

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

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.

Open access publication by Atena Editora



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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
 Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
 Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
 Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
 Prof^a Dr^a 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
 Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
 Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
 Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
 Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
 Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
 Prof^a Dr^a Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
 Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
 Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
 Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
 Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
 Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
 Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
 Prof^a Dr^a 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 Federal 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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
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 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

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Revisão: Os autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C691	<p>Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5983-259-0 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.590212107</p> <p>1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título. CDD 621</p>
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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

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. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica, materiais e automação, 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. Pode-se ainda estabelecer que estas características levam a alterações quase que imediatas no projeto, sendo uma modificação constante na busca por melhores respostas e resultados.

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

MODELAGEM DE UM MANIPULADOR PARALELO 3RRR PARA INCLUSÃO DE ELOS FLEXÍVEIS

André Vecchione Segura

Fernanda Thaís Colombo

Maíra Martins da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121071>


CAPÍTULO 2..... 9

MODELAGEM NUMÉRICA DE SUSPENSÃO DE ¼ DE VEÍCULO

Lucas Alves Torres

Lucas Messias Cunha de Araújo

João Gabriel Paulino de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121072>


CAPÍTULO 3..... 20

OTIMIZAÇÃO PARAMÉTRICA DA SUSPENSÃO DE UM CAMINHÃO COM RESTRIÇÃO DE CONFIABILIDADE

José Gilberto Picoral Filho

Ewerton Grotti

Herbert Martins Gomes


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121073>

CAPÍTULO 4..... 38

ANÁLISE DE FADIGA PARA OS AÇOS ABNT 1045 E ABNT 4140 PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Brenda Martins Fernandes

Reny Angela Renzetti


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121074>

CAPÍTULO 5..... 48

ANÁLISE PARAMÉTRICA DAS FREQUÊNCIAS DOMINANTES DE UM VIOLÃO ACÚSTICO

Marco Túlio Santana Alves

Felipe Iglesias


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121075>

CAPÍTULO 6..... 56

VORTEX-INDUCED VIBRATIONS MODEL WITH 2 DEGREES OF FREEDOM OF RIGID CYLINDERS NEAR A FIXED WALL BASED ON WAKE OSCILLATOR

Rafael Fehér

Juan Pablo Julca Avila

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121076>

CAPÍTULO 7.....67

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM COLETOR SOLAR DE TUBO EVACUADO ECCÊNTRICO

Mavd de Paula Ribeiro Teles

Kamal Abdel Radi Ismail

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121077>

CAPÍTULO 8.....79

RADIÔMETRO SOLAR DE BAIXO CUSTO USANDO A PLATAFORMA ABERTA ARDUINO

Elson Avallone

Cristiano Pansanato

Átila Negretti Faro

Dionísio Igor Alves da Silva

Jhonatas Wendel da Silva

Guilherme Biazzi Gonçalves

Mário César Ito

Rafael Paiva Garcia

Paulo César Mioralli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121078>


CAPÍTULO 9.....92

TURBULENT FORCED CONVECTION IN THE THERMAL ENTRANCE OF RECTANGULAR DUCTS: ANALYSIS FOR DIFFERENT MODELS OF VELOCITY DISTRIBUTION AND MOMENTUM EDDY DIFFUSIVITY

Dhiego Luiz de Andrade Veloso

Carlos Antônio Cabral dos Santos

Fábio Araújo de Lima


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121079>

CAPÍTULO 10.....109

SELEÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO EM UM ALGORITMO GENÉTICO DE CODIFICAÇÃO REAL APLICADO À OTIMIZAÇÃO DE UM CICLO RANKINE ORGÂNICO DE DUPLO ESTÁGIO

Guilherme de Paula Prado

Renan Manozzo Galante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210710>

CAPÍTULO 11.....124

DINÂMICA LINEAR PLANA DE UM TUBO ENGASTADO TRANSPORTANDO FLUIDO COM UMA MASSA ANEXADA NA EXTREMIDADE LIVRE

Milton Aparicio de Oliveira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210711>

CAPÍTULO 12..... 138

SENSOR CAPACITIVO PARA DETECÇÃO DE FRAÇÃO DE VAZIO EM ESCOAMENTO BIFÁSICO ÁGUA-AR

Anderson Giacomeli Fortes

Jeferson Diehl de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210712>

CAPÍTULO 13..... 150

STUDY OF STATIC AND DYNAMIC LEVELS OF UNDERGROUND AQUIFER WELLS TO MAINTAIN THEIR BALANCE LEVEL IN THE PROVINCE OF ICA - 2014

Primitivo Bacilio Hernández Hernández

Omar Michael Hernández García


Aníbal Bacilio Hernández García

Jessenia Leonor Loayza Gutiérrez

Walter Merma Cruz

Marcos Luís Quispe Pérez

Edward Paul Sueros Ticona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210713>

