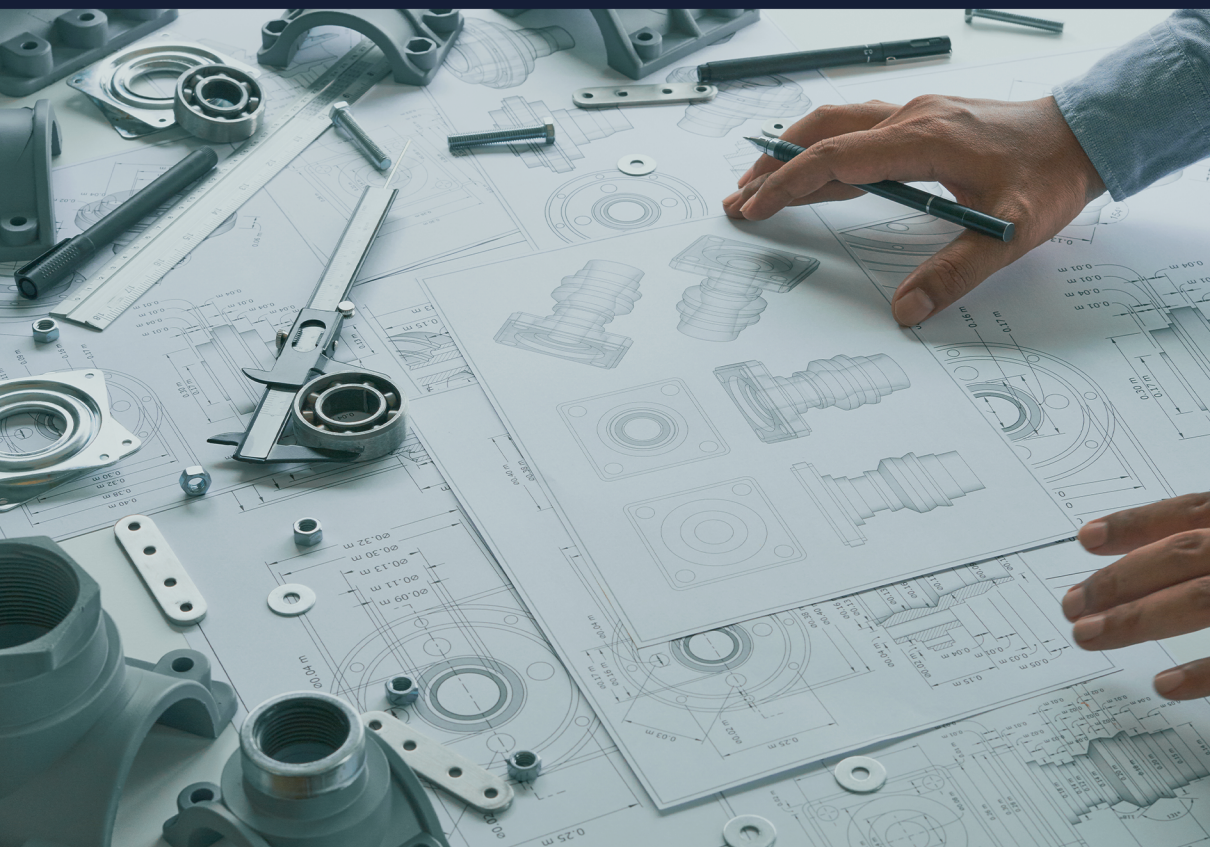


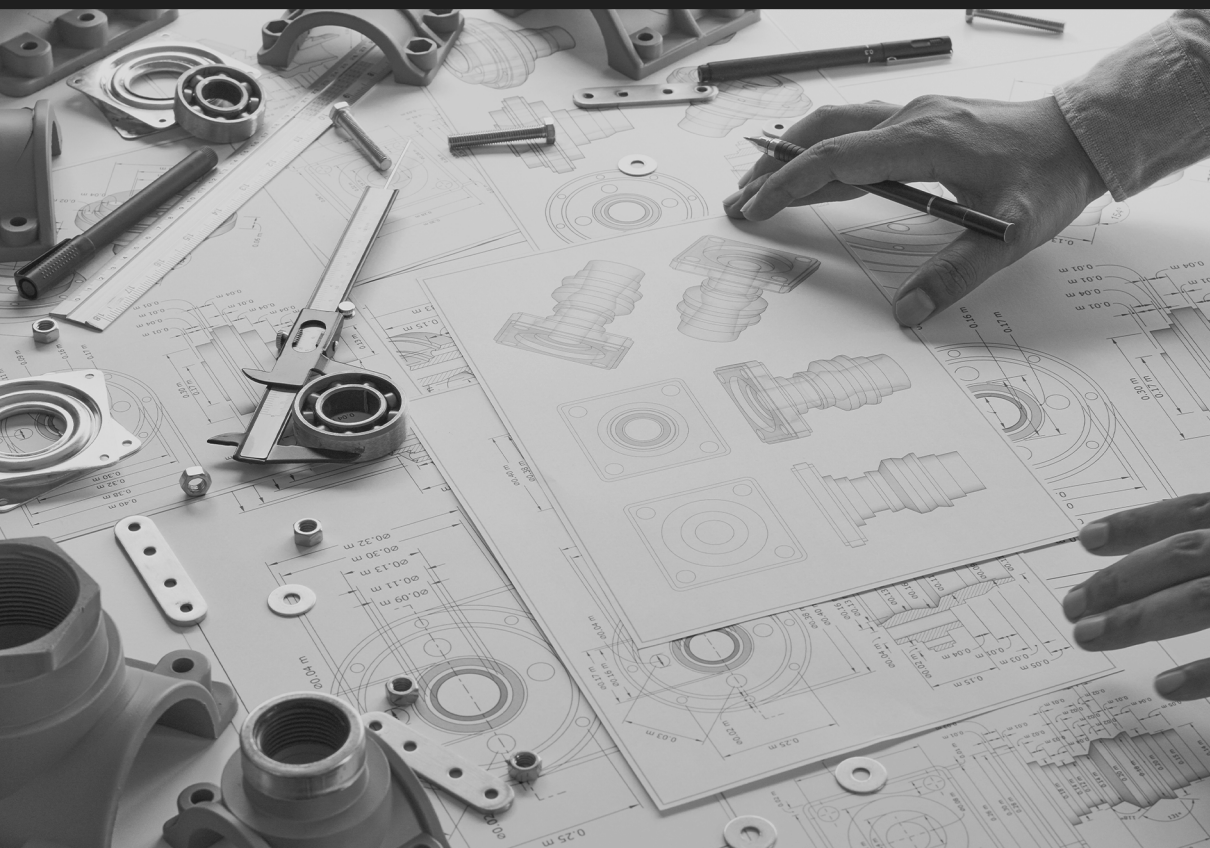
ATIVIDADES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS NO CAMPO DA ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

Atena
Editora
Ano 2020

ATIVIDADES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS NO CAMPO DA ENGENHARIA MECÂNICA



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)**

Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

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
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. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele 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
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. 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
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
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
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci 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
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
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
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 Miranilde 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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
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
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza 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. Ma. 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. 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
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
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. 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 Alborno – 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/UFPA
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 Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian 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. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
