

# 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
 Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
 Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
 Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.590212107">https://doi.org/10.22533/at.ed.590212107</a></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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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**

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

*Data de aceite: 01/07/2021*

*Data de submissão: 06/05/2021*

**Anderson Giacomeli Fortes**

Centro Universitario da Serra Gaúcha  
Caxias do Sul, RS  
<http://lattes.cnpq.br/3117811927376259>

**Jeferson Diehl de Oliveira**

Centro Universitario da Serra Gaúcha  
Caxias do Sul, RS  
<http://lattes.cnpq.br/0014747062548738>

**RESUMO:** escoamentos bifásicos possuem ampla aplicação na indústria, estando presente em processos como transformação de energia, condensação, evaporação, extração e produção de petróleo, entre outros. Eles têm como característica o escoamento, dentro de um tubo, de duas substâncias imiscíveis e de diferentes fases. Um parâmetro importante utilizado para a compreensão dos padrões de escoamentos é a fração de vazio, que consiste em determinar a proporção de gás da mistura gás-líquido. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sensor capacitivo capaz de detectar a proporção de fração de vazio presente em escoamentos bifásicos água/ar no interior de um tubo com diâmetro interno de 3,0mm. Foi desenvolvido a estrutura mecânica de suporte aos eletrodos de cobre assim como o hardware do circuito eletrônico, que comporta os circuitos de amplificação, filtro e tratamento do sinal obtido pelo sensor. Os resultados mostram que o sensor

capacitivo desenvolvido se mostra eficiente para a detecção e medida da fração de vazio em escoamento bifásico água-ar.

**PALAVRAS - CHAVE:** Fração de vazio, Sensor capacitivo, Escoamento bifásico.

### CAPACITIVE SENSOR FOR DETECTION OF VOID FRACTION IN BIPHASIC WATER-AIR FLOW

**ABSTRACT:** Two-phase flows have wide application on industry, present in processes such as power transformation, condensation, evaporation, extraction and oil production, among others. They are characterized by the flow, inside a tube, with two immiscible substances and different phases. An important parameter used to understand flow patterns is the void fraction, which consists of determining the proportion of the gas-liquid mixture. This work aims to develop a capacitive sensor capable of detecting a proportion of void fraction presented in water/air two-phase flows inside a tube with an internal diameter of 3.0 mm. A mechanical support structure for the copper electrodes was developed, as well as the electronic circuit hardware, which includes the amplification, filter and sensor information signal processing circuits. The results show that the capacitive sensor is efficient for the detection and measurement of the void fraction in two-phase water-air flow.

**KEYWORDS:** Void fraction, Capacitive sensor, Two-phase flow.



## 1 | INTRODUÇÃO

Na indústria, o escoamento bifásico, que consiste em um escoamento com duas fases imiscíveis dentro de um tubo, está presente em diversos processos como geração de energia, condensação, evaporação, extração e produção de petróleo.

Fração de vazio consiste em determinar a proporção de gás da mistura gás-líquido (Crowe; Michaelides, 2006), sendo ela uma medida crucial para compreensão do efeito dos padrões de escoamento sobre a queda de pressão e transferência de calor (Ishii; Hibiki, 2011).

A literatura vem apresentando diversos estudos propondo novas tecnologias para o desenvolvimento de sensores capazes de detectar fração de vazio e outros parâmetros, como flutuações de temperatura, pressão e velocidade do fluxo em escoamentos bifásicos. Dentre tais tecnologias, destacam-se os sensores ópticos, sensor wire-mesh, sensores ultrassônicos e sensores capacitivos (Wang 2020).

