



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
MARCELO HENRIQUE GRANZA
(ORGANIZADORES)

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

Atena
Editora
Ano 2020



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
MARCELO HENRIQUE GRANZA
(ORGANIZADORES)

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

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. 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
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
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
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 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. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P964 A produção do conhecimento na engenharia elétrica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-65-2
 DOI 10.22533/at.ed.652202303

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Granza, Marcelo Henrique.
 CDD 623.3

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na engenharia elétrica que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros de produto.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
Marcelo Henrique Granza

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE TURBINAS EÓLICAS EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO MATLAB/SIMULINK NA APRENDIZAGEM DE SISTEMAS DE CONTROLE	
Marcos José dos Santos Junior Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza João Luiz Dallamuta	
DOI 10.22533/at.ed.6522023031	
CAPÍTULO 2	11
RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MEDIDORES DE ENERGIA NO CONTEXTO DE UM APLICATIVO DE AUTOLEITURA	
Arthur Costa Serra João Vitor Ferreira França Ricardo Costa da Silva Marques Wesley Kelson Ribeiro Figueredo Artur Bernardo Silva Reis Italo Francyles Santos da Silva Simara Vieira da Rocha Aristófanés Correa Silva Eliana Márcia Garros Monteiro Italo Fernandes Serra da Silva Marcia Izabel Alves da Silva José Messias dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.6522023032	
CAPÍTULO 3	23
O CONCEITO DE CASA INTELIGENTE APLICADO A PAÍSES DESENVOLVIDOS E EMERGENTES: BENEFÍCIOS, BARREIRAS E GRAU DE ADESÃO	
Florença Moraes da Silva Rosana Aparecida Ferreira Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.6522023033	
CAPÍTULO 4	36
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM GERAÇÃO, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Igor Ferreira Visconti	
DOI 10.22533/at.ed.6522023034	
CAPÍTULO 5	49
INSTRUMENTAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM ABRASÔMETRO TIPO RODA DE BORRACHA	
Périson Pavei Uggioni André Roberto de Sousa Anderson Daleffe Diego Tiburcio Fabre	
DOI 10.22533/at.ed.6522023035	

CAPÍTULO 6	58
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO FUZZY E ALGORITMOS DE APRENDIZADO PARA SEQUÊNCIA DE PARTIDA DE PLANTAS INDUSTRIAIS	
André da Silva Barcelos Fábio Muniz Mazzone	
DOI 10.22533/at.ed.6522023036	
CAPÍTULO 7	72
SIMULAÇÃO DE SINTONIZAÇÃO DE AUTOMÁTICA PARA UM CONTROLADOR PID EM UMA PLANTA NÃO-LINEAR USANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Diogo Aparecido Cavalcante de Lima Hiago Araújo Silva Alexandre Carvalho Silva Maurício José Aureliano Júnior Alexandre Cardoso Edgard Afonso Lamounier Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.6522023037	
CAPÍTULO 8	82
CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE POSIÇÃO PARA UM ROBÔ PARALELO COM APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA CONFECCIONISTA	
Asafe dos Santos Silva Acarcio Gomes de Almeida Júnior Alexander Patrick Chaves de Sena João Manoel Freitas Souza José Lucas Moreira Cavalcanti de Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.6522023038	
CAPÍTULO 9	95
DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONTROLE HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE ALTA PRESSÃO	
Murilo Ferreria Vitor Alexsandro dos Santos Silveira Guilherme Matias Rodolfo César Costa Flesch	
DOI 10.22533/at.ed.6522023039	
CAPÍTULO 10	110
UMA NOVA ABORDAGEM DE UM SIMULADOR VIRTUAL DE IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADO NA METODOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES INSERIDO NO CONTEXTO DE REDES NEURAIS	
Matheus Silva Pestana Orlando Donato Rocha Filho Danúbia Soares Pires	
DOI 10.22533/at.ed.65220230310	
CAPÍTULO 11	124
INFLUÊNCIA DO ERRO DE QUANTIZAÇÃO APLICADO NO CONTROLE DIGITAL DE VELOCIDADE DE UM MÓDULO SERVOMECANISMO DIDÁTICO	
Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza	