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. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

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

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Atividades científicas e tecnológicas no campo da engenharia mecânica

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Emely Guarez
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A872 Atividades científicas e tecnológicas no campo da engenharia mecânica / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-486-3

DOI 10.22533/at.ed.863202610

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

APRESENTAÇÃO

Em um cenário cada vez mais competitivo, desenvolver novas maneiras de melhoria nos processos industriais, bem como para o próprio dia a dia da população é uma das buscas constantes das áreas de engenharia.

Desta forma buscar evitar ou prever falhas em sistemas é de vital importância, destacando-se o desenvolvimento de novos materiais, bem como de métodos analíticos e práticos para detecção. Entre os materiais os compósitos veem ganhado cada vez mais espaço devido a sua versatilidade, aliando resistência e peso.

Já para detecção de falhas os métodos de análise de vibrações é quase que unanimidade quando se quer um pleno funcionamento dos equipamentos. O estudo das análises de vibrações em sistemas vem ganhando cada vez mais espaço nos projetos, pois a redução dessas na maioria dos casos acarreta em uma maior vida útil ou um melhor funcionamento dos conjuntos.

Neste livro são apresentados trabalhos relacionados a engenharia mecânica, dentro de uma vertente teórico/prática onde busca-se retratar assuntos atuais e de grande importância para estudante, docentes e profissionais.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ABORDAGEM DE DETECÇÃO DE AVARIAS EM SISTEMA DINÂMICO UTILIZANDO TÉCNICA DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

