

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# **DESAFIOS E IMPACTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO**

**Carlos Augusto Zilli  
(Organizador)**



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# **DESAFIOS E IMPACTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO**

**Carlos Augusto Zilli  
(Organizador)**



**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

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

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

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

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

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

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

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

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

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

#### **Linguística, Letras e Artes**

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

#### **Conselho Técnico Científico**

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

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

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

## Desafios e impacto das engenharias no Brasil e no mundo

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Carlos Augusto Zilli

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D441 Desafios e impacto das engenharias no Brasil e no mundo /  
Organizador Carlos Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR:  
Atena, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5983-132-6  
DOI 10.22533/at.ed.326210106

1. Engenharia. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador). II.  
Título.

CDD 620

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.

## APRESENTAÇÃO

Esta obra, intitulada “Desafios e Impacto das Engenharias no Brasil e no Mundo”, apresenta 17 capítulos que abordam pesquisas relevantes sobre os impactos e desafios enfrentados pela engenharia mundo afora, tais como: Saneamento Básico, Concreto em Situações de Incêndio, Sistemas de Monitoramento Térmico em Construções, Estabilidade de Solos, Auditoria de Barragens, Rotas Rodofluviais, Políticas Públicas e Compostos Bioativos.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO IMPACTO DA VARIAÇÃO DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS DENSAS NO NÍVEL DE ABSORÇÃO SONORA DE MISTURAS ASFÁLTICAS**

Bettina Buchholz  
Breno Salgado Barra  
Yader Guerrero Pérez  
Alexandre Mikowski  
Marcelo Heidemann  
Helena Paula Nierwinski  
Daniel Hastenp lug

**DOI 10.22533/at.ed.3262101061**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

**DESIGN FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (DFMEA) OF THE ROD OF THE SUBSEA PIPELINE LOCKING SYSTEM IN AN OPEN PLET**

Raphael Basilio Pires Nonato  
Weslley Souza Gouvêa

**DOI 10.22533/at.ed.3262101062**

### **CAPÍTULO 3..... 29**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE OPÇÕES PARA A DISTRIBUIÇÃO DE CORDOALHAS EM LAJES LISAS PROTENDIDAS SEM ADERÊNCIA**

Anselmo Leal Carneiro  
Lorenzo Augusto Ruschi e Luchi

**DOI 10.22533/at.ed.3262101063**

### **CAPÍTULO 4..... 43**

**PROPOSTA DE UM MÉTODO SIMPLIFICADO PARA ANÁLISE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Marcelo Mesquita do Amaral  
Mauro de Vasconcellos Real

**DOI 10.22533/at.ed.3262101064**

### **CAPÍTULO 5..... 58**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE UMA HABITAÇÃO EM WOOD FRAME NA CIDADE DE SÃO CARLOS – SP**

Alexandre Rodriguez Murari  
Guilherme Côrrea Stamato  
Victor José dos Santos Baldan  
Javier Mazariegos Pablos

**DOI 10.22533/at.ed.3262101065**

### **CAPÍTULO 6..... 68**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO TÉRMICO DE BAIXO CUSTO PARA ÁREAS DE**

## ARMAZENAMENTO DE MEDICAMENTOS

Anderson Natel Soares

**DOI 10.22533/at.ed.3262101066**

## **CAPÍTULO 7..... 71**

### DESENVOLVIMENTO DE PAINEL RECONSTITUÍDO PLÁSTICO-MADEIRA DE BAIXA DENSIDADE

Alice Fontineles Ribeiro

Marcio Franck de Figueiredo

Jose Leonardo dos Santos Carvalho

Fabiana Martins Souza da Silva

Juliana Fonseca Cardoso

**DOI 10.22533/at.ed.3262101067**

## **CAPÍTULO 8..... 78**

### SANEAMENTO BÁSICO E ENTEROPARASIToses: INFLUÊNCIA DIRETA NA RELAÇÃO SAÚDE-DOENÇA

Bianca Vallery Fabiano

Leonardo Muniz Belizário

Andressa Cristina Kretschmer

Rodrigo José Paiva Cruz

Isis Carolina Massi Vicente

Daniela Sikorski

Luana Aparecida Cossentini

**DOI 10.22533/at.ed.3262101068**

## **CAPÍTULO 9..... 85**

### A APLICAÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NO CONTEXTO DO SANEAMENTO BÁSICO NA GESTÃO MUNICIPAL DE BELÉM, ANANINDEUA E CASTANHAL-PA, NO PERÍODO ENTRE 2010 A 2018

