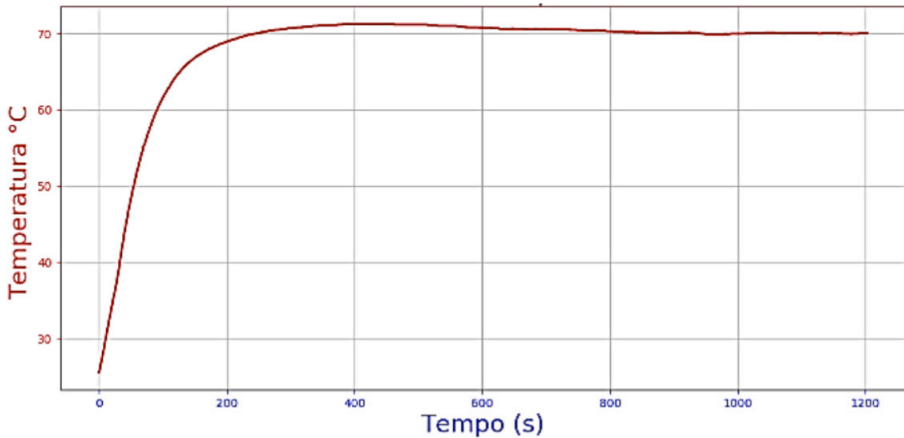


Figura 17 - Resposta do processo com temperatura de 26 °C

Fonte: Do autor (2019)

Referente ao resultado em faixas de temperaturas altas, de 39 °C, foram realizados novos valores para Kp e Ki. Nessas condições o controlador alcançou a faixa necessária para deixar o processo estável conforme a Fig. 18, idealizando que, independentemente da faixa de temperatura, os valores dos ganhos Kp e Ki foram trocados no controlador, mantendo o processo estável. Em 230 s, o controlador utilizou 53% do atuador para alcançar a temperatura almejada.

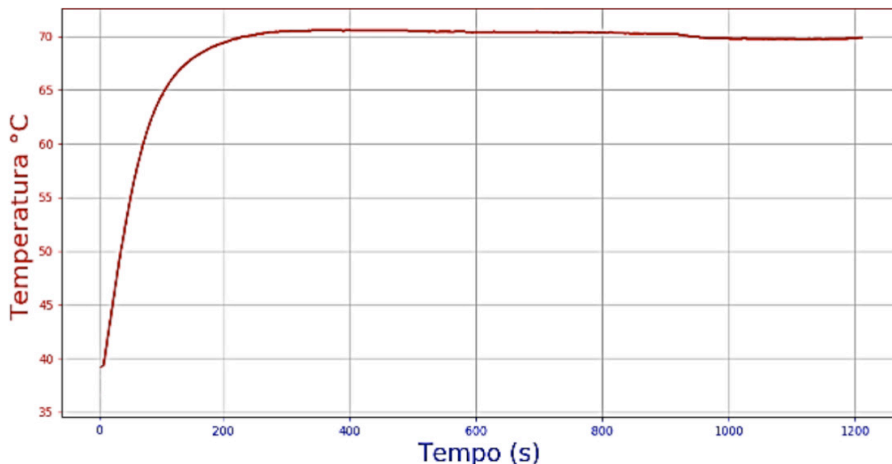


Figura 18 - Resposta do processo com temperatura de 39 °C

Fonte: Do autor (2019)

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi apresentado um método de sintonia de controladores de temperaturas através de redes neurais, para controle conforme as mudanças climáticas de cada região. Utilizou-se o método de Ziegler Nichols como princípio teórico.

Foram realizados testes para uma temperatura ambiente de 0°C no qual o processo se manteve estável, precisando de toda potência da resistência elétrica por mais de mil e quatrocentos segundos devido a carga térmica externa do secador, e em temperaturas médias de 24°C o controlador manteve uma potência de 60%. Também foram realizados com temperatura alta de 40°C, no qual o processo necessitou apenas de 50% de sua potência e seu tempo morto diminuiu mostrando que para cada temperatura externa existem ajustes específicos de parâmetros do controlador.

A principal vantagem desse modelo de controlador de temperatura, é de não precisar reprogramar o sistema quando é enviado para uma outra região com um clima diferente, ou até mesmo evitar um distúrbio no processo. Os avanços tecnológicos trazem um modelo único, no qual o usuário apenas adicionará a temperatura desejada e o controle fará todo o resto, não se preocupando com o clima ou perda de rendimento.