Sensores óticos englobam uma ampla gama de sensores, os mais comuns utilizam fontes luminosas, como LEDs ou laser, posicionados de um lado do tubo que terá o escoamento, sendo essas as fontes emissoras. Do lado oposto do duto temos as fontes receptoras, que podem ser feitos com fotodiodos ou sensores de foto resistência LDR (Vendrusculo, 2016). Já o sensor *wire-mesh* é um tipo de tomógrafo invasivo que utiliza a diferença de impedância elétrica das fases para medir a fração de vazio. O sensor é formado por duas malhas de condutores paralelos inseridas na seção transversal do tubo, possibilita a medição com resolução na ordem de 2mm (Da Silva, 2008). Outro método de medição que vem sendo bastante explorado recentemente são os sensores baseados em ultrassom, sendo que o mesmo é formado por um sistema que emite ondas de ultrassom da ordem de 1MHz e outro que coleta as ondas refletidas pelo escoamento (Dong, 2015).

Estudos para desenvolvimento de sensores de fração de vazio, utilizando o método capacitivo, vêm sendo apresentados há alguns anos, devido à sua natureza não intrusiva de medição. Os sensores capacitivos são formados, em sua maioria, por duas placas paralelas de cobre colocadas ao redor do duto por onde passa o escoamento, sendo que essas placas são chamadas de eletrodos, conforme mostrado na Fig. 1. Quando se tem variação de fração de vazio no escoamento presente no duto a capacitância do sensor se altera e, fazendo uso de circuitos eletrônicos, é possível medir esta variação de capacitância e consequentemente estimar a fração de vazio. Como o valor de capacitância varia de 0.1 a 10 pF, é necessário a detecção de variação na ordem de 1fF para determinar a fração de vazio. Nota-se que pôr o sensor apresentar uma variação de capacitância extremamente baixa é necessário utilizar técnicas de amplificação e tratamento do sinal para uma possível leitura (Libert, 2013).

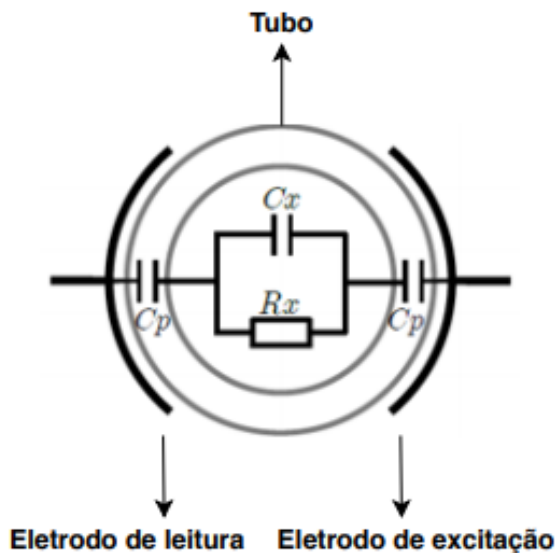


Figura 1. Modelo de um sensor capacitivo (Libert, 2013).

Analisando a Fig. 1, nota-se que a impedância entre os dois eletrodos é dada pelo circuito equivalente composto por  $C_p$ ,  $C_x$  e  $R_x$ . Caso o fluido seja não condutivo de eletricidade ou quando é aplicado um sinal de alta frequência nos eletrodos, a resistência  $R_x$  terá valor próximo a infinito, sendo assim ignorada. Neste caso, a capacitância entre os dois eletrodos é a capacitância do fluido em série com as capacitâncias das paredes do tubo (Libert, 2013).

Neste estudo será desenvolvido um sensor capacitivo para medir a fração de vazio em um escoamento bifásico água-ar em tubo vertical com diâmetro de 3mm, com a possibilidade de leitura em diversos tipos de escoamentos.

## 2 | METODOLOGIA

Nesta seção é apresentado o desenvolvimento do sensor assim como os aparatos experimentais utilizados nos testes e validação. Primeiramente foi desenvolvido a estrutura mecânica para encapsular os eletrodos de excitação e de medição e após foi desenvolvido o hardware da placa eletrônica, composta pelo esquema eletrônico e pela PCI (placa de circuito impresso).