João Luiz Dallamuta

DOI 10.22533/at.ed.65220230311

CAPÍTULO 12 135

CRIAÇÃO DE UM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DE CONTROLE AVANÇADO DE PROCESSOS EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA

Edilberto Pereira Teixeira

Luciano Rangel Pinheiro Neto

DOI 10.22533/at.ed.65220230312

CAPÍTULO 13 147

ESTUDO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA VALIDAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROTEÇÃO

Pablo Rodrigues Lopes

Rui Bertho Junior

DOI 10.22533/at.ed.65220230313

CAPÍTULO 14 159

MODELAGEM INTELIGENTE NEBULOSA APLICADA À HIDROPONIA VIA SISTEMA EMBARCADO

Kayon Vinicius Lima Lopes

Danúbia Soares Pires

Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.65220230314

CAPÍTULO 15 172

MODELO DE NEURÔNIO MEMRISTIVO DE DIÓXIDO DE VANÁDIO COM CODIFICAÇÃO DE IMPULSOS PRBS-PWM

Rennan Santos de Araujo

Luiz Alberto Luz de Almeida

Felipe Sadami Oiwa da Costa

DOI 10.22533/at.ed.65220230315

CAPÍTULO 16 187

MODELO MISO NEBULOSO COM ESTRUTURA MAMDANI APLICADO À ANÁLISE E CONTROLE DE VAZÃO HÍDRICA

Lorena Maria Figueiredo Albuquerque

Kayon Vinicius Lima Lopes

Orlando Donato Rocha Filho

Danúbia Soares Pires

DOI 10.22533/at.ed.65220230316

CAPÍTULO 17 199

SISTEMA ESPECIALISTA PARA AVALIAÇÃO DE ENGENHARIA COGNITIVA EM *SERIOUS GAMES*

Mateus Gomes Binatti

Marcos Venícios Conceição de Araújo

Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo

DOI 10.22533/at.ed.65220230317

CAPÍTULO 18	209
FILTRO DE KALMAN BASEADO EM MODELO FUZZY TAKAGI – SUGENO VIA ANÁLISE ESPECTRAL DE DADOS EXPERIMENTAIS	
Daiana Caroline dos Santos Gomes Ginalber Luiz de Oliveira Serra	
DOI 10.22533/at.ed.65220230318	
CAPÍTULO 19	224
CONSTRUÇÃO, DESIGN DE CONTROLE E CONTROLE DE TRAJETÓRIA POR BLUETOOTH DE UM ROBÔ AUTO EQUILIBRANTE	
Giulio Cesare Mastrocinque Santo Claudio Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.65220230319	
SOBRE OS ORGANIZADORES	240
ÍNDICE REMISSIVO	241

INSTRUMENTAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM ABRASÔMETRO TIPO RODA DE BORRACHA

Data de aceite: 17/03/2020

Data de submissão: 10/12/2019

Périson Pavei Uggioni

Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento
de Engenharia Mecatrônica
Criciúma – SC
lattes.cnpq.br/6495095860363897

André Roberto de Sousa

Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento
Acadêmico de Mecânica
Florianópolis – SC
lattes.cnpq.br/3529253381184642

Anderson Daleffe

Faculdade SATC, Departamento de Engenharia
Metalúrgica
Criciúma – SC
lattes.cnpq.br/7569701338186684

Diego Tiburcio Fabre

Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento
de Engenharia Mecatrônica
Criciúma – SC
lattes.cnpq.br/5099028947205509