CAPÍTULO 14..... 164

SISTEMAS COMPUTACIONAIS INTELIGENTES E CONTROLE AVANÇADO COM ÊNFASE EM MAPAS COGNITIVOS FUZZY EM SISTEMAS DINÂMICOS APLICADOS EM DIFERENTES ÁREAS, COM ÊNFASE EM ROBÓTICA

Márcio Mendonça

Marina Souza Gazotto

Marina Sandrini

Marta Rúbia Pereira dos Santos


Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Fábio Rodrigo Milanez

Lillyane Rodrigues Cintra

Francisco de Assis Scannavino Junior

Wagner Fontes Godoy

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210714>

CAPÍTULO 15..... 181

ROBÔ AUTÔNOMO PARA ESTACIONAMENTO

Lucas Netto Luzente de Almeida

Graziele Barreto da Costa Almeida

Heitor Gomes de Souza Batista

Armando Carlos de Pina Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210715>

CAPÍTULO 16..... 193

PROTOTIPAGEM RÁPIDA 3D APLICADA AO ÂMBITO UNIVERSITÁRIO

Vitória de Oliveira Mattos

Lucas Ruzzon de Jesus Ortega

Rafael Issao Fukai

Milena de Sousa Ferreira
João Pedro Monterani Laguna
Marcelo Sampaio Martins


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210716>

CAPÍTULO 17..... 199

**UMA SOLUÇÃO ANALÍTICA PARA EFEITOS MECÂNICOS EM TUMORES SÓLIDOS
AVASCULARIZADOS**

Francisco Jose Vargas da Silva

Fernando Pereira Duda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210717>

SOBRE OS ORGANIZADORES 206

ÍNDICE REMISSIVO..... 207

MODELAGEM NUMÉRICA DE SUSPENSÃO DE $\frac{1}{4}$ DE VEÍCULO

Data de aceite: 01/07/2021

Data da submissão: 05/05/2021

Lucas Alves Torres

Universidade de Brasília - FGA.

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/1718029094275223>

Lucas Messias Cunha de Araújo

Universidade de Brasília - FGA.

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/5372606273101919>

João Gabriel Paulino de Souza

Universidade de Brasília - FGA.

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/7829226619790415>

RESUMO: Os estudos em dinâmica vertical de suspensão são normalmente desenvolvidos a partir do modelo de $\frac{1}{4}$ de veículo com dois graus de liberdade, um para a massa suspensa e outro para a não suspensa. A partir desta metodologia, o estudo propõe um novo grau de liberdade com a inclusão do motor, que corresponde uma das principais fontes de vibração do veículo, e, portanto, é incluso o efeito dos coxins. O principal objetivo do estudo com três graus de liberdade é levantar as funções de transferência no domínio da frequência para avaliar os efeitos combinados de motor e pista na massa suspensa, onde as frequências são dirigidas aos passageiros e ainda comparar efeitos de coxins convencionais e hidráulicos.

PALAVRAS - CHAVE: Frequência. Suspensão.

Função de transferência. Graus de liberdade. Coxim.

NUMERICAL MODELING OF $\frac{1}{4}$ VEHICLE SUSPENSION

ABSTRACT: The studies of vertical suspension dynamics are normally developed from de $\frac{1}{4}$ of vehicle model with two degrees of freedom, one for sprung mass and one of unsprung mass. From this methodology, the study proposes a new degree of freedom with the inclusion of the engine, which corresponds to one of the main sources of vibration of the vehicle, and, therefore, the effect of engine mounts is included. The main objective of the three-degrees of freedom study is to get the transfer functions in the frequency domain to assess the combined effects of the engine and the road on the sprung mass, where frequencies are directed to passengers and compare effects of conventional and hydraulic engine mounts.

KEYWORDS: Frequency. Suspension. Transfer function. Degrees of freedom. Engine mounts.

1 | INTRODUÇÃO

O sistema de suspensão dos veículos é responsável para manutenção do conforto em condições variadas de pista. A dissipação de vibrações providas de diversas fontes pode ser equacionada através de modelos operacionais como o de $\frac{1}{4}$ de veículo.

Com o avanço das tecnologias de fabricação e a concepção de novos materiais, os fabricantes de automóveis buscam usar

materiais mais leves no design dos veículos visando reduzir o consumo energético. Essa redução de massa combinada com a elevada potência dos novos motores dá origem a estruturas mais vulneráveis à propagação de vibrações, principalmente aquelas provenientes da pista (BELGACEM, 2009).