João Marcelo Abreu Bernardi

Edson Hideki Koroishi

DOI 10.22533/at.ed.8632026101

CAPÍTULO 2..... 12

UTILIZAÇÃO DE ATUADORES ELETROMAGNÉTICOS PARA O CONTROLE DE VIBRAÇÃO EM UMA VIGA DE MATERIAL COMPÓSITO

Andrei Santos Oliveira

Camila Albertin Xavier da Silva

Edson Hideki Koroishi

Romeu Rony Cavalcante da Costa

Marco Túlio Santana Alves

DOI 10.22533/at.ed.8632026102

CAPÍTULO 3..... 21

CONTROLE ATIVO DE VIBRAÇÕES APLICADO A UMA VIGA FLEXÍVEL UTILIZANDO ATUADORES ELETROMAGNÉTICOS

Matheus Rincon Modesto Maroni

Edson Hideki Koroishi

DOI 10.22533/at.ed.8632026103

CAPÍTULO 4..... 31

SUPRESSÃO DO FENÔMENO DE *FLUTTER* EM PAINÉIS COMPÓSITOS AERONÁUTICOS VIA TÉCNICA DE CONTROLE PASSIVO

Lorrane Pereira Ribeiro

Antônio Marcos Gonçalves de Lima

DOI 10.22533/at.ed.8632026104

CAPÍTULO 5..... 42

FABRICAÇÃO DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO BASEADO EM UM GUINDASTE

Ana Carolina Dantas Rocha

Eduardo Victor Lima Barboza

José Leonardo Nery de Souza

Otávio Clarindo Lopes Filho

Adriano Marinheiro Pompeu

Dheiver Francisco Santos

DOI 10.22533/at.ed.8632026105

CAPÍTULO 6..... 56

GANHO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO POR ENRIJECEDOR EM CHAPA DOBRADA A FRIO

João Paulo Marques de Aquino

João de Jesus dos Santos

Lais Amaral Alves

DOI 10.22533/at.ed.8632026106

CAPÍTULO 7..... 70

PADRONIZAÇÃO DE MATERIAIS COMO MEIO DE ECONOMIA EM SUPRIMENTO DE BENS: UM ESTUDO DE CASO

Patrícia Aparecida Casteluber Nascimento

Gabrielle Silva Ribeiro

Beatriz Marvila Borges

Letícia dos Santos Sciortino

DOI 10.22533/at.ed.8632026107

CAPÍTULO 8..... 77

A GENERALIZED INTEGRAL TRANSFORMED TECHNIQUE: LITERATURE REVIEW AND COMPARATIVE RESULTS WITH FINITE VOLUME METHOD

Hildson Rodrigues de Queiroz

Flavio Maldonado Bentes

Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega

Fabiano Battemarco da Silva Martins

DOI 10.22533/at.ed.8632026108

CAPÍTULO 9..... 101

UTILIZAÇÃO DE WC NA MOAGEM DE ALTA ENERGIA DE CAVACOS DE AÇO ALTO CROMO

Roberta Alves Gomes Matos

Bruna Horta Bastos Kuffner

Gilbert Silva

DOI 10.22533/at.ed.8632026109

SOBRE OS ORGANIZADORES 108

ÍNDICE REMISSIVO..... 109

CAPÍTULO 2

UTILIZAÇÃO DE ATUADORES ELETROMAGNÉTICOS PARA O CONTROLE DE VIBRAÇÃO EM UMA VIGA DE MATERIAL COMPÓSITO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

Andrei Santos Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Cornélio Procópio, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3799718172614106>

Camila Albertin Xavier da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Cornélio Procópio, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3600998711160920>

Edson Hideki Koroishi

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Cornélio Procópio, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9465293262026260>

Romeu Rony Cavalcante da Costa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Cornélio Procópio, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6785202465903803>

Marco Túlio Santana Alves

Universidade Federal da Bahia, Salvador,
Bahia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9520270393660729>

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo o controle ativo de vibrações em uma estrutura de material compósito utilizando atuadores eletromagnéticos. O método de identificação do modelo do sistema foi o algoritmo ERA/OKID, que consiste em um método de identificação de estruturas complexas a partir de dados de entrada e saída do sistema. A

técnica de controle utilizada foi o controle ótimo, a partir do uso de Regulador Linear Quadrático (LQR). O sistema de controle é responsável por calcular os esforços de controle necessários para alimentar os atuadores eletromagnéticos. Os atuadores eletromagnéticos por sua vez, atuam sobre a estrutura compósita aplicando a força eletromagnética, resultando na atenuação de vibração da estrutura. Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios, apresentando um tempo de acomodação pequeno e redução da amplitude no primeiro modo de vibrar. A fim de validar os resultados numéricos, foram obtidos os resultados experimentais, validando assim a metodologia proposta.

PALAVRAS-CHAVE: LQR, Controle Ativo de Vibrações, Material Compósito, ERA/OKID.