### 2.1 Desenvolvimento da estrutura mecânica

Foi desenvolvido uma estrutura mecânica para envolver o tubo onde está presente o escoamento. A função dessa peça é receber os eletrodos de cobre e, conforme já dito, ser posicionada ao redor do tubo para que seja possível, de forma fácil, ajustar a posição do sensor. Esta peça foi projetada utilizando o software Solidworks® e é formada por duas

partes que quando posicionadas formam a estrutura de suporte aos eletrodos do sensor, conforme mostrado na Fig. 2. Esta estrutura foi fabricada utilizando uma impressora 3D e tem comprimento de 50mm e diâmetro interno de 6mm.

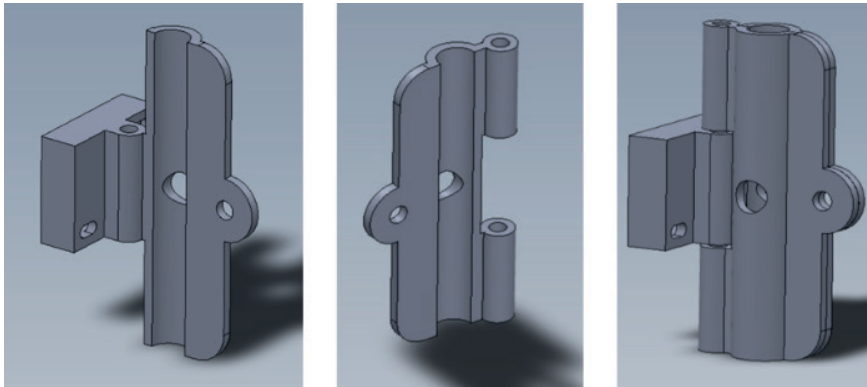


Figura 2. Estrutura mecânica de suporte aos eletrodos, do autor.

Após a fabricação da estrutura mecânica, foram colados os eletrodos de excitação e medição na parte interna da peça, para os mesmos estarem o mais próximo possível do tudo. Posteriormente, foi soldado os fios pelo furo central da peça. Também foram colados eletrodos aterrados na parte externa da estrutura para minimizar os efeitos de ruídos no sinal medido, conforme mostra a Fig. 3.

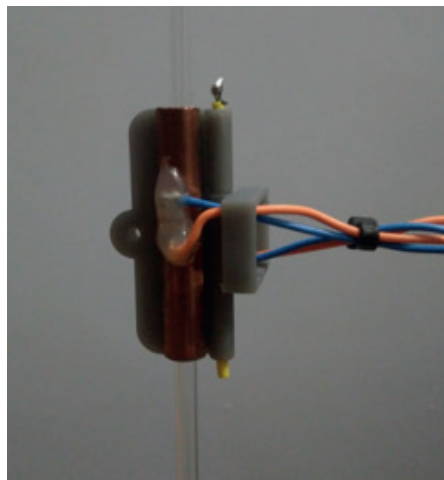


Figura 3. Sensor com os eletrodos, do autor.

## 2.2 Desenvolvimento do Hardware

O circuito desenvolvido pode ser dividido em quatro etapas principais, sendo que essas etapas estão exemplificadas no diagrama de blocos da Fig. 4 e serão abordadas individualmente a seguir.

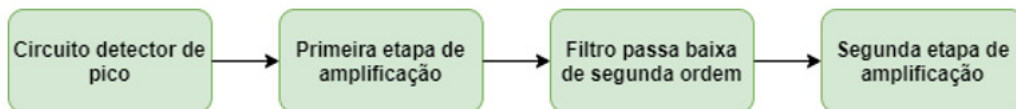


Figura 4. Diagrama de blocos dos circuitos desenvolvidos, do autor.

### 2.2.1 Circuito detector de pico

O sinal retornado do sensor é senoidal de alta frequência e, conforme a proporção de fração de vazio varia dentro do tubo, consequentemente a capacitância do sensor se altera e o pico de tensão da onda deste sinal varia. Essa variação é obtida com o circuito apresentado na Fig. 5. Neste circuito, temos um diodo para ceifar a parte negativa da onda e, após esta etapa, um capacitor é carregado e mantém o nível de pico de tensão da onda. Nesta etapa, foi utilizado um diodo BAS140W ultra fast, um capacitor de 10nF e um resistor de 1k ohm.