O modelo é amplamente usado por pesquisadores por ser de baixa complexidade. Como visto na Fig. 1, o modelo consiste em dois conjuntos massa-mola-amortecedor, massa suspensa, é considerada apenas um quarto da massa acima da suspensão, e a massa não suspensa, considera aquilo que está abaixo da suspensão (KANJANAVAPASTIT, 2013).

O modelo é limitado ao estudo do comportamento dinâmico apenas na direção vertical. Ainda assim, utilizando das equações aqui citadas é possível avaliar vibrações produzidas na massa suspensa como resultado de solicitações aplicadas pelo perfil de pista, por irregularidades no conjunto roda-pneu ou por forças aplicadas diretamente a massa suspensa (GILLESPIE, 1992).

O equacionamento agregado de um modelo de motor com suas frequências de excitação normalmente é avaliado a parte deste conjunto.

2 | METODOLOGIA

O modelo de $\frac{1}{4}$ de veículo introduz uma simplificação da suspensão eficiente e ágil para o estudo de dinâmica vertical, principalmente na obtenção de respostas a vibração e ruídos. O controle dessas respostas em função do tempo e sob condições variadas de pista é um grande desafio para a engenharia atual, neste quesito, a identificação de parâmetros e sinais para o processamento é necessária e possui diversas formas de ser abordada (KANJANAVAPASTIT, 2013).

Considera-se que a excitação, tanto de pista quanto de motor, seja harmônica e que o sistema dinâmico se comporte linearmente. A representação da excitação harmônica será feita na forma não complexa a fim de excluir da análise a parcela negativa da integração e as variáveis complexas. Desta maneira, para o tratamento das funções, torna-se interessante o equacionamento do domínio do tempo para o da frequência do sistema dinâmico com o uso da transformada de Laplace.

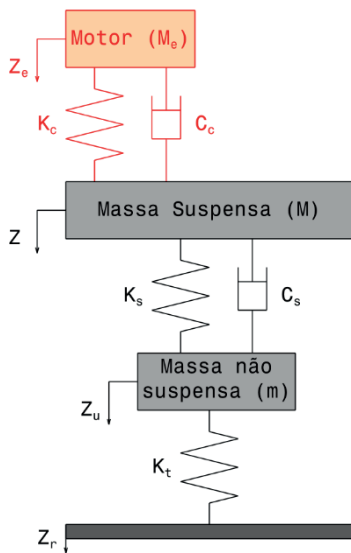


Figura 1. Esquemático do modelo de 1/4 de veículo.

Em primeiro momento, uma das formas mais simples de modelo de suspensão normalmente utilizadas para estudos conceituais é modelo com dois graus de liberdade que compreende uma massa suspensa, caracterizada pelos componentes acima da suspensão como chassi, carroceria, banco e passageiro, e uma massa não suspensa, caracterizada pelos componentes da suspensão como rodas, pneus, bandejas e amortecedores (HAPPIAN-SMITH, 2002).

Como implementação, esse estudo incluirá um grau de liberdade correspondente ao motor do veículo suspenso por coxins com rigidez e amortecimento especificados. O esquemático geral pode ser observado na Fig. 1 e se tem M como massa suspensa, m como massa não suspensa, M_e como massa do motor, K_t como rigidez do pneu, K_s como rigidez da mola da suspensão, K_c como rigidez do coxim do motor, C_s como o coeficiente de amortecimento do amortecedor da suspensão e C_c como o coeficiente de amortecimento do coxim do motor. As grandezas Z_r , Z_u , Z e Z_e são os respectivos deslocamentos da pista, da massa não suspensa, da massa suspensa e do motor. A formulação da força resultante nos elementos de massa ocorre conforme as Eq. (1), Eq. (2) e Eq. (3).

$$\sum F_u = m \cdot \frac{d^2 Z_u(t)}{dt^2} \quad (1)$$

$$\sum F = m \cdot \frac{d^2 Z(t)}{dt^2} \quad (2)$$

$$\sum F_e = m \cdot \frac{d^2 Z_e(t)}{dt^2} \quad (3)$$

Com o balanceamento das forças geradas pelos componentes de conexão entre as massas, o desenvolvimento completo que inclui a rigidez e o amortecimento dos componentes pode ser vista nas Eq. (4), Eq. (5) e Eq. (6), com estas no domínio do tempo.

$$0 = m \cdot \ddot{Z}_u + K_t(Z_u - Z_r) + K_s(Z_u - Z) + C_s(\dot{Z}_u - \dot{Z}) \quad (4)$$

$$0 = M \cdot \ddot{Z} + K_s(Z - Z_u) + C_s(\dot{Z} - \dot{Z}_u) + K_c(Z - Z_e) + C_c(\dot{Z} - \dot{Z}_e) \quad (5)$$

$$0 = M_e \cdot \ddot{Z}_e + K_c(Z_e - Z) + C_c(\dot{Z}_e - \dot{Z}) \quad (6)$$

A partir do equacionamento especificado, é desenvolvido a resposta em frequência através da transformada de Laplace e manipulação da equação, tal que o sinal de entrada corresponderá ao denominador e o sinal de saída ao numerador da função de transferência desejada como mostrado nas Eq. (7), Eq. (8) e Eq. (9).