Educélio Gaspar Lisbôa

Leonardo Augusto Lobato Bello

Érico Gaspar Lisbôa

Heriberto Wagner Amanajás Pena

**DOI 10.22533/at.ed.3262101069**

## **CAPÍTULO 10..... 102**

### CRITÉRIOS DE SENIORIDADE E NÍVEIS SUBSEQUENTES PARA CLASSIFICAÇÃO DE AUDITORES DE BARRAGENS

Rafaela Baldi Fernandes

Karina Livia Vieira

Felipe Daiha Alves

**DOI 10.22533/at.ed.32621010610**

## **CAPÍTULO 11..... 113**

### DESEMPENHO MECÂNICO DE DIFERENTES SOLOS ESTABILIZADOS COM CAL HIDRATADA

Aloísio Felipe de Pádua Lima

Diogo Antonio Correa Gomes  
Eduardo Hélio de Novais Miranda  
Luís Eduardo Silveira Dias  
Pedro Luiz Terra Lima

**DOI 10.22533/at.ed.32621010611**

**CAPÍTULO 12..... 120**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE ROTAS RODOFLUVIAIS NA CIDADE DE MARABÁ-PA  
COMO APOIO AO TRANSPORTE URBANO**

Isaac Gabriel Peixoto Borges de Oliveira  
Alan Monteiro Borges  
Nuria Pérez Gallardo

**DOI 10.22533/at.ed.32621010612**

**CAPÍTULO 13..... 127**

**ANÁLISE DE AEROFÓLIOS DE ALTA SUSTENTAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM  
AERONAVE CARGUEIRA NÃO TRIPULADA DA EQUIPE ARAERO AERODESIGN**

Jéssica Sales Pereira dos Santos  
João Pedro Avancini Dias  
Antonio Ricardo Grippa Satiro

**DOI 10.22533/at.ed.32621010613**

**CAPÍTULO 14..... 146**

**ESTUDO ANALÍTICO, DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE UM VENTILADOR  
CENTRÍFUGO COM PÁS CURVADAS PARA TRÁS E TRAÇADO DAS CURVAS  
CARACTERÍSTICAS**

Carlos Alberto da Maia  
Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.32621010614**

**CAPÍTULO 15..... 156**

**ESTUDO ANALÍTICO DE UM VENTILADOR CENTRÍFUGO E CONFECÇÃO DE UMA  
BANCADA EXPERIMENTAL**

Carlos Alberto da Maia  
Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.32621010615**

**CAPÍTULO 16..... 167**

**INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PROPRIEDADES  
FÍSICO-MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CAIXETA (*Simarouba amara*)**

Andréa de Souza Almeida  
Gabriel Criscuolo  
Francisco Antonio Rocco Lahr  
André Luis Christoforo

**DOI 10.22533/at.ed.32621010616**

**CAPÍTULO 17..... 180**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS BIOACTIVOS EN**

**PURÉ INSTANTÁNEO DE DIEZ CLONES DE PAPAS NATIVAS (*Solanum tuberosum*)  
CULTIVADAS EN ANDAHUAYLAS**

Carlos Alberto Ligarda Samanez

David Choque Quispe

Betsy Suri Ramos Pacheco

Elibet Moscoso Moscoso

**DOI 10.22533/at.ed.32621010617**

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>192</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>193</b>

## ESTUDO ANALÍTICO, DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE UM VENTILADOR CENTRÍFUGO COM PÁS CURVADAS PARA TRÁS E TRAÇADO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 09/04/2021

**Carlos Alberto da Maia**

UFRGS

Porto Alegre – RS

<http://lattes.cnpq.br/6006703677260048>

**Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza**

URI

Erechim – RS

<http://lattes.cnpq.br/6421797867310557>

**RESUMO:** Em um ventilador centrífugo o ar entra de forma axial e sai de forma radial. Aplicam-se nas mais variadas áreas, como em sistemas de refrigeração, conforto térmico, remoção de pó, alimentação de fornalhas industriais etc. Devido à rápida urbanização, a crescente construção de espaços comerciais, residenciais e industriais, um aumento constante na demanda de ventiladores centrífugos pode ser observado em todo o mundo. De acordo com Transparency Market Research (2016), estimasse que o mercado global de ventiladores, até o final do ano 2023, deverá chegar em US \$ 2,4 bilhões. Segundo Mordor Intelligence (2017), estimam-se que o mercado mundial de ventiladores centrífugos chegará em torno de 1.602.000 unidades em 2021. Esses fatos motivaram a elaboração deste trabalho, onde é feito um estudo analítico, dimensionado e fabricado um ventilador centrífugo e, posteriormente sua caracterização através das curvas características.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ventilador Centrífugo, turbomáquinas, diagrama de velocidades, bancada experimental, curvas características.