RESUMO: O conhecimento das características tribológicas dos materiais sujeitos ao desgaste por abrasão é fundamental para a otimização e definição dos elementos de máquinas, e é fator determinante na quantificação da vida útil dos dispositivos mecânicos. Desta forma, é oportuno

que laboratórios de Tribologia de universidades ou empresas do setor metal-mecânico possam dispor de máquinas de ensaio denominadas “Tribômetros” que possibilitem reproduzir as condições em que ocorre o desgaste, permitindo classificar materiais e orientar projetistas de máquinas quanto à seleção de materiais adequados para determinada aplicação. Através desse conceito, este trabalho teve por objetivo aprimorar o desempenho por meio da instrumentação, controle e supervisão de um tribômetro conhecido por “Abrasômetro tipo roda de borracha”. Os procedimentos de ensaio neste equipamento são padronizados pela norma ASTM G65-16, e novas funcionalidades foram agregadas, tornando-o compatível com outros modelos mais avançados. Avanços, como o ajuste e monitoramento em tempo real de algumas variáveis inerentes ao ensaio, operação automatizada, aumento da segurança, confiabilidade e registro dos dados gerados são alguns dos objetivos alcançados ao final deste projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Automação. Máquinas de ensaio. Abrasômetro.

INSTRUMENTATION, CONTROL AND SUPERVISION OF A DRY SAND/RUBBER WHEEL ABRASION TEST MACHINE

ABSTRACT: Knowledge of the tribological

characteristics of materials subject to wear by abrasion is fundamental for the optimization and definition of machine elements, and is a determining factor in quantifying the useful life of mechanical devices. It is therefore appropriate that tribology laboratories at universities or companies in the metalworking sector should be using test machines called “tribometers,” it is possible to reproduce conditions under which wear occurs, allowing for classification of materials and guidance for designers in their selections. Through this concept, this work aimed to improve performance through the instrumentation, control and supervision of a tribometer known as “Dry Sand/Rubber Wheel Test Machine.” The test procedures in this equipment are standardized by the American Society for Testing and Materials (ASTM) G65-16 standard and new functionalities are aggregated, making the equipment compatible with other more-advanced models. Advances, such as the adjustment and real-time monitoring of some variables inherent in the test, automated operation, increased safety, reliability and recording of the generated data are some of the objectives achieved at the end of this project.

KEYWORDS: Automation. Testing machines. Dry sand/rubber wheel apparatus.

1 | INTRODUÇÃO

O desgaste de peças não pode ser evitado na prática, mas seu controle é necessário na maioria das aplicações. Com o aumento da frequência de manutenção decorrente do desgaste prematuro, proporcionalmente tem-se o aumento da indisponibilidade da máquina ou equipamento. Em consequência é necessária uma maior quantidade de recursos para substituição ou manutenção da peça desgastada, põe-se em risco a preservação de bens, e há um impacto significativo na segurança dos envolvidos.

Para a *ASM - American Society for Metals* (1992), “um dos grandes desafios na resolução dos problemas de desgaste é antecipar a forma e a intensidade com a qual ele irá ocorrer em um dado componente”. De fato, não é possível reproduzir todas as condições reais a que um determinado material estará exposto (tribosistema), mas é oportuno que nas etapas de projeto de peças ou máquinas, possam ser feitos ensaios e testes laboratoriais que permitam simular e analisar o desgaste, permitindo selecionar os materiais adequados para cada aplicação, estimar sua vida útil, etc.

A Faculdade SATC - Sociedade de Assistência aos Trabalhadores do Carvão de Criciúma-SC, com intuito de promover ensino e pesquisa também na área de Tribologia, fundou em 2015, seu laboratório denominado LDS - Laboratório de Desgaste de Superfície. Uma máquina pertencente ao LDS é conhecida por “Abrasômetro tipo roda de borracha”, no qual é possível desenvolver um ensaio para analisar e classificar materiais quanto à resistência ao desgaste por abrasão. É constituído de uma roda de aço envolvida por um anel de borracha de dureza

especificada, que gira em contato com um corpo de prova, com abrasivo (areia) na interface, provocando a perda de massa. A força normal com que o corpo de prova é pressionado contra a roda de borracha se dá por um braço de alavanca, carregado com um peso morto (carga inercial) especificado. Este método de ensaio é padronizado pela *ASTM - American Society for Testing and Materials*, através da norma *ASTM G65 - Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus* (2016). A Figura 1 representa um ensaio de desgaste em um Abrasômetro (A), Abrasômetro do LDS (B) e corpos de prova após ensaio (C).