$$\frac{Z(s)}{Z_r(s)} \quad (7)$$

$$\frac{Z(s)}{Z_e(s)} \quad (8)$$

$$\frac{Z_e(s)}{Z_r(s)} \quad (9)$$

3 | CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO E DA PISTA

As condições iniciais são consideradas nulas em primeira instância. Logo, as funções de transferência são preenchidas com os dados do veículo apresentado na Tab. 1, correspondente a valores comuns de veículo de passeio convencional com duas opções de coxins para o suporte do motor.

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Massa do motor	M_e	100	kg
Rigidez do coxim	K_c	350	N/mm
Amortecimento coxim convencional	C_c	1	Ns/mm
Amortecimento coxim hidráulico		5	Ns/mm
Massa suspensa de ¼ de veículo	M	435	kg
Rigidez da mola	K_s	20	N/mm
Amortecimento do amortecedor	C_s	2	Ns/mm
Massa não suspensa de ¼ de veículo	m	40	kg
Rigidez do pneu	K_t	180	N/mm

Tabela 1. Valores de entrada para o modelo matemático referentes a característica do veículo.

Para a amplitude dos sinais de pista e motor será adotada uma variação de 200 milímetros de curso de trabalho da suspensão e um deslocamento do motor isolado de 20 milímetros em vibração.

Os coxins convencionais são comumente feitos em borracha vulcanizada o que compreende uma determinada rigidez ao componente e condiciona o amortecimento apenas à dissipação que a borracha é capaz de realizar. Os coxins hidráulicos por sua vez, além da construção em borracha vulcanizada, possuem câmaras cheias com óleo e interligadas por orifícios de modo que, ao ser comprimida, a borracha transfere o fluido de uma câmara para outra, o que causa, devido a velocidade do escoamento, a retenção do movimento e por consequência o amortecimento. Por terem construções parecidas, considera-se a rigidez dos coxins como equivalentes.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados interessados partem do preenchimento das funções de transferência com os dados do veículo mencionados anteriormente. Assim, é realizado através de funções pré-estabelecidas no *software MatLab* as formulações completas das funções de transferência, tanto para o coxim convencional quanto para o hidráulico.

As funções são diretamente relacionadas as entradas e saídas dos sinais. Para a excitação da pista, as Eq. (10) e Eq. (11) fornecem a resposta do sinal no motor e as Eq. (12) e Eq. (13) fornecem a resposta do sinal na massa suspensa, enquanto para a excitação do motor, as Eq. (14) e Eq. (15) fornecem a resposta do sinal na massa suspensa. Nos três casos são apresentados os resultados para o coxim convencional e para o coxim hidráulico.

$$\frac{3.6 \cdot 10^8 s + 3.6 \cdot 10^9}{1.74 \cdot 10^4 s^4 + 1.15 \cdot 10^6 s^3 + 1.118 \cdot 10^8 s^2 + 2.06 \cdot 10^9 s + 7.36 \cdot 10^{10}} \quad (11)$$

$$\frac{3.6 \cdot 10^{11} s^2 + 1.26 \cdot 10^{14} + 1.26 \cdot 10^{15}}{1.74 \cdot 10^6 s^6 + 1.164 \cdot 10^8 s^5 + 1.742 \cdot 10^{10} s^4 + 5.463 \cdot 10^{11} s^3 + 3.845 \cdot 10^{13} s^2 + 1.332 \cdot 10^{14} s + 1.26 \cdot 10^{15}} \quad (12)$$

$$\frac{1.8 \cdot 10^{12} s^2 + 1.26 \cdot 10^{14} s + 1.26 \cdot 10^{15}}{1.74 \cdot 10^6 s^6 + 2.02 \cdot 10^8 s^5 + 2.202 \cdot 10^8 s^4 + 2.202 \cdot 10^{10} s^4 + 9.775 \cdot 10^{11} s^3 + 3.989 \cdot 10^{13} s^2 + 1.332 \cdot 10^{14} s + 1.26 \cdot 10^{15}} \quad (13)$$

$$\frac{2 \cdot 10^5 \cdot s^3 + 2.4 \cdot 10^7 s^2 + 1.7 \cdot 10^9 + 7 \cdot 10^{10}}{1.7 \cdot 10^4 s^4 + 1.15 \cdot 10^6 s^3 + 1.118 \cdot 10^8 s^2 + 2.06 \cdot 10^9 s + 7.36 \cdot 10^{10}} \quad (14)$$

$$\frac{2 \cdot 10^5 \cdot s^3 + 2.4 \cdot 10^7 s^2 + 1.7 \cdot 10^9 + 7 \cdot 10^{10}}{1.7 \cdot 10^4 s^4 + 1.15 \cdot 10^6 s^3 + 1.118 \cdot 10^8 s^2 + 2.06 \cdot 10^9 s + 7.36 \cdot 10^{10}} \quad (15)$$

Nota-se que as funções obtidas possuem graus elevados de polinômios, característica essencial que define o formato da função com a variação da frequência.