**ANALYTICAL STUDY, DIMENSIONING AND MANUFACTURING OF A CENTRIFUGAL FAN WITH CURVED BLADES BACK AND DRAWING THE CHARACTERISTIC CURVES**

**ABSTRACT:** In a centrifugal fan, the air enters axially and leaves radially. They are applied in the most diverse areas, such as refrigeration systems, thermal comfort, dedusting, feeding industrial ovens, etc. Due to the rapid urbanization, the growing construction of commercial, residential and industrial spaces, a constant increase in the demand for centrifugal fans can be observed all over the world. According to Transparency Market Research (2016), it is estimated that the global fan market, by the end of the year 2023, will reach US \$ 2.4 billion. According to Mordor Intelligence (2017), it is estimated that the world market for centrifugal fans will reach around 1,602,000 units in 2021. These facts motivated the elaboration of this work, where an analytical study is made, dimensioned and manufactured a centrifugal fan and, subsequently, its characterization by means of characteristic curves.

**KEYWORDS:** Centrifugal fan, turbomachines, speed diagram, experimental bench, characteristic curves.

### 1 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversas são as formas de se dimensionar um ventilador centrífugo. O engenheiro precisa

ter uma boa noção de grandeza para saber qual a melhor forma de projetar um, pois qualquer variação nas dimensões ou geometria da caixa do ventilador, rotor, número de pás etc., poderá mudar significativamente os resultados esperados. Costa (2005) estabeleceu parâmetros de cálculos que permitem determinar as características de funcionamento dos ventiladores centrífugos, aplicando a primeira lei da termodinâmica ao escoamento. Costa (1978) e Macintyre (2008), apresentam a definição e modelos de ventiladores centrífugos e trazem exemplos de dimensionamentos dos mesmos. Fox et al (2013) se baseiam na equação da quantidade de movimento angular para um volume de controle e utiliza a equação de Euler para dimensionamento das turbomáquinas. Macintyre (2008) recomenda ensaios de laboratório que permitam, estatisticamente, exprimir a variação de considerações teóricas com condições reais em ventiladores centrífugos, para que com os valores obtidos nos ensaios, possam ser traçados curvas característica desses ventiladores centrífugos. Fox et al. (2013) aconselham medir o desempenho global de ventiladores centrífugos em uma bancada de testes adequada.

Oliveira et al. (2002) avaliaram o número de pás de um rotor seguindo o critério de Richardson, que se trata de um parâmetro adimensional capaz de determinar o número ótimo de pás de rotores. Quando comparado aos ensaios experimentais, o critério de Richardson demonstrou ser muito eficiente, pois está perfeitamente dentro dos valores medidos em laboratórios.

Sharma e Karanth (2009) analisaram numericamente o aprimoramento de um ventilador centrífugo existente, contendo pás diretrizes. Utilizaram quatro geometrias diferentes, modelaram as mesmas, e obtiveram resultados satisfatório. Comparado ao ventilador centrífugo experimental, o aprimoramento de configuração que apresentou melhor desempenho foi a quarta configuração, que possui aletas divisórias no bordo de fuga das pás diretrizes

Chunxi et al. (2011) mostraram em um estudo numérico e experimental, o desempenho de um ventilador centrífugo com variação no diâmetro do rotor, sem alterar a geometria do difusor. Em seus estudos, comprovaram que quando o ventilador centrífugo funcionava com rotores maiores, a pressão total e o ruído aumentaram, enquanto que a eficiência diminuiu.

Kothe et al. (2016) mostraram através de uma forma experimental e numérica, a otimização de um ventilador centrífugo, obtendo resultados satisfatórios. Alteraram o número pás, modificaram o perfil e as curvaturas das pás e, para a geometria do difusor, modificaram a saída da caixa. Para os resultados numéricos, com os dois ventiladores operando nas mesmas condições, o modelo otimizado representou uma vazão 67,8% maior, e 33,6% de queda de torque na região das pás. Através da simulação, foi possível identificar recirculações e vórtices, que são responsáveis pelo alto ruído e mau funcionamento dos ventiladores centrífugos. Para resultados experimentais, o ventilador otimizado representou um aumento de 74,65% de vazão, e uma queda de corrente, de 16 A para 11 A, resultando

queda no consumo de energia.

## 2 I FORMULAÇÃO GERAL

O método de análise usado para turbomáquinas é escolhido de acordo com a informação desejada. Fox et al. (2013) explicam que existem duas abordagens para a análise, a abordagem Lagrangeano e a Euleriana. Para o presente trabalho utilizou-se a abordagem de volume de controle (Euleriana), que avalia uma região do espaço conforme o fluido escoar através dela. Como vantagem, essa abordagem possui uma grande quantidade de aplicações práticas, tornando-a o método mais escolhido. A desvantagem é que é necessário trabalhar matematicamente para converter as leis físicas de sua formulação para sistema, para a formulação de volume de controle, porque as leis da física aplicam-se à matéria, e não diretamente à região do espaço.