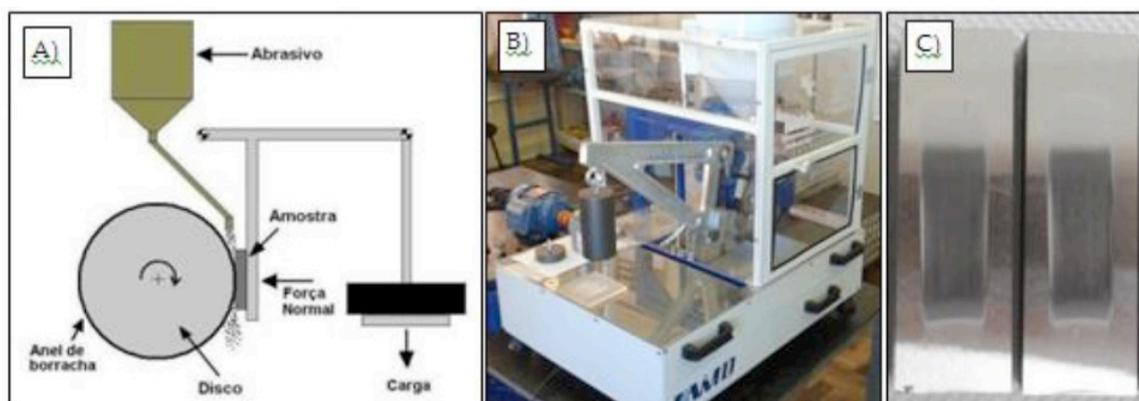


Figura 1 – Ensaio de desgaste segundo *ASTM G65-16*.

Fonte: Autores.

Embora funcional, percebeu-se que o abrasômetro do laboratório apresentava algumas limitações: *i)* de segurança, permitindo acesso livre à parte girante e não apresentando botão de parada em situação de emergência; *ii)* de operação, totalmente manual, comprometendo a confiabilidade dos resultados obtidos; *iii)* não permitir o acompanhamento em tempo real e registro dos resultados. Desta forma, este artigo apresenta as ações realizadas com o objetivo de reestruturar uma máquina de ensaio, através de uma nova concepção eletromecânica e principalmente de automação, pertencente ao LDS da Faculdade SATC.

2 | CONCEITO DO PROJETO DE AUTOMAÇÃO

No início do projeto, uma vez caracterizada a necessidade, foi realizada uma pesquisa por máquinas de ensaio de desgaste por abrasão, suas características e funcionalidades. Com as limitações do sistema atual, foi desenvolvido um novo conceito para o Abrasômetro (estrutural e de funcionamento), acarretando em uma nova concepção, com dois modos de funcionamento: mecanizado e instrumentado, selecionados pelo usuário. Um comparativo entre os modos mecanizado e instrumentado de ensaio pode ser encontrado na Tabela 1.

Parâmetros	Abrasômetro mecanizado	Abrasômetro instrumentado
Força normal	Ajuste através da adição de blocos de massa no braço de alavanca, entre 45 e 130 N.	Ajuste por supervisor, aplicada por atuador elétrico e mesa entre 20 e 200 N.
Força tangencial e coeficiente de atrito	Não faz leitura.	Leitura e registro através de supervisor.
Roda de borracha	Ajuste da frequência rotacional na IHM do inversor. Ensaio cronometrado.	Ajuste da frequência rotacional e revoluções no supervisor. Ensaio por deslocamento.
Norma referência	ASTM G65-16	ASTM G65-16
Ajuste de parâmetros e supervisão	Não é possível.	PC com sistema supervisor.

Tabela 1 – Comparativo entre ensaio mecanizado e instrumentado.

.Fonte: Autores (2019).

No modo mecanizado, a operação da máquina não foi alterada em relação ao sistema original (totalmente manual e sem sistema supervisor), necessitando somente a fixação do braço de alavanca a estrutura da máquina. No modo de funcionamento instrumentado, a força normal aplicada ao corpo de prova é obtida através de um mecanismo (motor elétrico e mesa), com intensidade ajustada através do sistema supervisor. Sensores fazem a leitura de algumas variáveis inerentes ao ensaio, como a força tangencial e normal, permitindo que seja então obtido o valor do coeficiente de atrito, além do registro de dados.