USE OF ELECTROMAGNETIC ACTUATORS TO VIBRATION CONTROL IN A COMPOSITE MATERIAL BEAM

ABSTRACT: The present work aims to active vibration control in a composite material structure using electromagnetic actuators. The identification method of system model was the ERA / OKID algorithm, which consists of a method of identifying complex structures from the input and output data of the system. The control technique used was the optimal control, based on the use of Linear Quadratic Regulator (LQR). The control system is responsible for calculating the control efforts required to power the electromagnetic actuators. The electromagnetic actuators, in turn, act on the composite structure from the electromagnetic force, resulting in the attenuation of the structure's vibration. The results obtained

were satisfactory, with a short accommodation time and reduced amplitude in the first mode of vibration. In order to validate the numerical results, experimental results were obtained, thus validating the proposed methodology.

KEYWORDS: LQR, Active Vibrations Control, Composite Material, ERA/OKID.

1 | INTRODUÇÃO

Em um ambiente industrial existem inúmeras fontes de vibrações que podem causar desgastes excessivos em mancais, falhas estruturais e mecânicas, manutenção frequente, afrouxamento de parafusos, trincas, fraturas em juntas soldadas, entre outros problemas na indústria. Assim sendo, estudar o comportamento dessas vibrações é fundamental para eliminar ou reduzir os níveis vibracionais (OGATA, 2003).

Segundo (BORGES, 2016), o controle ativo é o método mais avançado para atenuações de vibrações, é constituído, geralmente, por sensores, atuadores e uma unidade de controle. Os sensores possuem a função de fornecer informações sobre as variáveis a serem controladas. A unidade de controle processa as informações obtidas pelos sensores, de forma a aplicar os algoritmos de controle correspondentes, produzindo os sinais de comando. Os atuadores, por fim, convertem os sinais de comando emitidos, pela unidade de controle, em ações efetivas sobre o sistema.

O controle ativo é uma técnica em que consiste na aplicação de forças contrárias ao movimento da estrutura. O resultado dessas duas forças opostas é a anulação das forças e assim a vibração da estrutura cessa (XINKE, 2007). Este tipo de controle vem apresentando aplicações bem-sucedidas em diversa áreas, e uma área de grande interesse atualmente, é o estudo de material compósito, materiais os quais possuem arranjo inovador, caracterizados por sua leveza, resistência mecânica e possibilidade de otimização de condições de funcionamento específico (REDDY, 1997).

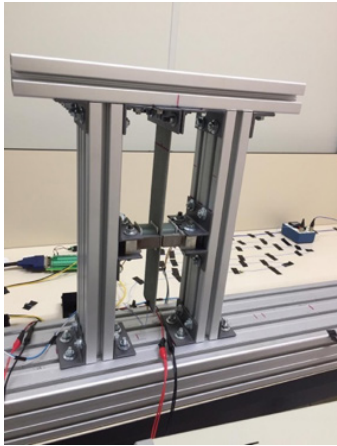
Dentro deste contexto o presente trabalho dedica-se a implementar o controle ativo de vibração em uma viga de material compósito livre-engastada, utilizando Regulador Linear Quadrático (LQR- *Linear Quadratic Regulator*) a fim de atenuar a vibração da viga de material compósito. Neste projeto, foram utilizados atuadores eletromagnéticos para aplicação da força de controle sobre a estrutura.

2 | MATERIAS E MÉTODOS

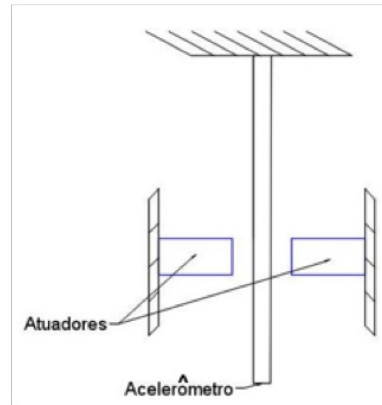
A bancada experimental consiste em uma viga engastada de material compósito, dois atuadores eletromagnéticos, perfis de alumínio, um acelerômetro, uma placa de aquisição, dois amplificadores e um fonte de alimentação. A Figura 1 apresenta a bancada experimental e os seus respectivos elementos.

A viga compósita apresentada na Figura 1 apresenta 310 [mm] de comprimento, 59,3 [mm] de largura e 2 [mm] de espessura, e é formada por resina epóxi, fibra de vidro e tela de aço 1045.

Dois atuadores eletromagnéticos são posicionados na estrutura, para a aplicação do controle experimental. Cada atuador possui um gap (lacuna) de 1,5 [mm] da viga.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Bancada (b) Representação esquemática da bancada.

A Figura 2 apresenta a representação esquemática do sistema de controle.