A formulação geral do princípio da quantidade de movimento angular para um volume de controle inercial é dada por

$$\vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{VC} \vec{r} \times \vec{g} dV + \vec{T}_{eixo} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV + \int_{SC} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}, \quad (1)$$

que estabelece, que o momento das forças superficiais e das forças de campo, mais o torque aplicado, levam a uma variação da quantidade de movimento angular do escoamento. As forças superficiais são devidas ao atrito e à pressão, a força de campo é devida à gravidade, a variação na quantidade de movimento angular pode aparecer como variação na quantidade de movimento angular no interior do volume de controle, ou como fluxo de quantidade de movimento angular através da superfície de controle (FOX et al., 2013).

Escolhendo um volume de controle fixo englobando o rotor. Considerando volumes de controle para os quais são esperados grandes torques de eixo, os torques decorrentes de forças de superfícies podem ser ignorados. Como o rotor gira em seu eixo, a força de campo gravitacional é simétrica, portanto, pode ser desprezada. Então, da Eq. (1), para escoamento permanente,

$$\vec{T}_{eixo} = \int_{SC} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}. \quad (2)$$

Aplicando um volume de controle fixo que inclui o rotor da turbomáquina, o fluido entra no rotor na localização radial, com velocidade absoluta uniforme, e sai do rotor na localização radial, com velocidade uniforme absoluta. O vetor posição  $\vec{r}$  é puramente radial, de modo que apenas a componente da velocidade tangencial conta.

$$\vec{T}_{eixo} = \int_{SC1} \vec{r}_1 \times \vec{V}_{t1} \rho \vec{V}_1 \cdot d\vec{A}_1 + \int_{SC2} \vec{r}_2 \times \vec{V}_{t2} \rho \vec{V}_2 \cdot d\vec{A}_2. \quad (3)$$

A Eq. (3) pode ser escrita na forma escalar, para aplicação de máquinas de fluxo. Para escoamento uniforme. Resolvendo o produto escalar

$$T_{\text{eix}} = (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m}, \quad (4)$$

a taxa de trabalho realizada sobre um rotor de uma turbomáquina é dado por

$$\dot{W}_m = \omega T_{\text{eix}} = \omega (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m}. \quad (5)$$

## 2.1 Diagrama de velocidades

Nos ventiladores, como em todas as turbomáquinas, uma partícula de fluido em contato com a pá do rotor, não tem a mesma trajetória que a do ponto do rotor com a qual a cada instante se encontra em contato.

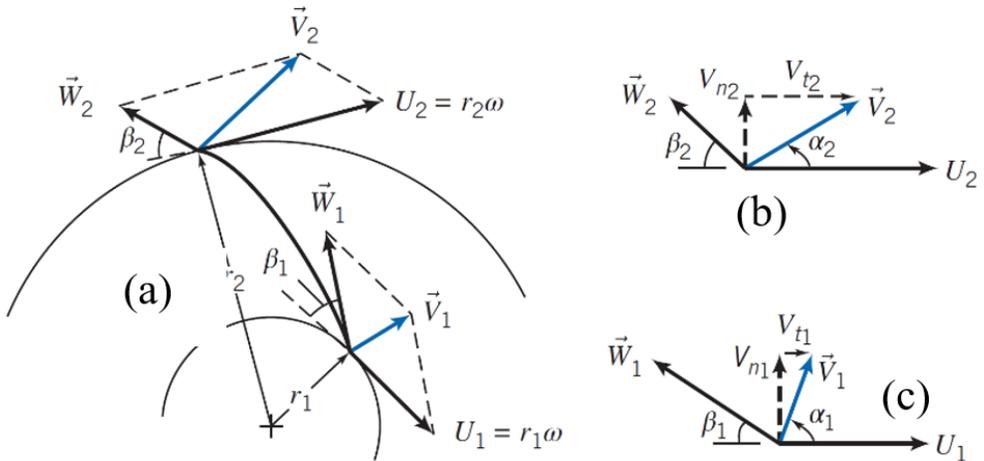


Figura 1. Notação para desenvolver diagramas de velocidades. (a) Escoamento no rotor; (b) Escoamento na saída do rotor; (c) Escoamento na estrada do rotor.

Fonte: Fox et al 2013.