A Figura 2 apresenta a nova concepção eletromecânica e de instrumentação do Abrasômetro do LDS da Faculdade SATC.

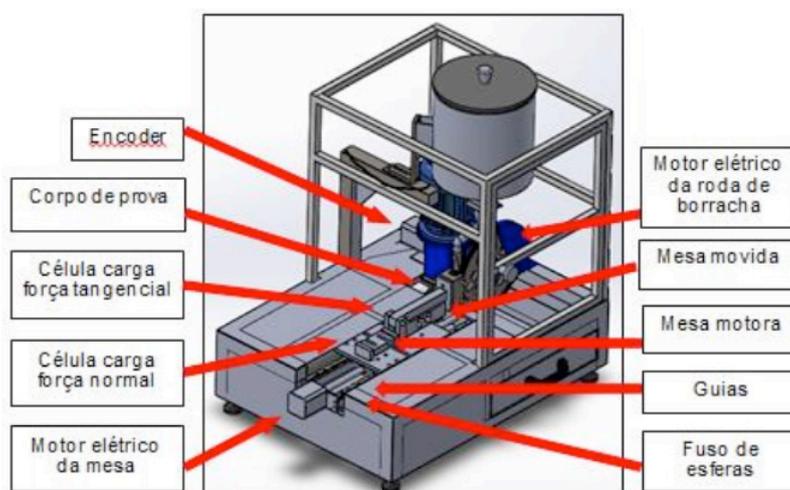


Figura 2 – Nova concepção do Abrasômetro do LDS.

Fonte: Autores (2019).

3 I DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO MECATRÔNICA DO SISTEMA

Definidas as concepções de projeto do Abrasômetro foram iniciadas as adaptações eletromecânicas e de automação à estrutura original.

3.1 Definição dos sensores e atuadores

Com a instrumentação, a força normal aplicada ao corpo de prova poderá ser ajustada para até 200 N. Desta forma, fez-se um estudo para verificar se o motor elétrico de indução/reductor mecânico instalados na máquina para o acionamento da roda de borracha atendia às novas condições de operação, assim como determinar as características do motor elétrico a ser utilizado para acionamento da mesa. Para este último, mais importante que a velocidade é o torque desenvolvido pelo motor durante a execução do ensaio.

Através da Equação 1 calcula-se a força axial F_A refletida ao eixo motor de acionamento da mesa.

$$F_A = F_N + (\mu_G \cdot m \cdot g) = 200 + (0,1 \cdot 7,13 \cdot 9,81) = 207N \quad (1)$$

O torque do motor de acionamento da mesa pode ser calculado pela Equação 2.

$$\tau_{MM} = \frac{F_A \cdot p}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_{FS}} = \frac{207 \cdot 5}{2000 \cdot \pi \cdot 0,9} = 0,18Nm \quad (2)$$

Conhecendo-se o torque necessário, inicialmente foram consideradas duas alternativas: motor de passo e servomotor, decidindo-se pelo primeiro (menor custo), trabalhando em conjunto com um *driver* com alta capacidade de corrente de saída (8 A), suficiente para atingir o torque necessário.

Para o acionamento da roda de borracha, considerando um ajuste de força normal F_N máximo de 200 N e um coeficiente de atrito corpo/roda μ_{CR} estimado de 0,6, pela aplicação da Equação 3 determina-se a força tangencial F_T aplicada à roda e pela Equação 4 o torque necessário na saída do reductor para seu acionamento.

$$F_T = \mu_{CR} \cdot F_N = 0,6 \cdot 200 = 120N \quad (3)$$

$$\tau_S = F_T \cdot r = 120 \cdot 0,114 = 13,68Nm \quad (4)$$

Através da Equação 5 pode-se calcular o torque de entrada do reductor, exigido do motor de indução.

$$\tau_E = \frac{\tau_S}{(i \cdot \eta_R)} = \frac{13,68}{(10 \cdot 0,85)} = 1,6 Nm \quad (5)$$