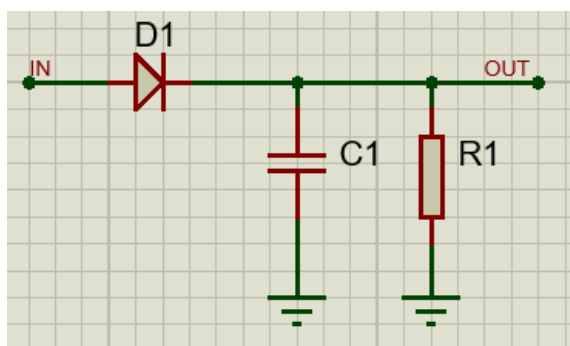


Figura 5. Circuito detector de pico, do autor.

### 2.2.2 Primeira etapa de amplificação

Na primeira etapa de amplificação foi utilizado um amplificador não inversor com o circuito integrado OPA2350, sendo que o sinal de saída tem um ganho de 38 vezes em relação ao sinal de entrada. A escolha por esse componente se deu pela sua elevada largura de banda (*Bandwidth*) e pela sua baixa tensão de deslocamento de entrada (*voltage input offset*). O circuito do amplificador inversor é mostrado na Fig. 6.

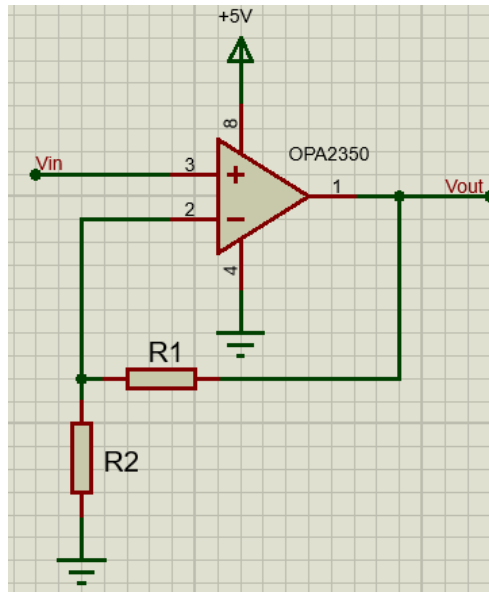


Figura 6. Amplificador não inversor, do autor.

### 2.2.3 Filtro passa baixa

Após as etapas de amplificação, foi desenvolvido um filtro passa baixa ativo de segunda ordem, conforme mostrado na Fig. 7, para atenuar os sinais providos de interferências (ruídos) no sinal retornado do sensor. Neste caso, as fontes de interferência mais comum são as capacitâncias parasitas e da fonte de alimentação. Foi utilizado o amplificador operacional OPA2350 e a frequência de corte do filtro foi ajustada para 20 Hz.

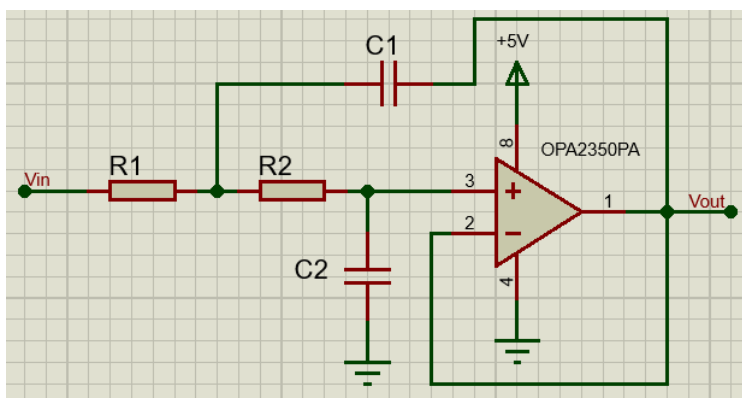


Figura 7. Filtro passa baixa ativo de segunda ordem, do autor.