Para resolver a equação de Euler para as turbomáquinas, é necessário conhecer as componentes de velocidade do fluido e do rotor nas seções de entrada e de saída. Para isso é preciso desenvolver diagramas de velocidades como o da Figura 1, para os escoamentos de entrada e saída. Analisando o diagrama de velocidades da Figura 1, e com base em trigonometria, é possível retirar a formulação matemática para cada componente de velocidade.

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

Para dimensionar o ventilador centrífugo, partiu-se de condições climáticas,

geográficas e parâmetros para alimentar uma fornalha industrial de 0,14 Gcal com ar atmosférico. Para o número de pás do rotor, foi considerado o critério de Eck (1973), inspirado no artigo de Oliveira et al. (2002), onde utilizaram em sua análise experimental o mesmo método, e chegaram à resultados de alta eficiência. O difusor foi dimensionado seguindo os parâmetros de Costa (1978) e aprimorado conforme Kothe et al. (2016), onde alteraram a geometria do difusor, modificando de forma que a aresta mais próxima do centro fosse tangencial a saída do rotor, obtendo melhores resultados.

Para facilitar os cálculos, foi utilizado um software de matemática simbólico numérico em linguagem C++, de forma que o programa interage com o usuário, mostrando instruções para o uso, onde o usuário irá preencher janelas que irão aparecendo conforme for sendo preenchidas. O modelamento 3D e verificação de interferências foi feito por software CAD. A tampa de entrada e o distribuidor foram fabricados pelo processo de impressão 3D, onde o distribuidor foi projetado de forma a assegurar a entrada do ar puramente radial à entrada do rotor. Os demais componentes foram fabricados em aço carbono pelo processo de corte a laser CNC e unido por solda pelo processo GMAW. Para usinar o furo central do rotor com tolerância H7, foi feito interpolação por fresadora CNC. O encaixe da chaveta foi feito pelo processo de eletroerosão seguindo a norma DIN 6885. O balanceamento do rotor foi feito nos parâmetros estabelecidos pela norma ISO 1940. O expansor foi fabricado segundo a norma ANSI/AMCA 210-07.

Para reprodução das curvas características do ventilador centrífugo em estudo, foi confeccionada uma bancada experimental em laboratório com dimensões e componentes prescritos pela norma ANSI/AMCA 210-07. Esta norma estabelece que o ensaio deve ser feito pelo menos oito vezes, com divisão por igual da abertura da válvula cônica. Durante o ensaio, foram feitas 22 medições, partindo com a válvula cônica fechando completamente o tubo de testes, até 57,50 mm de abertura, que corresponde a abertura total do tubo de testes.

Devido a imprecisão humana, qualquer procedimento experimental apresenta algum erro na medição, desta forma, foi necessário determinar os erros associados. A metodologia usada foi para determinar erros aleatórios da tomada de pressão, utilizando uma adaptação da aplicação de Holman (2011). Como critério de rejeição dos dados, foi adotado o critério de Chauvenet.

## **4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES**

No presente trabalho foi dimensionado um ventilador centrífugo de forma analítica, sob condições climáticas, geográficas e parâmetros para alimentar uma fornalha industrial de 0,14 Gcal com ar atmosférico. Avaliou-se o equacionamento que modela o escoamento no ventilador centrífugo. Foi elaborado um código de linguagem interativa de programação computacional para a obtenção de todas as dimensões geométricas do ventilador centrífugo

e da bancada, bem como a potência, a velocidade de rotação do motor, e as demais informações de cálculos. Para a confecção das curvas características, os dados obtidos com a bancada experimental foram redigidos em uma planilha. A Figura 2 mostra as curvas característica do ventilador centrífugo estudado experimentalmente, onde:

- $p_t$  → Pressão total;
- $p_e$  → Pressão estática;
- $p_d$  → Pressão dinâmica;
- $\eta_t$  → Rendimento total;
- $\eta_e$  → Rendimento estático.