4.1 Diagrama de Bode

A partir das funções de transferência podem ser gerados gráficos de Bode. Estes permitem representar as funções com a variação da entrada no espectro da frequência para visualizar a fase e a magnitude do sinal. A fase, em graus, está relacionada ao ganho fasorial que o sinal sofre enquanto a intensidade, em decibéis, se refere a intensidade ou potência relativa do sinal.

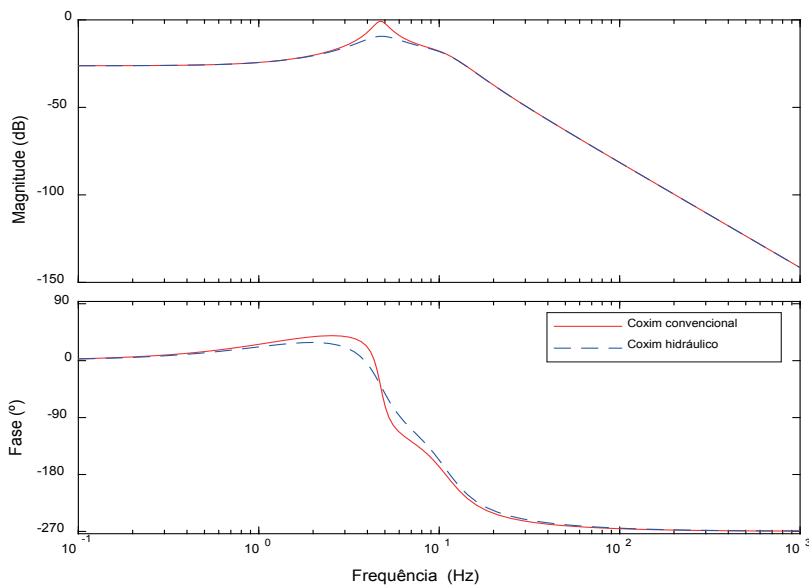


Figura 2. Diagrama de Bode da função de transferência da pista para a massa suspensa com coxim convencional e com coxim hidráulico.

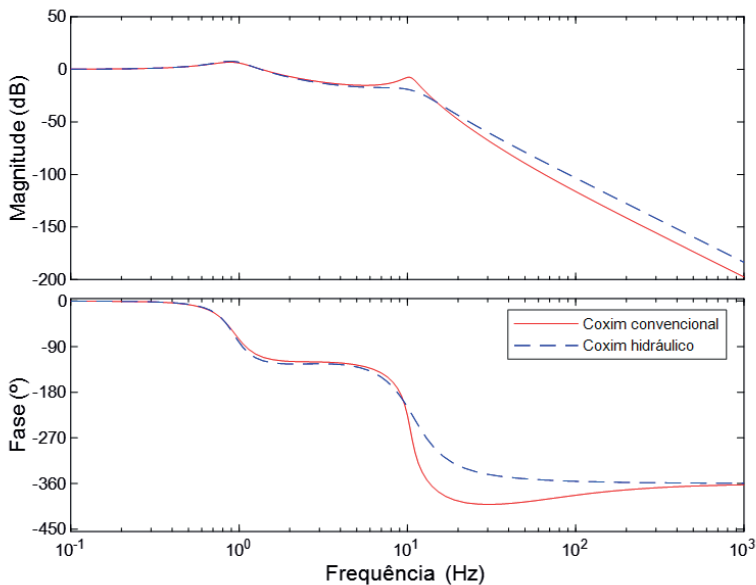


Figura 3. Diagrama de Bode da função de transferência da pista para o motor com coxim convencional e com coxim hidráulico.