### 2.2.4 Segunda etapa de amplificação

Na segunda etapa de amplificação foi utilizado um amplificador de instrumentação. O amplificador de instrumentação é um amplificador diferencial que utiliza dois buffers na entrada para evitar interferência no sinal lido, deixando a impedância de entrada extremamente alta. O sinal retornado do sensor foi amplificado diferencialmente com relação a um valor de tensão selecionado em um potenciômetro. O amplificador utilizado foi o circuito integrado INA826.

## 2.3 Desenvolvimento do esquema eletrônico e da PCI (placa de circuito impresso)

Utilizando o software *Altium Designer 2019*® foram desenvolvidos o esquema eletrônico e a PCI (placa de circuito impresso). Todos os circuitos eletrônicos exemplificados anteriormente estão contemplados nessa PCI, conforme mostrado na Fig. 8. Como é possível notar na PCI, todos os circuitos explanados anteriormente são duplicados, podendo assim ser lido até dois sensores simultaneamente. Foram deixados também na PCI circuito com microcontrolador ARM-Cortex M3, comunicação USB e circuito para geração do sinal senoidal de excitação do sensor, sendo que estes circuitos não foram utilizados inicialmente e podem ser usados em trabalhos futuros.

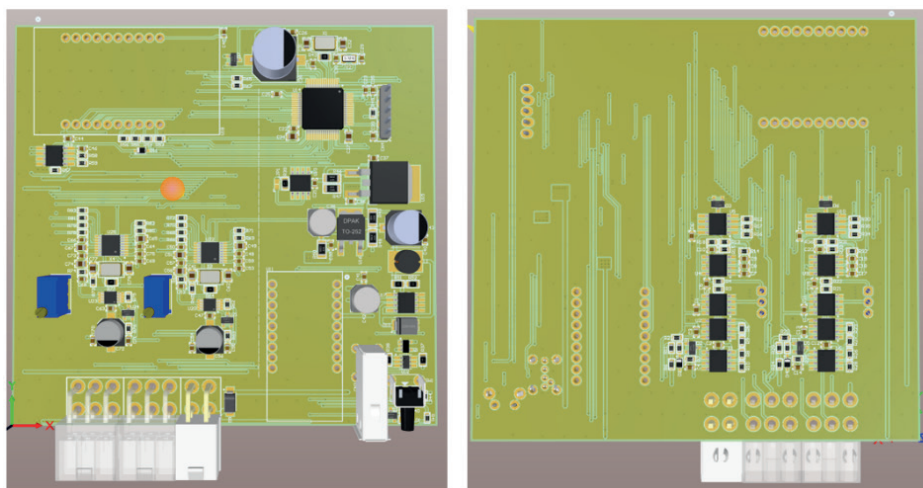


Figura 8. Vista 3D da PCI, do autor.

## 2.4 Bancada experimental

A bancada experimental é constituída por cinco componentes, sendo eles a fonte DC, gerador de funções, osciloscópio, sensor e a placa eletrônica. Estes componentes serão abordados individualmente e exemplificados a seguir.

### 2.4.1 Osciloscópio

Para visualizar e amostrar as formas das ondas disponibilizadas pelo sensor desenvolvido, em forma de tensão, após o tratamento da placa eletrônica, foi utilizado o osciloscópio DSOX2024A®, da fabricante KEYSIGHT TECHNOLOGIES. Este equipamento é composto por 4 canais analógicos, largura de banda de 200 MHz e taxa de amostragem máxima de 2 GSA/s.

### 2.4.2 Fonte de alimentação

Para disponibilizar alimentação de 12 V DC para a placa eletrônica foi utilizado a fonte PS 5000, da fabricante ICEL. Este equipamento disponibiliza duas saídas variáveis de 0 - 30 V de até 3 A cada, apresentando um *Ripple* de saída no sinal menor que 1 mV.