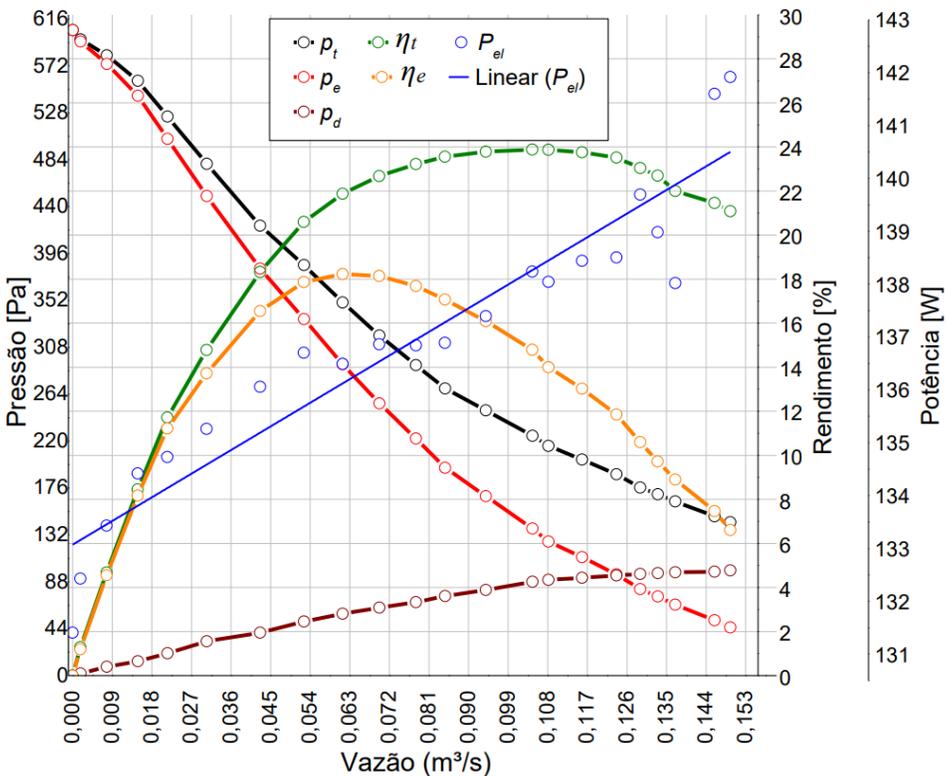


Figura 2. Curva característica do ventilador centrífugo estudado.

Comparando a curva de pressão da Figura 2 em relação à gráficos de catálogos de fabricantes, a pequena diferença é devido a forma construtiva do ventilador. A diferença se dá em função de perdas por atrito com o fluido, perdas por recirculação e perdas por atrito mecânico. Conforme recomendações da literatura, já prevendo possíveis variações

no desempenho total, foi atribuído valores de coeficientes adimensionais para os cálculos do dimensionamento do ventilador estudado. Então, dependendo dos coeficientes adimensionais estabelecidos para o dimensionamento, a proporção do ventilador mudará, mudando também a curva característica. Comparando a curva de pressão do ventilador estudado com a curva de pressão do ventilador experimental de Bazani et al. (2011), percebe-se a semelhança em seu traçado. Já a curva pressão x vazão de Neto (2005), se diferencia um pouco, mas mantém a tendência.

Cada tipo de ventilador tem sua própria curva característica. Mas, se comparar em catálogos de fabricantes, o mesmo ventilador poderá ter várias curvas, pois vão depender da vazão, pressão, velocidade de rotação do motor e fatores que alteram a massa específica do ar. Comparando a curva de pressão do ventilador estudado com a curva do ventilador centrífugo de pás curvadas para trás do fabricante Axair (2018), percebe-se grande semelhança no traçado das curvas.

A curva de potência do motor em função da vazão do ventilador, não apresentou a mesma semelhança do traçado do ventilador da norma ANSI/AMCA 210-07, onde não se observa mudanças significativas no aumento da trajetória da curva. Isso se deve pela baixa potência do motor do ventilador estudado. Em catálogos de fabricantes de ventiladores centrífugos, essas curvas são normalmente apresentadas em uma escala de potência com grandes variações, o que possibilita a visualização do aumento de potência do motor em função da vazão. A baixa potência do motor não proporciona uma curva visual de grandes variações, pois a variação de potência máxima e mínima é de 10,51 W, o que corresponde a aproximadamente a 0,01cv. Uma pequena variação na corrente resulta em uma mudança de potência do motor, e isso se deve pela movimentação da massa de ar. Quanto maior a massa de ar, maior a potência exigida pelo motor.

Comparando a curva rendimento x vazão com norma ANSI/AMCA 210-07, a caracterização da curva de desempenho do ventilador centrífugo estudado, evidencia-se semelhança. Através desta curva, percebe-se a quantidade de energia consumida pelo ventilador centrífugo em função da vazão. Segundo Costa (1978), ventiladores centrífugos maiores possuem rendimentos maiores que ventiladores pequenos. Nos testes realizados, o rendimento máximo foi na amostra de número 6 obtendo-se o valor de rendimento máximo de 24,16%. Já era de se esperar valores baixos, pois o ventilador centrífugo estudado é um ventilador de pequeno porte. Comparando com a dissertação de Bazzo (1979), que estudou curvas características em um ventilador centrífugo com pás curvadas para trás de grande porte e alcançou um rendimento máximo de 55%, onde Bazzo (1979) comenta que é um valor baixo para tal ventilador.