Desejando-se 2000 rpm na roda de borracha (requisito de ensaio da norma *ASTM G65*), o motor de 1680 rpm nominal deve ter sua rotação aumentada para 2000 rpm. Desta forma, a frequência elétrica f entregue pelo conversor ao motor pode ser calculada pela Equação 6.

$$f = \frac{rpm_{desejado} \cdot f_{nominal}}{rpm_{nominal}} = \frac{2000 \cdot 60}{1680} = 71,4Hz \quad (6)$$

Como a frequência de trabalho do motor é maior que a frequência nominal de 60 Hz (região de enfraquecimento de campo), o torque máximo que poderá ser desenvolvido pelo motor da roda será menor que o torque nominal informado pelo fabricante, podendo ser calculado pela Equação 7.

$$\tau_{MR} = \tau_{nominal} \cdot \frac{f_{nominal}}{f} = 3,13 \cdot \frac{60}{71,4} = 2,63Nm \quad (7)$$

Como o torque de entrada do redutor é menor que o torque desenvolvido pelo motor da roda, o conjunto motor e redutor instalados na máquina atendem as condições máximas de ensaio estipuladas.

Com o dimensionamento dos sistemas de acionamento, definiram-se os sensores para o Abrasômetro: *i*) encoder incremental de 1024 pulsos por revolução, que acoplado ao redutor, permite controle em malha fechada do rpm desejado para a roda de borracha; *ii*) célula de carga do tipo resistiva (extensométrica) modelo tipo “single point”, capacidade máxima de 50 kgf, sensibilidade de $2,0 \pm 0,2$ mV/V, para medir e controlar em malha fechada a força normal; *iii*) célula de carga do tipo resistiva (extensométrica) modelo tipo “S”, capacidade máxima de 30 kgf, sensibilidade de $2,0 \pm 0,2$ mV/V, para medir a força tangencial; *iv*) para a mesa, foram especificados sensores de fim de curso eletrônicos tipo indutivo, sendo o mesmo tipo de sensor utilizado para detectar abertura da porta de acesso a parte girante da máquina.

3.2 Definição do sistema de controle

Com base no funcionamento pretendido para o Abrasômetro, e análise das características elétricas dos *drivers*, sensores, etc., foi elaborado uma relação das entradas e saídas do sistema. Para o sistema de controle, optou-se por utilizar CLP - Controlador Lógico Programável, pelo critério da compatibilidade elétrica (níveis de tensão) com os sensores e *drivers* e apresentar porta de comunicação e protocolo (Modbus serial) compatíveis com o sistema de supervisão.

3.3 Definição do sistema supervisor

Com o objetivo de reduzir custos na montagem do Abrasômetro, foi adotado

o software ScadaBR, livre e de código aberto do tipo *SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition*. Através de sua interface, é possível ajustar parâmetros (*setup*) e verificar em tempo real variáveis do ensaio em andamento. Ao final, uma planilha pode ser gerada para o registro destes dados.

A Figura 3 apresenta a integração mecatrônica dos componentes e dispositivos do Abrasômetro.