### 2.4.3 Gerador de funções

Como o sensor capacitivo precisa de um sinal de excitação senoidal de alta frequência nos seus eletrodos para funcionar, foi utilizado o gerador de funções GV2002, da fabricante ICEL, para fornecer este sinal. Este equipamento pode ser alimentado em 127/220 V – 50/60 Hz, podendo fornecer uma saída senoidal de 0,2 Hz até 2 MHz, com amplitude de pico configurável de no máximo 10 V.

## 3 | RESULTADOS

Será avaliado nesta seção o funcionamento do sensor desenvolvido, sendo que, em um primeiro momento, será apresentado os resultados experimentais obtidos em cada etapa de amplificação e filtro e, em um segundo momento, será discutido os resultados do equipamento submetidos a variação de fração de vazio de forma estática e em escoamento. Todos os testes foram realizados utilizando um sinal de tensão senoidal com amplitude de 2 V de pico e frequência de 1,5 MHz para excitar os eletrodos do sensor.

### 3.1 Circuito detector de pico

Como vimos anteriormente, o sensor capacitivo atenua o pico de um sinal senoidal de excitação e esse valor deve ser filtrado e amplificado. O primeiro passo é detectar a amplitude desse pico de tensão e transformá-lo em sinal contínuo, isso é feito utilizando o circuito detector de pico. Obteve-se uma tensão elétrica de 58 mV para o sensor preenchido somente com água (sensor com 0 % de fração de vazio) e uma tensão elétrica de 70 mV para o sensor preenchido somente com ar (sensor com 100 % de fração de vazio), obtendo-se uma variação de 12 mV.



### 3.2 Primeira etapa de amplificação

O sinal de tensão elétrica provindo do circuito detector de pico apresentado anteriormente foi amplificado em 38 vezes. Considerando que na etapa anterior tínhamos um sinal de tensão elétrica que variava entre 58 mV (0 % de fração de vazio) e 70 mV (100 % de fração de vazio), amplificando-o obtemos aqui uma variação de sinal de 2,2 V e 2,66 V.

### 3.3 Filtro passa baixa de segunda ordem

Esse filtro foi projetado com sua frequência de corte em 20 Hz e com objetivo de filtrar o ruído de 60 Hz. Como é um filtro de segunda ordem, ele atenua 40 dB de amplitude do sinal a cada década, sendo que foi selecionado a sua frequência de corte em 20 Hz para não comprometer os escoamentos com velocidades de até 1 m/s, considerando o comprimento do sensor de 5 cm. Durante os testes, observou-se o sinal antes e depois do filtro, sendo nítido a atenuação adequada do ruído.

### 3.4 Segunda etapa de amplificação

Na entrada deste amplificador temos uma tensão elétrica que varia entre 2,2 V (0 % de fração de vazio) e 2,66 V (100 % de fração de vazio), considerando as etapas de amplificação e filtros anteriormente apresentadas, tendo assim uma diferença de 0,46 V. Essa diferença é amplificada para obtermos uma variação de 3,3 V, assim, é aplicado um amplificador de 7 vezes. Esse amplificador precisa ser diferencial, ou seja, será amplificado apenas a diferença entre o valor medido (valor que varia de 2,2 V até 2,66 V) e 2,2 V, considerando 2,2 V a referência. Como resultado, quando tivermos 2,2 V na entrada desse amplificador teremos 0 V na saída e quando tivermos 2,66 V na entrada teremos 3,3 V na saída.

### 3.5 Análise da fração de vazio estática

Para analisar de forma estática o comportamento do sensor foram realizadas 6 medidas de tensão do mesmo, sendo que a Fig. 9 apresenta o comportamento do sensor conforme a fração de vazio. Para obter essa resposta, foi dividido o sensor em 5 partes iguais utilizando uma régua e elevado a coluna de água até todo o sensor estar preenchido, realizando uma medida a cada 20% do comprimento do mesmo.