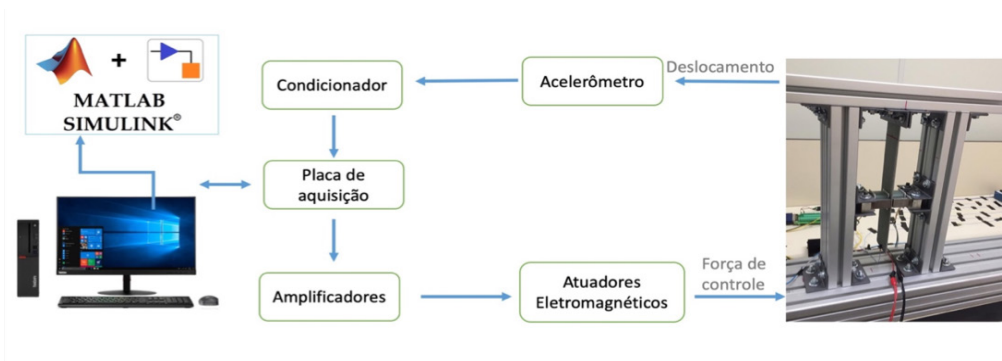


Figura 2: Representação esquemática do sistema de controle.

De acordo com a segunda lei de Newton, pode-se descrever o movimento de uma estrutura pela Equação (1).

$$[M] \{\ddot{x}(t)\} + [C_a] \{\dot{x}(t)\} + [K] \{x(t)\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

A matriz $[M]$ representa a matriz de massa, $[C_a]$ de amortecimento, $[K]$ de rigidez, $\{x\}$ o vetor deslocamento e $\{F\}$ a força de excitação. Através da representação de espaço de estados a Equação (1) pode ser rescrita conforme as Equações (2) e (3).

$$\{\dot{x}(t)\} = [A] \{x(t)\} + [B_u] \{u(t)\} + [B_w] \{w(t)\} \quad (2)$$

$$\{y(t)\} = [C]\{x(t)\} \quad (3)$$

onde, $\{\dot{x}(t)\}$ corresponde ao vetor de estado, $[A]$ a matriz dinâmica, $[B_w]$ a matriz de entrada de excitação, $[B_u]$ corresponde a matriz de controle, $[C]$ a matriz de saída, $\{u(t)\}$ a força de entrada e $\{y(t)\}$ o vetor de saída. As matrizes que correspondem ao comportamento dinâmico do sistema: $[A]$, $[B_w]$, $[B_u]$, $[C]$, sendo todas no domínio modal, foram obtidas através do algoritmo de identificação ERA/OKID que, segundo (ALVES, 2005), é um algoritmo de identificação capaz de determinar as matrizes que representam o comportamento dinâmico do sistema em espaço de estados.

Para controle do sistema foi projetado o regulador linear quadrático (LQR - do inglês, *Linear Quadratic Regulator*) a partir do *software* MATLAB®. O controlador é a parte fundamental para o controle de vibração, onde o algoritmo específico de controle é implementado para garantir a atenuação de vibração do sistema (ZIPPO, 2015).

O LQR é uma estratégia de controle ótimo e amplamente utilizado em controle ativo de vibrações, baseado em retroalimentação no sistema (LIANG, 2018). O controle da realimentação é dado pela Equação (4):

$$\{u(t)\} = -[K_G] \{x(t)\} \quad (4)$$

Onde a matriz de ganho $[K_G]$ é determinada com minimização do desempenho dado pela Equação (5).

$$J = \int [\{x(t)\}^T [Q_{lqr}] \{x(t)\} + \{u(t)\}^T [R_{lqr}] \{u(t)\}] dt \quad (5)$$

Onde $[Q_{lqr}]$ é uma matriz hermitiana definida positiva (ou semi-definida positiva) ou real simétrica das cargas de cada estado e $[R_{lqr}]$ é uma matriz hermitiana definida positiva ou real simétrica do consumo de energia dos sinais de controle (ASSUNÇÃO, 2001). Para o projeto do controlador, as matrizes Q_{lqr} e R_{lqr} utilizadas são apresentadas na Equação 6.

$$[Q_{lqr}] = 2500 * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ e } [R_{lqr}] = [10] \quad (6)$$

Com o modelo da estrutura compósita identificado e com o controlador projetado, obteve-se os resultados numéricos e experimentais.

3 | RESULTADOS

Os resultados numéricos foram obtidos através de simulação numérica computacional realizada no *software* MATLAB®, a Figura 3 representa a resposta do deslocamento em função do tempo para o sistema com e sem controle.