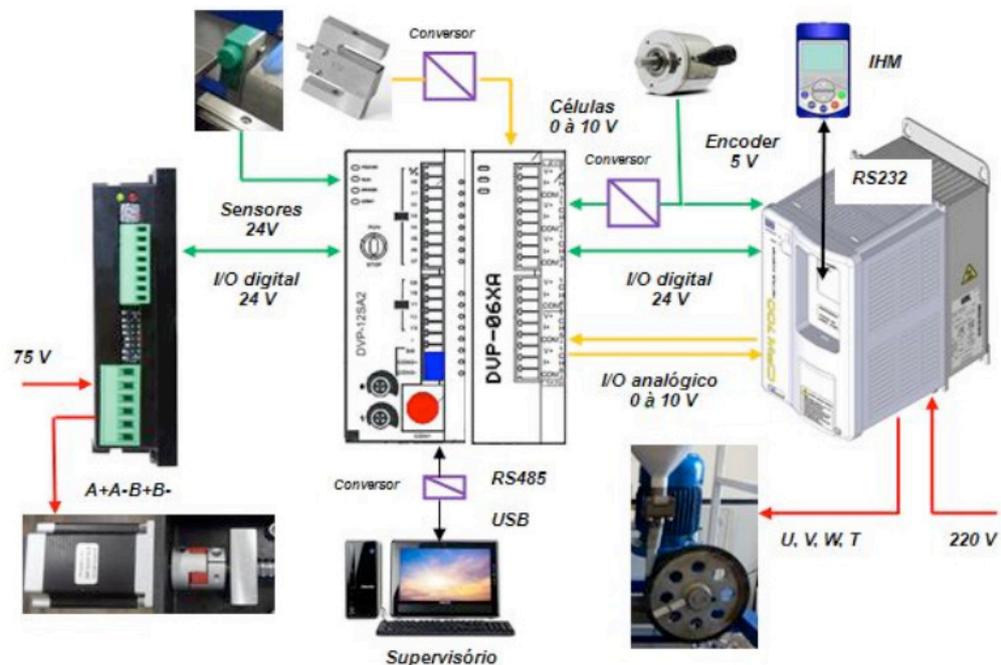


Figura 3 – Integração mecatrônica do Abrasômetro.

Fonte: Autores.

4 | VALIDAÇÃO OPERACIONAL E CALIBRAÇÃO DO ABRASÔMETRO

Para calibração do sistema de medição (modo instrumentado), sobre as células foram posicionadas massas padrão de $5000,0 \pm 0,2\text{g}$ e $10000,0 \pm 0,2\text{g}$. Este procedimento deve ser realizado cinco vezes, sendo calculada a média aritmética das indicações. Havendo divergência na força aplicada pelas massas e a indicação no sistema supervisor, é necessário efetuar a correção através do próprio supervisor em campo apropriado. Para a roda de borracha, utilizou-se um tacômetro modelo MDT2238A Minipa, sendo a correção da indicação feita diretamente no conversor de frequência.

Para validação operacional e metrológica do Abrasômetro, diversos ensaios se seguiram, no modo mecanizado e instrumentado. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos.

Parâmetros	Abrasômetro mecanizado	Abrasômetro instrumentado
Média de volume perdido (mm³)	110,403	99,554
Desvio padrão (mm³)	6,257	3,145
Resultado ensaio (mm³)	110,4±6,2	99,5±3,1
Coefficiente de variação (%)	5,6	3,1

Tabela 2 – Comparativo de resultados entre ensaio mecanizado e instrumentado.

Fonte: Autores (2019).

Os dois modos de funcionamento apresentaram resultados condizentes aos especificados na norma *ASTM G65-16*. No modo instrumentado, a média de volume perdido foi 9,9% inferior ao modo mecanizado, apresentando melhor repetitividade dos resultados. Pode-se verificar um aumento na confiabilidade dos resultados, a partir da nova concepção da máquina, já que a redução significativa do coeficiente de variação pode ser traduzida como uma redução do erro aleatório inerente à máquina/sistema de medição.

5 | CONCLUSÃO

Através da automação (instrumentação, controle e supervisão) do Abrasômetro do LDS Faculdade SATC, ensaios de desgaste para caracterização de materiais metálicos foram otimizados (configuração, operação, registro de dados, segurança). Analisando aspectos metrológicos, os resultados obtidos realizados com a concepção instrumentada do Abrasômetro se comparados à concepção mecanizada apresentaram uma menor dispersão. Assim pode-se afirmar que as modificações propostas e realizadas tiveram êxito. Embora seja impossível anular todos os erros de um sistema de medição, pode-se concluir que com este trabalho houve uma redução de suas causas, acarretando em aumento da confiabilidade metrológica. Esta nova concepção da máquina tornou-se uma ferramenta de apoio para projetos na área de Tribologia, seja em nível de ensino ou pesquisa.