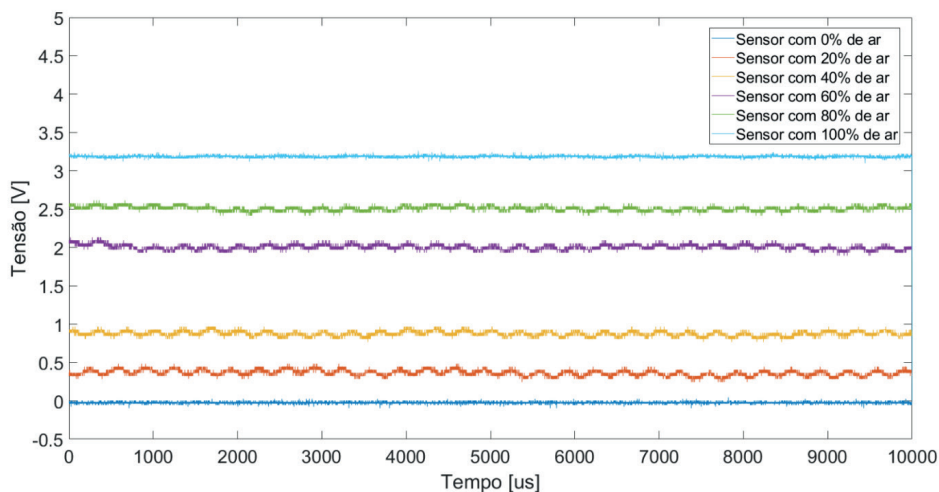


Figura 9. Tensão elétrica para fração de vazio em função do tempo, do autor.

Outra forma de se analisar esses dados é comparando a tensão elétrica medida no sensor pela fração de vazio. Na Fig. 10 podemos verificar essa comparação. Nota-se que a medida com 60 % de fração de vazio destoa do restante dos valores, sendo uma possível explicação para isso é o fato do sinal de excitação estar conectado exatamente no meio do sensor e o campo elétrico gerado pelo mesmo ser mais intenso nesta posição.

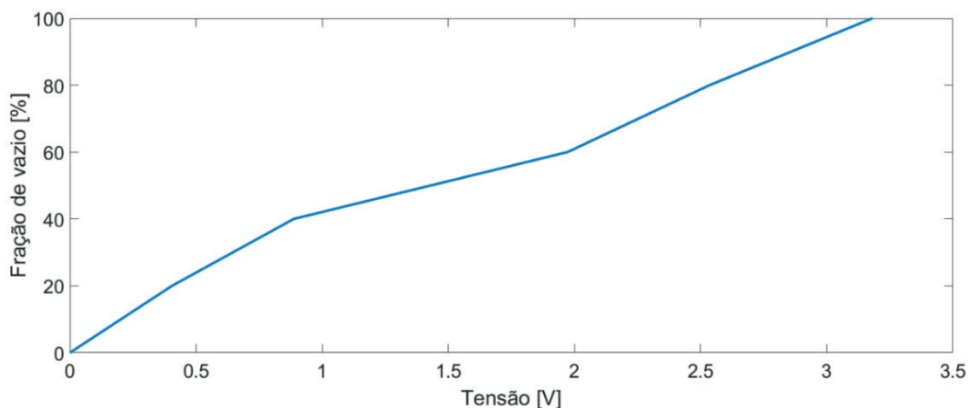


Figura 10. Tensão elétrica x fração de vazio, do autor.

### 3.6 Análise da fração de vazio em escoamento

Para analisar o comportamento do sensor de forma dinâmica, isto é, em um escoamento, foi preenchido o sensor com 100 % de água e injetado uma bolha no mesmo. Na Fig. 11 observa-se o resultado obtido com a passagem da bolha, sendo que o valor de

tensão medido como resposta do sensor foi satisfatório. Obteve-se uma tensão de 250 mV, considerando 3,3 V como 100 % de fração de vazio, essa bolha tem aproximadamente 7,5 % de fração de vazio. Para validar o sensor neste tipo de escoamento, isto é, verificar se a fração de vazio medida por ele é realmente a fração de vazio do escoamento, seria necessário utilizar algum equipamento já validado para medir o mesmo escoamento e comparar os resultados. Isto não foi possível pois, devido ao fato deste ano ser atípico, não tivemos acesso aos equipamentos da universidade no período da realização deste estudo, sendo que para um trabalho futuro este comparativo será realizado.