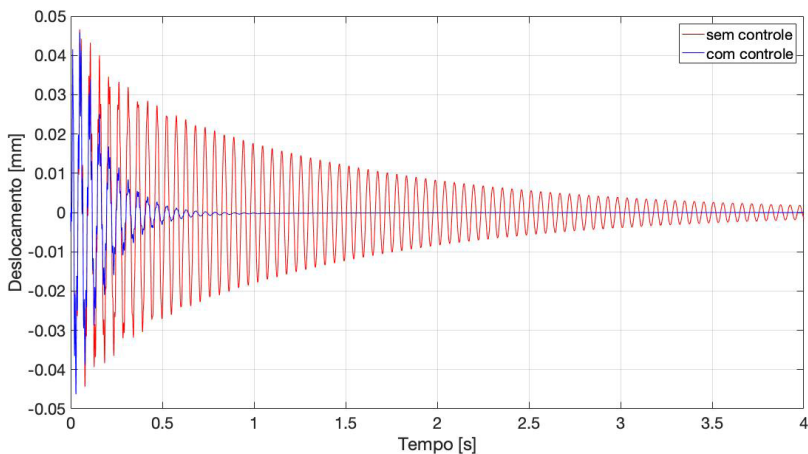


Figura 3: Resposta determinística do deslocamento em função do tempo.

A partir deste resultado, nota-se que houve uma atenuação da vibração na viga de material compósito, apresentando um tempo de acomodação menor quando apresentado sem controle, em que, em menos de 1 [s] atinge a estabilidade, ao passo que a resposta sem controle leva aproximadamente 5 [s].

As respostas do sistema sem e com controle também foram analisadas no domínio da frequência, sendo apresentadas pela Figura 4.

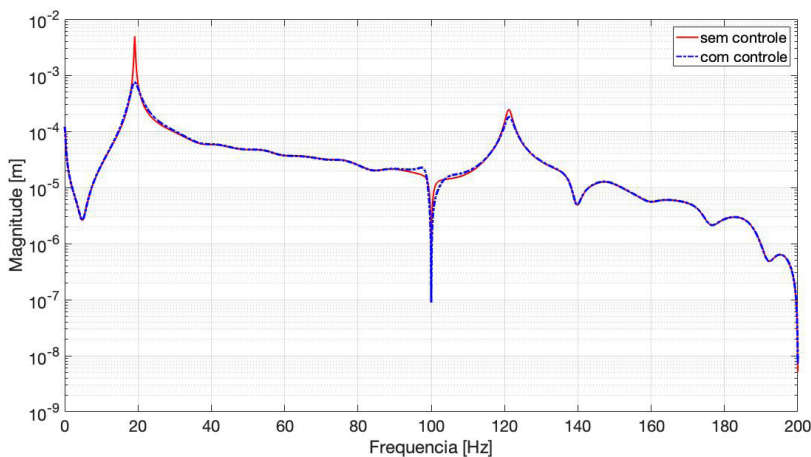


Figura 4: Resposta do sistema em relação a frequência do sistema sem controle e com controle.

Nota-se a atenuação nos dois modos de vibrar da viga compósita, o primeiro localizado aproximadamente em 19 [Hz] e o segundo em 121 [Hz]. Quantitativamente, o primeiro modo de vibrar é atenuado de 4,9 [mm] para 0,75 [mm], representando uma redução de 4,15 [mm], aproximadamente. Já o segundo modo de vibrar passou de 0,24 [mm] para 0,18 [mm], redução de 0,06 [mm].

Por fim, foi analisado a corrente elétrica utilizada pelos dois atuadores eletromagnéticos, representando o esforço que o controlador teve para atenuar a vibração. O gráfico apresenta a corrente elétrica utilizada em cada atuador, como mostra a Figura 5.

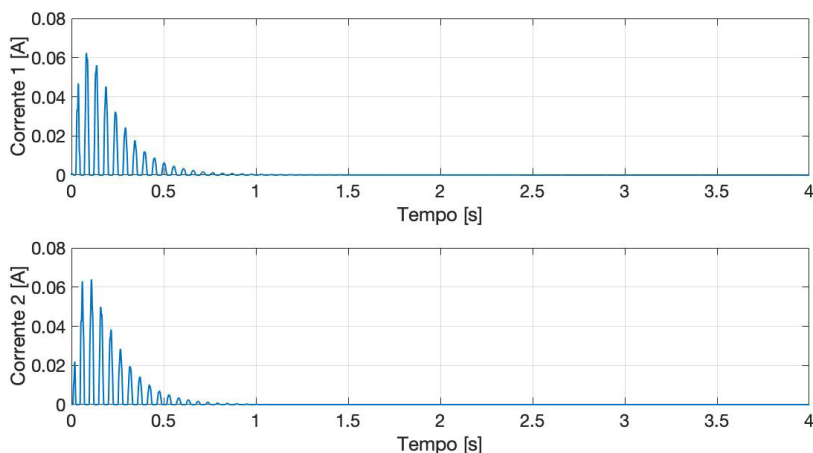


Figura 5: Corrente elétrica em função do tempo.