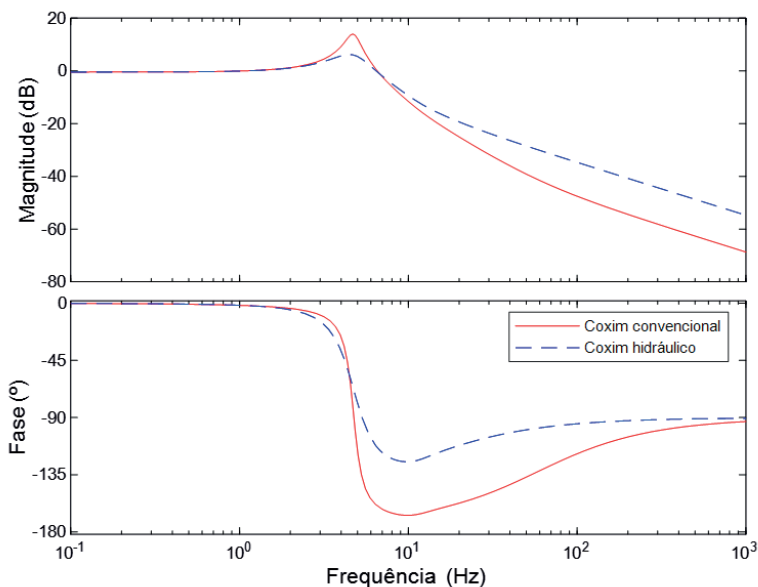


Figura 4. Diagrama de Bode da função de transferência do motor para a massa suspensa com coxim convencional e com coxim hidráulico.

Os diagramas representados nas Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4 possuem formatos semelhantes, iniciam com fases e magnitudes estabilizadas até uma frequência na qual

a magnitude aumenta e ocorre uma defasagem e, então, a fase volta à estabilidade e a magnitude decresce.

Os picos formados nos gráficos identificam as frequências naturais dos sistemas, quando a amplitude se torna significativamente maior que zero, a transferência de vibrações pode ser amplificada durante a exposição a esta frequência, assim, intensifica a magnitude e provoca deformações permanentes no sistema, fenômeno conhecido por ressonância.

É importante notar o comportamento do coxim hidráulico na suavização das curvas que formam os picos de magnitude nos diagramas com relação ao coxim convencional, esta característica permite que o coxim hidráulico sofra deformações menos incisivas durante a exposição do sistema a alguma frequência natural.

4.2 Resposta À Frequência

Através do esquemático simplificado no *Simulink*, apresentado na Fig. 5, é possível implementar os sinais de excitação de pista e motor e observar as respostas das funções de transferência que influenciam no comportamento vibracional da massa suspensa.

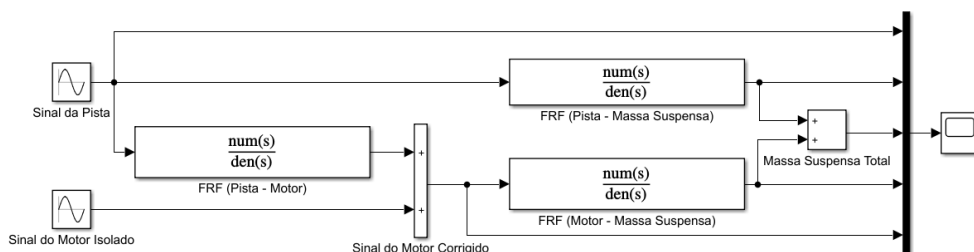


Figura 5. Modelo montado no software *Simulink* para a obtenção do diagrama de Bode.

Conforme as amplitudes de sinais mencionadas nas características do veículo e da pista, é proposta a utilização de valores de frequências comumente solicitada em veículos, com 7 Hz para excitação de pista e 28 Hz para excitação de motor. A Fig. 6 apresenta as frequências de excitação aplicadas assim como a correção do sinal que provém da transferência de vibração da pista para o motor montado com coxim convencional ou hidráulico.

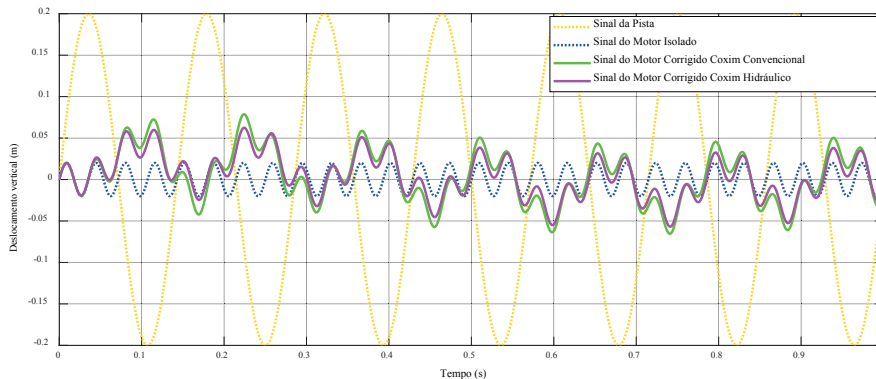


Figura 6. Sinais de pista a 7 Hz e de motor a 28 Hz e a correção do sinal do motor influenciado pela pista com coxim convencional e hidráulico.

