



Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)



Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

Henrique Ajuz Holzmann
(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 Cremo

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 Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. 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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
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
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andreza 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. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
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
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/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. 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
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. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
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 Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Projeto, análise e otimização na área das engenharias

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P964 Projeto, análise e otimização na área das engenharias /
Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa -
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-696-6

DOI 10.22533/at.ed.966210601

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz
(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

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

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos engenheiros nos mais diversos ramos do conhecimento, é de saber ser multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber.

Apresenta temas relacionados a área de engenharia mecânica e materiais, dando um viés onde se faz necessária a melhoria continua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril. Destaca-se ainda a apresentação das áreas da engenharia e elétrica e eletrônica, com a busca da redução de custos e automação de processos.

Da ênfase em alguns trabalhos voltados a realizar um levantamento econômico dos de processos e o estudo das áreas térmicas.

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.

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE MICROCONTROLADORES NA AUTOMAÇÃO DE SHOPPING CENTER

Rafael Jacinto dos Santos
Guilherme Henrique Ferreira Neves
Luiz Felipe Costa Rosa
Washington Junio Ferreira Resende

DOI 10.22533/at.ed.9662106011

CAPÍTULO 2..... 8

ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INVERSORES DE TRÊS NÍVEIS NPC E PONTE H

Kennedy Ricardo da Silva
Abinadabe Silva Andrade

DOI 10.22533/at.ed.9662106012

CAPÍTULO 3..... 20

VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS LED NO SETOR INDUSTRIAL

Bruno Sousa de Castro
Antonio Manoel Batista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.9662106013

CAPÍTULO 4..... 34

PROJETO PARA ELABORAÇÃO DE UMA PEN PLOTTER

Rafael Ferreira da Silva
Welton Abreu Rosa
Luciana Paro Scarin Freitas
Jorge Luis Ribeiro dos Santos Júnior
Luís Henrique Chouay Dall’Agnese
Grégori da Cruz Balestra

DOI 10.22533/at.ed.9662106014

CAPÍTULO 5..... 40

DEPRECIAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS USANDO OS MÉTODOS LINHA, COLE, PERCENTAGEM CONSTANTE E CAIRES

Adalberto Gomes de Miranda
Jonhunny Jeyson da Costa Gandra
Adailza Aparício de Miranda
Steven Frederick Durrant
José Costa de Macêdo Neto
Adailson Aparício de Miranda

DOI 10.22533/at.ed.9662106015

CAPÍTULO 6..... 56

ANÁLISE DOS IMPACTOS GERADOS PELA FALTA DE COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS NO CUSTO DA EXECUÇÃO DE UMA CRECHE TIPO 1 PADRÃO FNDE EM

CARUARU-PE

Matheus Henrique Pacheco Bezerra
Maria Victória Leal de Almeida Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.9662106016

CAPÍTULO 7..... 70

ESTIMAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DIFERENTES AGENTES ARRASTADORES NA MISTURA AZEOTRÓPICA ÁGUA/1-PROPANOL POR MEIO DO XSEOS

Erich Potrich
Larissa Souza Amaral

DOI 10.22533/at.ed.9662106017

CAPÍTULO 8..... 78

PROJETO DE ELEMENTOS FINITOS: FLEXÃO EM BARRAS COM DIFERENTES MATERIAIS

Gabriel Brandão Santos
Gleudson Silva Figueiredo
Jullyane Milena Silva de Figueiredo

DOI 10.22533/at.ed.9662106018

CAPÍTULO 9..... 93

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COMPÓSITO DE MATRIZ DE GESSO REFORÇADO COM CAPIM

Diogo Antonio Correa Gomes
Eduardo Hélio de Novais Miranda
Gustavo Monteiro Costa Sbampato Resende
Henrique Andrade Alvarenga Barbosa
Márcia Aparecida Imaculada de Oliveira
Mariane Duarte Resende
Thaiane Oliveira Marcelino

DOI 10.22533/at.ed.9662106019

CAPÍTULO 10..... 100

PROJETO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO MECÂNICA DE UM GUINCHO DE IÇAMENTO PARA LOCOMOÇÃO DE CARGAS

Antonio Rodrigues Freitas de Carvalho
Diógenes Linard Aquino Freitas
Eduardo Ataíde de Oliveira
Jardielson José da Costa Almeida
Lucas Filipe de Vasconcelos

DOI 10.22533/at.ed.96621060110

CAPÍTULO 11..... 113

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REFRIGERADOR PORTÁTIL BASEADO NO EFEITO PELTIER

Bruno Almeida Miranda Silva
Vitor Alves Pimenta
Maksym Ziberov

DOI 10.22533/at.ed.96621060111

CAPÍTULO 12..... 124

PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TERMO-HIDRÁULICO DE NANOFLUIDOS NA REFRIGERAÇÃO DE REATORES NUCLEARES À ÁGUA LEVE