Dessa maneira foi apresentado uma rede neural de fácil aplicação e de processamento a uma velocidade de microssegundos, trazendo respostas rápidas para um controlador. Os avanços tecnológicos vêm trazendo a teoria de controle para uma modelo único. Onde o usuário apenas adicionará a temperatura desejada e o controle fará todo o resto não se preocupando com o clima ou perda de rendimento.

Para dar continuidade ao projeto propõe-se a implementação de uma realimentação da rede em outros secadores, resfriadores, aquecedores e fornos industriais para o aperfeiçoamento da inteligência artificial, onde o compartilhamento de informação traga novas ideias para o controle de processos ajudando a economia energética para um mundo sustentável.

Foi disponibilizado ainda o Código aberto para que outras pessoas possam utilizar e melhorar o controlador no site: <https://github.com/tiagoguarapari/Controlador-de-temperatura>.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Fernando Mendes de.; BRASIL, Lourdes Mattos.; OLIVEIRA, Roberto Célio Limão de. **Redes neurais com aplicações em controle e em sistemas especialistas**. Florianópolis: Visual Books, 2000. 401p. ISBN 8575020056

BOLTON, Willian. **Engenharia de controle**. London: Makron Books do Brasil, 1995. 497 p. Tradução de: Valceres Vieira Rocha e Silva.

GARCIA, Cláudio. **Controle de processos industriais: estratégias convencionais**. São Paulo: Blucher, 2018. 600 p.

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais: Princípios e Práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 900 p. Tradução de: Paulo Martins Engel.

LJUNG, L. "Black-box models from input-output measurements", **Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conf.**, Budapest, pp. 138- 146.2) 2001.

MONK, Simon. **Raspberry Pi cookbook**. 2. ed. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2016. xiv, 493 p. ISBN 9781491939109.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 809 p. Tradução Heloisa Coimbra de Souza. Disponível em: <https://bv4.digitalpages.com.br/?from=listas-de-leitura#/legacy/2376> . Acesso em: 17 mar. 2019.

RIBEIRO, Maxwell ; GUIMARÃES, Samuel. 2016. **Redes Neurais utilizando tensorflow e keras**. disponível em: <http://revistas.unifenas.br/index.php/RE3C/article/view/231/163>.

SOUZA, Antônio Carlos Zambroni de et al. **Projetos, simulações e experiências em laboratório em sistemas de controle**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 254 p.