Nota-se que as respostas a vibração da pista para o motor com coxim convencional possuem maior amplitude do que com coxim hidráulico, o que demonstra a melhor dissipação de vibrações no uso de coxim hidráulico. Por outro lado, a Fig. 7 apresenta o comportamento das funções que transferem as vibrações do motor e da pista para a massa suspensa assim como sua vibração resultante. É importante notar que os sinais resultantes da pista e do motor para massa suspensa se apresentam aproximadamente em fases opostas, o que traduz o sinal de resposta final como uma diferença entre estes.

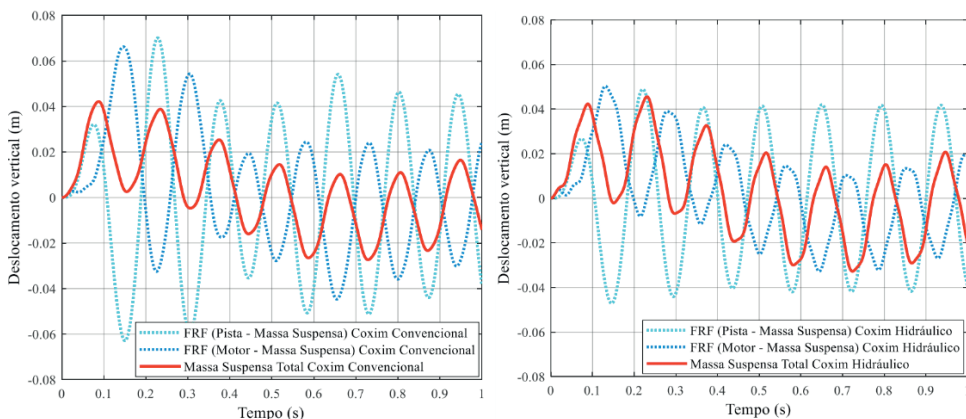


Figura 7. Resposta das funções de transferência de excitação do motor e da pista para a massa suspensa com coxim convencional e hidráulico.

Enfim, ao comparar os sinais de resposta da massa suspensa (Fig. 8), verifica-se que os limites máximos e mínimo da amplitude do deslocamento em módulo da resposta com coxim convencional é menor do que da resposta com coxim hidráulico. As circunstâncias da simulação, portanto, preveem o melhor comportamento do coxim convencional para

dissipação de vibrações.

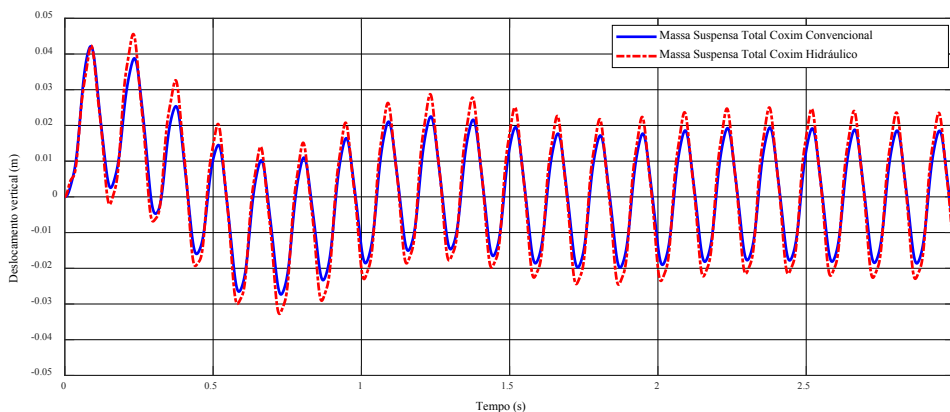


Figura 8. Comparativo entre as respostas dos do coxim convencional e do coxim hidráulico.

5 | CONCLUSÃO

A abordagem proposta a respeito do modelo de $\frac{1}{4}$ de veículo, com a introdução do terceiro grau de liberdade, favoreceu o entendimento a respeito das frequências naturais transmitidas aos ocupantes, por meio da carroceria. Algo importante a ser considerado em um mercado onde cada vez mais se procura conforto e segurança.

A análise representa um avanço no desenvolvimento de teorias que orientem o estudo de vibrações de estruturas automotivas. No entanto, a complexidade das funções de transferência trouxe um grande desafio, por causa da quantidade de variáveis a serem manipuladas.