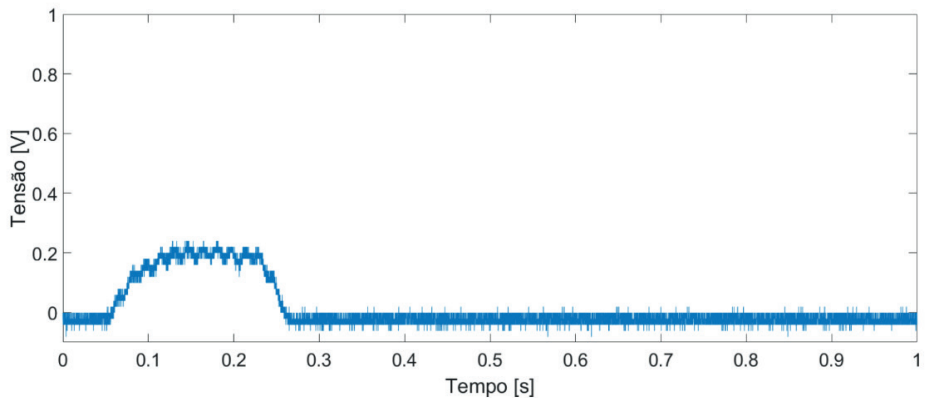


Figura 11. Tensão elétrica x fração de vazio, do autor.

## 4 | CONCLUSÃO

Com o sensor desenvolvido e excitado com uma onda senoidal de 1,5 MHz e 2 V de pico de amplitude, obteve-se uma variação de tensão na ordem de 12 mV para todo o sensor. Após as etapas de amplificação e filtro, essa tensão elétrica de 12 mV foi convertida em 3,3V. Considerando que a resolução da entrada analógica do microcontrolador é 806  $\mu$ V aproximadamente, desconsiderando o ruído que permaneceu no sinal lido, obteve-se como resultado a possibilidade de leitura de fração de vazio da ordem de 1 % do volume do sensor. Assim, o objetivo inicial de desenvolver um sensor capaz de ler fração de vazio em escoamento bifásico foi atendido.

Nos testes experimentais em escoamentos, como resultado obteve-se uma variação de tensão na ordem de 250 mV para uma bolha escoada. Considerando 3,3 V como 100 % de fração de vazio, temos algo em torno de 7,5 % de fração de vazio neste escoamento, validando assim o funcionamento do sensor de forma dinâmica.

## REFERÊNCIAS

CROWE, Clayton T.; MICHAELIDES, Efsthios E. **Basic Concepts and Definitions**. In: C. T. Crowe (Ed). *Multiphase Flow Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2006.

DA SILVA, Marco J. **Impedance Sensors for Fast Multiphases Flow Measurement and Imaging**. 2008. 154 f. Tese – Technische Universität Dresden, 2008.

DONG, Xiaoxiao; TAN, Chao, YUAN Ye; DONG Feng. **Oil-water two-phase flow velocity measurement with continuous wave ultrasound Doppler**. *Chemical Engineering Science*, 2015.

ISHII, M, HIBIKI, T., 2011. **Thermo-fluid dynamics of two-phase flow**, Springer.

LIBERT, N. **Sistema de Medição Capacitivo para determinação de fração de vazio em escoamentos bifásicos**. Curitiba: Biblioteca Central da UTFPR, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

VENDRUSCULO, P. Tiago. **Técnicas Ópticas para Investigação de Escoamento Multifásicos**. Universidade Tecnológica Federal do Parana, 2016.

WANG, Xiaoxin; CHEN, Yangzheng; WANG Bo; TANG Kaihao; HU, Hongli. **Sectional void fraction measurement of gas-water two-phase flow by using a capacitive array sensor**. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2020.

## 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](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



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



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