As curvas que caracterizam este ventilador, como era de se esperar, têm comportamento de curvas características típicas de ventiladores centrífugos de pás curvadas para trás. Tal comportamento se manteve para todas as amostragens.

Comparando os resultados obtidos analiticamente com os dados da bancada

experimental, ficou evidente que a metodologia utilizada, é eficaz para se dimensionar, projetar e fabricar um ventilador centrífugo de pás curvadas para trás, além de ser possível a confecção de uma bancada experimental instrumentada, retirar os dados e caracterizar o ventilador com as curvas de desempenho. A Tabela 1 apresenta as principais diferenças dos cálculos analíticos e dados experimentais.

Grandeza	Análítico	Experimental	Diferença	Unidade
Vazão	0,14	0,149 ( $\pm 0,00067$ )	0,009	m <sup>3</sup> /s
Pressão	50,00	61,74 ( $\pm 0,535$ )	11,74	mmH <sub>2</sub> O
Velocidade	12,31	13,35 ( $\pm 0,060$ )	1,04	m/s
Vazão mássica	0,15	0,16 ( $\pm 0,00067$ )	0,01	kg/s

Tabela 1. Principais diferenças dos cálculos analíticos e dados experimentais.

## 5 | CONCLUSÕES

Através da metodologia organizada neste trabalho, foi possível desenvolver um programa computacional para dimensionar um ventilador centrífugo de pás curvadas para trás, para a alimentação de uma fornalha industrial. Com o resultado do dimensionamento, foi possível projetá-lo e fabricá-lo em tamanho real. Uma bancada foi confeccionada e instrumentada para conferir os dados dos cálculos analíticos. Com a bancada experimental, determinou-se a velocidade de saída que é 13,35 m/s, a vazão mássica de 0,16 kg/s, vazão volumétrica de 0,149 m<sup>3</sup>/s, e os demais dados de operação do ventilador, onde, através desses dados foi possível traçar as curvas características para o ventilador.

Constatou-se que o equacionamento apresentado, foi satisfatório para se projetar e fabricar um ventilador centrífugo, bem como a construção de uma bancada experimental. Pois quando correlacionados com catálogos de fabricantes de ventiladores centrífugos, os resultados deste trabalho, tiveram boa concordância, pois estão dentro da mesma faixa de operação em função de suas grandezas.

O ventilador centrífugo fabricado, é classificado como baixa pressão, por apresentar pressão diferencial de 61,74 mmH<sub>2</sub>O.

Comparando os resultados obtidos analiticamente com os dados da bancada experimental, ficou evidente que a metodologia utilizada, é eficaz para se dimensionar, projetar e fabricar um ventilador centrífugo de pás curvadas para trás, além de ser possível a confecção de uma bancada experimental instrumentada, retirar os dados e caracterizar o ventilador com as curvas de desempenho.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. D. J.; **Fundamentals of Aerodynamics**. 5ª ed. New York – NY, 2011.

ANSI/AMCA. **Laboratory Methods of Testing**. 2010.

AXAIR. **Centrifugal Fans**. Disponível em: < <https://www.axair-fans.co.uk/>>. Acesso em: 08 de outubro de 2018.

Bazani M. A., Paschoalini A. T. e Honório H. T. **Simulação Numérica de um Ventilador Centrifugo**. 10ª Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicação. 2011.

BAZZO E. **Influência da Geometria de Entrada e Saída nas Curvas Características de Ventiladores Centrifugos**. Dissertação de mestrado em engenharia. UFSC, SC. 1979.

Chunxi L; Ling, S. W e Yakui, J. **The performance of a centrifugal fan with enlarged impeller**. *Jornal Energy Conversion and Management*. China. 2011.

COSTA. **Compressores**. São Paulo. Edgard Bluecher. 1978.

COSTA. **Ventilação**. São Paulo. Edgard Bluecher. 2005.

ECK, B. **Fans Design and Operation of Centrifugal, Axial-Flow, and Cross-Flow Fans**. Oxford Pergamon Press. New York, USA. 1973.

FOX, Robert, W.; MCDONALD, Alan T.; PHILIP, J. Pritchard. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro. Gen. Sétima edição. 2013.

Holman, J. P. **Experimental Methods for Engineering**. 8 ed. Connect Learn Succeed, 2011.

ISO 1940. **Mechanical vibration: Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state**. Segunda edição. 2003.

KOTHE, B. L.; LUZ, R. L. J.; VECINA, J. D. T. **Projeto de otimização de um ventilador centrifugo através da dinâmica dos fluidos computacional (CFD)**. *Revista Técnico-Científica*. PR. 2016.