Conforme a Figura 5, nota-se os maiores picos da corrente elétrica nos primeiros instantes, uma vez que as forças para atenuar a vibração são maiores em consequência que neste intervalo de tempo é onde se encontra as maiores amplitudes de deslocamento.

Com a utilização da bancada experimental foram obtidos os resultados experimentais, a partir da malha de controle apresentada na Figura 2, a fim de validar os resultados obtidos nas simulações numéricas.

Foram obtidas as mesmas respostas da simulação numérica, para fins de comparação e validação, e são apresentados na Figura 6, 7 e 8.

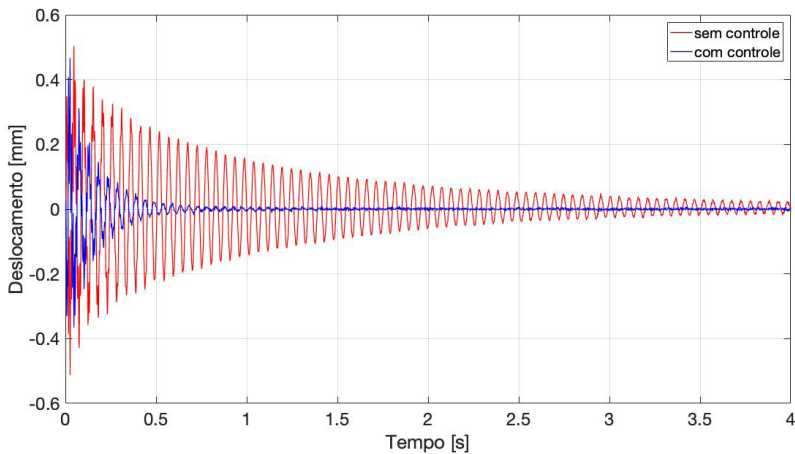


Figura 6: Resposta determinística do deslocamento em função do tempo experimental.

Como visto na Figura 6, a resposta do deslocamento em função do tempo apresenta resultados similares aos resultados obtidos numericamente, apresentando a atenuação da vibração em aproximadamente, em menos de 1 [s] com a aplicação controle do controle experimental.

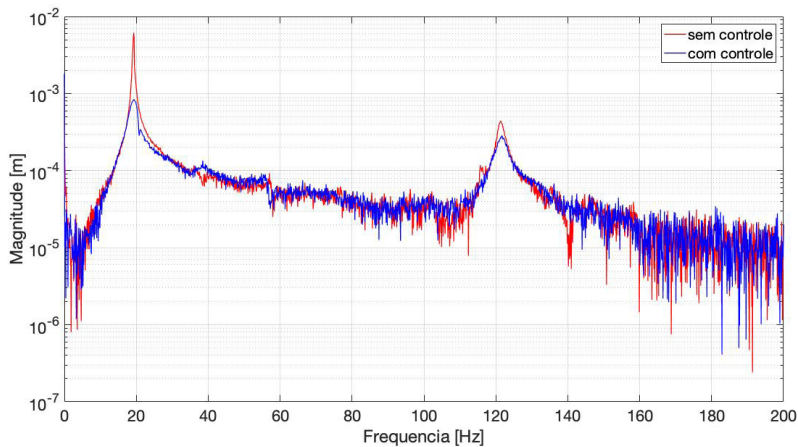


Figura 7: Função resposta em frequência (FRF) do sistema sem controle e com controle experimental.

A Figura 7 apresenta a redução da amplitude de vibração nos dois primeiros modos cujas frequências ocorrem, respectivamente, em 19,4 [Hz] e 121,9 [Hz]. No primeiro modo apresenta-se uma redução de aproximadamente 5,36 [mm] no primeiro modo e 0,15 [mm]

no segundo modo de vibrar. Comparativamente, as reduções de deslocamento no primeiro e segundo modo de vibrar apresentaram valores próximos aos valores simulados.

Por fim, a Figura 8 representa a utilização de corrente de cada atuador, experimentalmente encontra-se valores maiores que os valores simulados, uma vez que na simulação o pico de utilização de corrente elétrica representa 0,07 [A] enquanto que na pratica obteve-se um pico de 0,14 [A] aproximadamente.