Ademais, os resultados obtidos com a variação dos tipos de suporte do motor entre coxins convencionais e hidráulicos se mostraram diferentes. A diferença observada nas respostas aos sinais de excitação da pista e do motor demonstram o quão aprofundados podem ser os estudos a respeito da concepção desses suportes. Os coxins ativos por exemplo, aplicados em veículos de categorias mais luxuosas, são capazes de variar suas características conforme os regimes de funcionamento para obter melhores respostas diante dos sinais oriundos do motor.

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar a implementação dos coxins ativos no terceiro grau de liberdade aplicado ao modelo $\frac{1}{4}$ de veículo e o estudo das funções que regem a variação das suas características na busca pelo melhor comportamento possível.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao professor André Murilo (Engenheiro mecânico) da Universidade de Brasília Campus Gama e o Vinicius Leal (Engenheiro mecânico) pelo incentivo e complementação dos dados desta pesquisa.

RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

BELGACEM, Walid, MASSON, Patrice & BERRY, Alain. **Optimal active vibration control on a car for cancellation of road noise disturbance**. 2009

DIXON, J. C. **Suspension geometry and computation**. John Wiley & Sons, United Kingdom, 2009.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. 1992.

HAPPIAN-SMITH, J. **An Introduction to Modern Vehicle Design**. Butterworth-Heinemann, 2002.

KANJANAVAPASTIT, A., THITINARUEMIT, A. **Estimation of a Speed Hump Profile Using Quarter Car Model**. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2013.

MAHER, D., Young, P. **Vehicle System Dynamics An insight into linear quarter car model accuracy**. 2011.

NICOLAZZI, L. C., da ROSA, E., LEAL, L. C. M. **Uma introdução à modelagem quase-estática de automóveis**. GRANTE Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, 2012.

NOURI, K., LOUSSIFI, H., & BRAIEK, N. B., 2011. **Modelling and Wavelet-Based Identification of 3-DOF Vehicle Suspension System**. Journal of Software Engineering and Applications, 2011.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aços 10, 38, 39, 40, 46

Algoritmo Genético 11, 109, 111, 112, 174

Arduino 11, 79, 80, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 172, 175, 190, 192

C

Campo de temperatura 92, 93

CitationID 112, 116

Citationitems 168

Confiabilidade 10, 20, 21, 22, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 79

Controle Adaptativo 165

Convecção Forçada 92, 93

E

Elementos Finitos 10, 1, 2, 6, 21, 38, 39, 45, 46, 47, 48, 50, 55, 128, 129, 131, 137

Energia renovável 67

Energia Solar 67, 79, 90, 91

EPI's 193, 196, 198

Escoamento bifásico 12, 138, 139, 140, 148

Escoamento Turbulento 92, 93

Estacionamento Autônomo 181

F

Fadiga 10, 21, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 125

Fluido-Estrutura 57, 124

Fração de vazio 12, 138, 139, 140, 142, 145, 146, 147, 148, 149

Frequência 6, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 21, 26, 48, 49, 52, 116, 125, 133, 135, 140, 142, 143, 145, 146

Função de transferência 9, 12, 14, 15

G

Graus de liberdade 9, 11, 23

I

Impressão 3D 193, 196

Instrumentação 80, 91, 144, 190

L

Lógica Fuzzy 165

M

Manipulador Flexível 1, 2

Manipulador Paralelo 10, 1, 2, 3, 6

Matriz 128, 129, 130, 131, 135, 166, 170, 187, 199, 200, 201, 203, 205

Modelo Multicorpos 1, 2, 6

N

Nusselt 92, 93, 99, 100, 101, 102, 103, 106

O

Otimização 9, 10, 11, 20, 21, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 48, 49, 55, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 170, 175, 177, 192

P

PET 193, 194, 195, 198

Piranômetro 80, 81

Projeto mecatrônico 181

Protótipos 39, 165, 167, 172, 177

R

Radiação térmica 80, 82

Radiômetro 11, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91

Redes Neurais Artificiais 164, 165, 166, 168

S

Seleção 109, 111, 112, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 170, 171, 176, 185

Sensor capacitivo 12, 138, 140, 145

Simulação 9, 2, 3, 6, 17, 20, 25, 28, 35, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 135, 167, 169

Sistemas Computacionais Inteligentes 12, 164, 168

Sistemas Dinâmicos 12, 124, 164, 167

Sistemas Térmicos 109, 111

Stress 199

Suspensão 10, 9, 10, 11, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 184

T

Tensão 2, 3, 42, 43, 44, 45, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 187, 199, 200, 201, 203, 204

Tumor 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205

V

Vibração 1, 2, 5, 9, 10, 13, 16, 17, 20, 21, 26, 50, 133

Violão 10, 48, 49, 50, 51, 54

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



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



[facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

Atena
Editora

Ano 2021

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA MECÂNICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



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



facebook.com/atenaeditora.com.br