6 | NOMENCLATURA

ASM-----	<i>American Society for Metals</i>
ASTM	----- <i>American Society for Testing and Materials</i>
CLP -----	Controlador lógico programável
LDS -----	Laboratório de Desgaste de Superfície
SATC	----- Sociedade de Assistência aos Trabalhadores do Carvão

SCADA	-----	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
rpm	-----	Rotações por minuto
F_A	[N]	Força axial
F_N	[N]	Força normal
F_T	[N]	Força tangencial
f	[Hz]	Frequência
g	[m/s ²]	Aceleração gravidade
i	[---]	Redução
m	[kg]	Massa estrutura mesa
p	[mm]	Passo do fuso de esferas da mesa
r	[m]	Raio roda de borracha
τ_E	[Nm]	Torque entrada redutor roda de borracha
τ_S	[Nm]	Torque saída redutor roda de borracha
τ_{MM}	[Nm]	Torque motor acionamento mesa
τ_{MR}	[Nm]	Torque motor acionamento roda de borracha
μ_{CR}	[---]	Coeficiente de atrito corpo de prova/roda
μ_G	[---]	Coeficiente de atrito superfície da guia linear
η_{FS}	[---]	Rendimento do fuso de esferas
η_R	[---]	Rendimento do redutor roda de borracha

REFERÊNCIAS

ASM. **Friction, lubrication and wear technology.** Metals Handbook. 2ª ed., Ohio, 1992.

ASTM. **ASTM G65-16: standard test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus.** West Conshohocken, 2016.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abrasômetro 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Adesão 23, 31, 32

Ajuste automático 72, 190

Algoritmo genético 36, 37, 42, 47, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 80, 81

Aprendizado de máquina 12

Aprendizagem de máquinas 58, 176

Arquitetura paralela 83, 84

Autoleitura 11, 12, 13, 14, 21

Automação 49, 51, 53, 56, 59, 60, 81, 95, 109, 124, 133, 135, 137, 151, 153, 157, 161, 170, 187, 198

Avaliação experimental 96, 109

B

Barreiras 23, 32, 33

C

Calorímetro de alta pressão 96

Casas inteligentes 23, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33

Consumo de energia 12, 13, 14

Controlador fuzzy 135, 142, 143, 145, 146

Controlador PI 1, 99, 124, 131

Controlador PID 72, 74, 75, 79, 81

Controle de processos 135, 136

Controle híbrido 95, 97, 99, 102, 105, 107, 108

Controle PID 74, 78, 83

E

Energia eólica 1, 2, 4

Erro de quantização 124, 125, 126, 127, 133, 134

Estabilidade transitória 36

F

Fuzzy 58, 59, 61, 63, 69, 70, 123, 135, 136, 138, 142, 143, 144, 145, 146, 159, 160, 170, 171, 187, 188, 194, 198, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 216, 222, 223, 225, 239

G

Gás natural 58, 59, 69, 70

H

HOG 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

I

Identificação de sistemas 36, 38, 39, 47, 48, 116, 124, 128, 134, 209

L

Ladder 135, 136, 144, 145

Lógica fuzzy 59, 61, 63, 135, 138, 170, 207

LSS 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

M

Máquinas de ensaio 49, 51

Modelagem de carga 36, 37, 38, 39, 46

Modelos matemáticos 1, 3, 10, 38, 39, 128, 135

P

Países desenvolvidos 23, 24, 26, 28, 29

Países emergentes 23, 27, 28, 29, 31

Processamento de imagens 12, 21

Protótipo 73, 79, 82, 83, 84, 86, 93, 148, 149, 150, 167, 168, 189, 196

R

Reconhecimento 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 110, 112, 113, 123, 174, 176, 179, 203, 204, 210

Refrigeração com dióxido de carbono 96

Robô delta 83, 93, 94

S

Servomecanismo 124, 125, 126, 127, 128, 131, 132, 133, 134

Sistema de posicionamento 83

Supervisor 52, 54, 55, 82, 85, 88, 135, 145

Svm 12, 14, 17, 19, 21, 22

T

Tomada de decisão inteligente 58

Turbina eólica 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10

V

Válvulas automáticas industriais 95, 96

 **Atena**
Editora

2 0 2 0