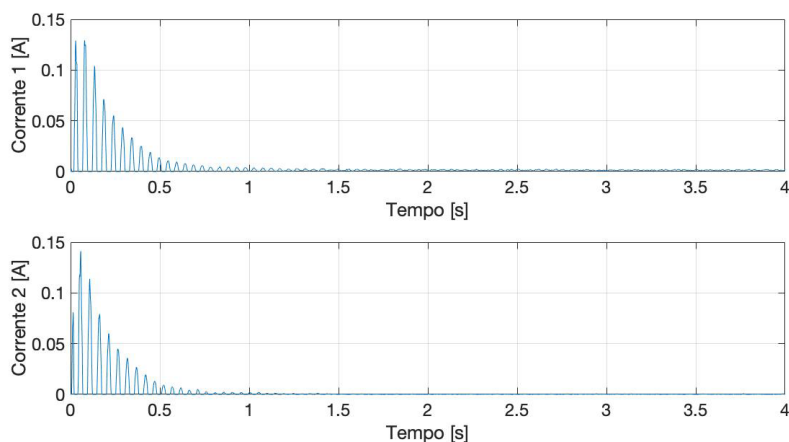


Figura 8: Corrente elétrica em função do tempo experimental.

4 | CONCLUSÕES

No presente trabalho foi possível avaliar a partir dos resultados de simulação computacional a notável relevância de um sistema de controle para atenuações de vibrações em vigas compósitas.

Nos resultados obtidos, foi possível verificar a atenuação de vibração da viga de material compósito, apresentando um tempo de acomodação em cerca de 0,5 a 1 [s]. Em contrapartida os resultados obtidos sem a aplicação de controle apresentaram a atenuação da viga em aproximadamente 6 [s].

Para a validação dos resultados numéricos, obteve-se respostas experimentais, e como foi disposto no presente trabalho, conclui-se que a metodologia de controle ativo de vibrações proposta é válida, visto que os resultados numéricos e experimentais demonstraram a validade da metodologia proposta.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da UTFPR pelo suporte e material que possibilitou a realização deste trabalho. O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq - Brasil (Processo 402581/2016-4).

REFERÊNCIAS

ALVES, MARCO TÚLIO SANTANA. **Avaliação numérica e experimental dos métodos ERA e ERA/OKID para a identificação de sistemas mecânicos**. Marco Túlio Santana Alves – 2005.

ASSUNÇÃO, E.; TEIXEIRA, M. C. M. **Projeto de sistemas de controle via LMIS usando o MATLAB**. Aplicações em Dinâmica e Controle, São Carlos, p. 350-368, 2001.

BORGES, A.S. **Controle Modal de Rotores com Mancais Magnéticos – Projeto Robusto**. 197 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**, Prentice-Hall do Brasil, São Paulo, Brazil, p. 788, 2003.

REDDY, J.N., **Mechanics of Laminated Composite Plates: Theory and Analysis, Second Edition**, CRC Press, London, UK, 1997.

XINKE, G. and HAIMIN, T. **Active vibration control of a cantilever beam using bonded piezoelectric sensors and actuators**. In: Electronic Measurement and Instruments, 2007. ICEMI'07. 8th International Conference on. IEEE, p. 4-85-4-88, 2007.

ZIPPO, A. **Active vibration control of a composite sandwich plate**. Composite Structures v.128, 100-114, 2015.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aerelasticidade 31

Atuador Eletromagnético 21, 22, 26

Automação Industrial 42, 45

B

Barras Comprimidas 56

C

Circuitos Shunt Multimodais 31

Controle Ativo de Vibrações 12, 15, 19, 21

Controle Passivo de Vibrações 31, 32

E

Enrijecedor Intermediário 56, 58, 59, 63, 64, 65, 66, 67, 68

ERA/OKID 12, 13, 15, 20

Estoque 70, 75

Evolução Diferencial (ED) 1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 30, 41, 55, 69, 75, 106

G

Gestão 70, 75, 108

I

Inteligência Artificial 1, 2

L

LQR (Regulador Linear Quadrático) 12, 13, 15, 21, 28, 29, 30

M

Materiais 13, 31, 32, 42, 43, 46, 47, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 102, 108

Material Compósito 12, 13, 16, 19, 35

Mecatrônica 42, 54

Microcontroladores 42, 44, 55

P

Padrão 24, 25, 26, 27, 70, 71, 73

Parafuso Estojo 70, 71, 72, 73, 74, 75

Perfis Formados a Frio 56, 57, 58, 69

R

Rede Neural Artificial (RNA) 1

Resistência à Compressão 56, 57, 58, 64, 65, 66, 67, 68

S

Sistema Dinâmico 1, 21

V

Viga Flexível 21, 22

ATIVIDADES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS NO CAMPO DA ENGENHARIA MECÂNICA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ATIVIDADES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS NO CAMPO DA ENGENHARIA MECÂNICA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 