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

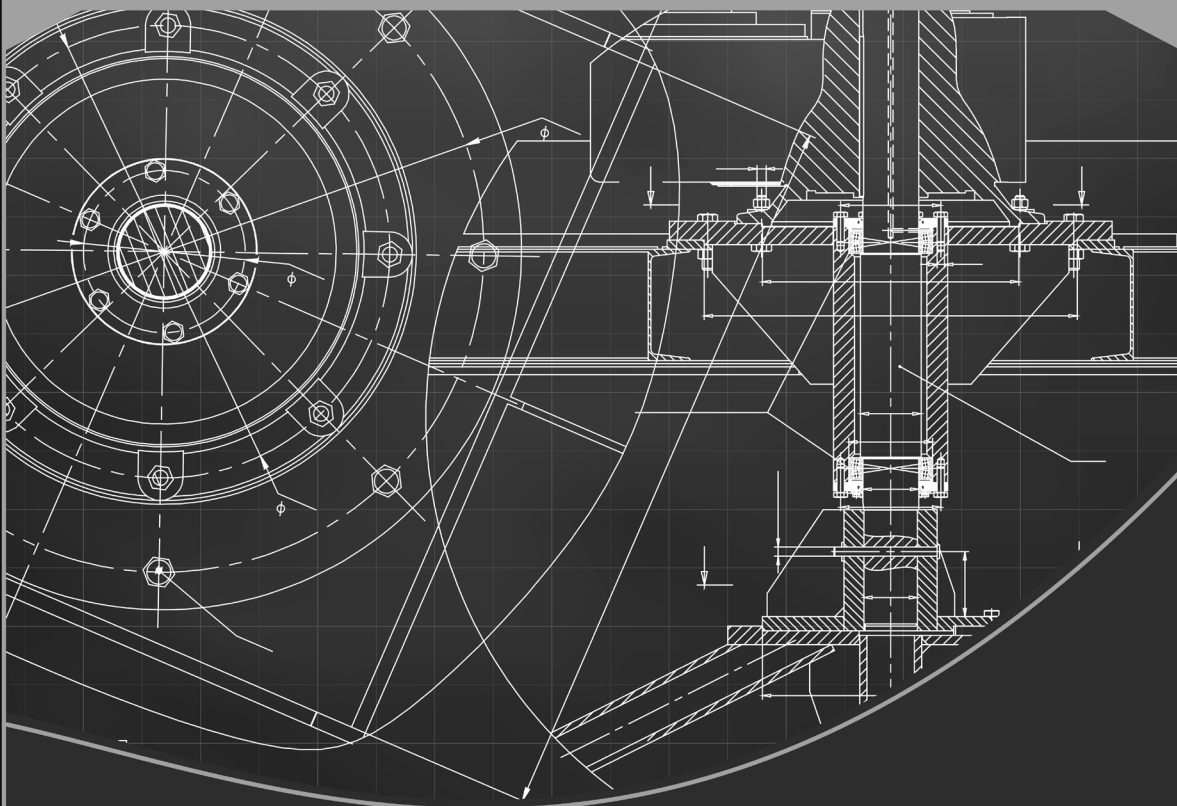
2

🌐 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

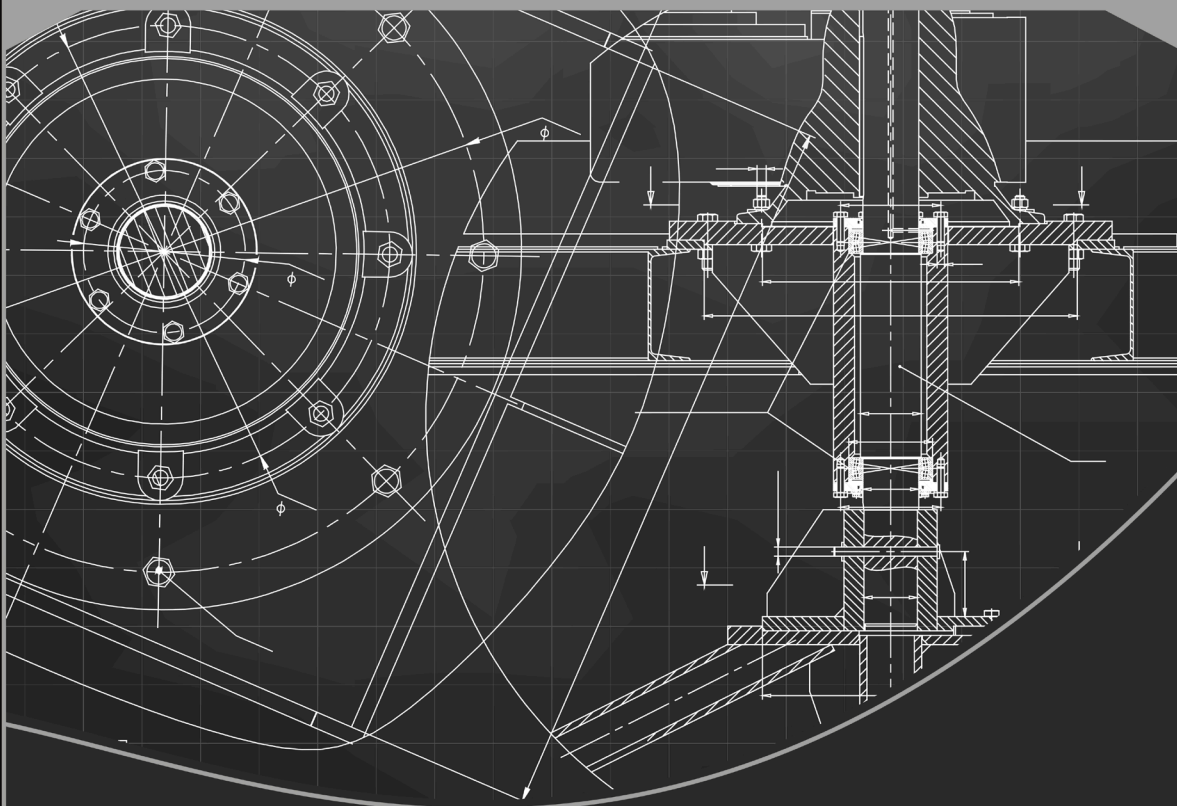
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

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

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



Atena
Editora

Ano 2021