MACINTYRE. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro. Gen. 2008.

MORDOR INTELLIGENCE. **Global Centrifugal Fans Market (2017–2022)**. Bengaluru, Índia. 2017.

Neto P. J. M. R. **Bancada Didática de Sistema de Ventilação**. XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Cobenge. 2005.

Oliveira, W.; FILHO, M. N.; FERNANDES, C. E. **Um Critério Baseado nas Características Locais do Escoamento para a Determinação do Número Ótimo de Pás de Rotores de Turbo-máquinas**. IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas. Caxambu, MG. 2002.

PFLEIDERER, C. **Bombas Centrifugas y Turbocompressores**. Editora Labor, Espanha, 1960.

SHARMA, N. e KARANTH, V. K. **Numerical Analysis of a Centrifugal Fan for Improved Performance using Splitter Vanes**. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009

SIGLOCH, H. **Strömungsmaschinen Grundlagen und Anwendungen**. Carl Hanser Verlag. 1984.

TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. **Ventilation Fans Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2015 – 2023**. Canada, U.S.A. 2016.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Absorção sonora 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12  
Aditivos químicos 113  
Aerodesign 127, 128, 132, 144, 145  
Antocianinas 180, 181, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 191  
Argissolo 113, 115, 117, 118, 119  
Arrasto 127, 128, 129, 130, 134, 135, 137, 138, 140, 144  
Auditores de barragens 102

### B

Bancada experimental 146, 150, 151, 152, 153, 156, 163, 164, 165  
Boas práticas de fabricação 68, 69, 70

### C

Cambissolo 113, 115, 117, 118, 119  
Capacidade antioxidante 180, 182, 183, 184, 190, 191  
Caracterização 74, 75, 113, 116, 117, 119, 146, 152, 167, 168, 171, 174, 175, 177  
Carregamento equivalente 29, 31, 32, 39, 40, 41  
Certificação 102, 105  
Clones de papa nativa 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190  
Concreto armado 43, 44, 46, 55, 56, 57, 59  
Curva granulométrica 2, 6, 10, 11, 12

### D

Desempenho acústico 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66  
DFMEA 14, 18, 20, 21, 25, 27, 28  
Diagrama de velocidades 146, 149, 156, 162  
Dimensionamento à flexão 43  
Distribuição das cordoalhas 29, 34, 36, 39

### E

Epidemiologia 80, 84  
Escoamento 30, 31, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 140, 144, 147, 148, 149, 150, 154, 156, 158, 161, 162, 164, 166  
Estruturas portuárias 43, 44

## **F**

Fenoles 180, 182, 183, 184, 185, 187, 190, 191

FMEA 14, 18, 20, 28

## **I**

Incêndio 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57

Indústria farmacêutica 68, 69

Internet das coisas 68

Investimentos públicos 85, 99

## **L**

Laje lisa 29

Latossolo vermelho 113, 115, 117, 118, 119

## **M**

Madeiras tropicais 168, 169

Mistura asfáltica 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11

Mobilidade urbana 120, 121, 123, 125

Modelo de correlação 85, 87

## **O**

Open PLET 14, 28

## **P**

Painéis de vedação vertical 58

Painel de baixa densidade 71, 76

Painel reconstituído 71, 72, 73, 75, 76

Perfis aerodinâmicos 127, 128, 136, 140

Plástico-madeira 71, 73, 74, 75, 76

Policloreto de vinila 71, 72, 73

Políticas de incentivo 120, 121

Políticas públicas 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 94, 95, 96, 99, 100, 101, 125

Preservação 167, 168, 170, 177, 178, 179

Propriedades físico-mecânicas 167, 168, 169, 170, 171, 177

Protensão sem aderência 29

## **Q**

Quantidade de movimento 147, 148, 156, 158, 160, 161

## **R**

Ruído 2, 3, 8, 12, 13, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 147, 159, 164

Rupturas de barragens 102, 103

## **S**

Saneamento básico 78, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101

Senioridade 102, 107

Sistemas embarcados 68

Structural analysis 14

## **T**

Transporte aquaviário 120

Transporte urbano 120, 124, 125, 126

Turbomáquinas 146, 147, 148, 149, 156, 158, 160, 161, 162

## **V**

Variáveis 69, 70, 85, 87, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

Ventilador centrífugo 146, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 163, 164, 165, 166

## **W**

Wood frame 58, 59, 60, 61, 65, 67

## **X**

XFLR5 127, 128, 131, 134, 135, 136, 137, 139, 144, 145

# **DESAFIOS E IMPACTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO**

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

# **DESAFIOS E IMPACTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO**

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