Alexandre Melo de Oliveira
Amir Zacarias Mesquita
Isabela Carolina Reis

DOI 10.22533/at.ed.96621060112

CAPÍTULO 13..... 131

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE AR EM DIFUSORES PARA APLICAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Silmara Bispo dos Santos
Rodrigo Sabino Pereira
Francisco Carlos Lima de Souza
Keteri Poliane Moraes de Oliveira
Edson Godoy

DOI 10.22533/at.ed.96621060113

CAPÍTULO 14..... 144

FATORES DE EQUILÍBRIO E DOSES EM MINAS SUBTERRÂNEAS BRASILEIRAS

Talita de Oliveira Santos
Zildete Rocha
Paulo Cruz
Vandir de Azevedo Gouvea
Flávia Luiza Soares Borges
João Batista de Siqueira
Laura Cardoso Takahashi

DOI 10.22533/at.ed.96621060114

CAPÍTULO 15..... 152

PHYSICAL DISTRIBUTION AND RADIOLOGICAL CONTRAST OF CEMENTS IMPLANTED *IN VITRO* VERTEBRAE

Carlos Julio Montañó Valencia
Sonia Seger Pereira Mercedes
Luciana Batista Nogueira
Tarcísio Passos Ribeiro de Campos

DOI 10.22533/at.ed.96621060115

CAPÍTULO 16..... 160

PROJETO DE UM PADRÃO UNIVERSAL DE BAIXO CUSTO PARA CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E INSPEÇÃO DE SOLDAGEM

Monalisa Pereira Silva
Maksym Ziberov

DOI 10.22533/at.ed.96621060116

SOBRE O ORGANIZADOR.....	170
ÍNDICE REMISSIVO.....	171

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE AR EM DIFUSORES PARA APLICAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 08/12/2020

Silmara Bispo dos Santos

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
<http://lattes.cnpq.br/1531926411008959>

Rodrigo Sabino Pereira

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
<http://lattes.cnpq.br/8885976197693204>

Francisco Carlos Lima de Souza

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
<http://lattes.cnpq.br/9263077966112948>

Keteri Poliane Moraes de Oliveira

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
<http://lattes.cnpq.br/9858489988459925>

Edson Godoy

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
<http://lattes.cnpq.br/0728397597035898>

RESUMO: Atualmente, a eletricidade em todo o mundo é obtida de fontes não renováveis. No entanto, fontes limpas e renováveis têm

se mostrado mais atraentes para a geração de energia, porque representam uma solução potencial para o problema do aquecimento global. Portanto, há um aumento constante de usos de fontes alternativas de geração de energia, como o vento. No Brasil, a geração eólica ocorre principalmente com o uso de turbinas de grande porte, em regiões onde a velocidade média é superior a 7 m/s, sendo a geração eólica por meio de microgeradores ainda incipiente. Técnicas para a geração de energia eólica em escala micro (principalmente em locais de baixas velocidades de vento) precisam ser aprimoradas de modo a se obter uma maior eficiência de conversão e favorecer a viabilidade deste aproveitamento. Este estudo foi desenvolvido para avaliar o comportamento do escoamento do ar em difusor para aplicação na geração de energia eólica. Os modelos D2, D8, D16 e D13 foram os que promoveram maior aumento de velocidade do vento dentro do bocal, porém com desvantagem em relação ao modelo D18 devido a possuírem maior relação de comprimento L/D o que na prática pode contribuir para um maior custo de aplicação destes modelos. O modelo D16 se destacou por apresentar uma razão de potência de 8,86, e uma relação entre a velocidade máxima e a velocidade de corrente livre igual a 2,07. Para futuros estudos, pretende-se ainda trabalhar com melhoramento das geometrias, suavizando as curvas do bocal criando-se um bordo de ataque que permita o alinhamento do escoamento para minimizar os efeitos de separação do fluido, encurtando-se também o comprimento do bocal utilizando espécies de flanges na saída do dispositivo para melhorar aproveitamento de

área de seção de escoamento e evitar a recirculação do ar para dentro do bocal.

PALAVRAS-CHAVE: Difusores aumentados, Dinâmica dos Fluidos Computacional, Potência Eólica.

COMPUTATIONAL SIMULATION OF AIR FLOW IN DIFFUSER FOR APPLICATION IN WIND POWER GENERATION

ABSTRACT: Currently, electricity worldwide is obtained from non-renewable sources. However, clean and renewable sources have been shown to be more attractive for power generation, because they represent a potential solution to the problem of global warming. Therefore, there is a constant increase in the use of alternative sources of energy generation, such as the wind. In Brazil, wind generation occurs mainly with the use of large turbines, in regions where the average speed is above 7 m/s, with wind generation through micro-generators still incipient. Techniques for generating wind energy on a micro scale (mainly in places with low wind speeds) need to be improved in order to obtain greater conversion efficiency and favor the viability of this use. This study was developed to evaluate the behavior of air flow in a diffuser for application in the generation of wind energy. The models D2, D8, D16 and D13 were the ones that promoted a greater increase in wind speed inside the nozzle, however with disadvantage in relation to the model D18 due to their greater L/D length ratio, which in practice can contribute to a greater cost of applying these models. The D16 model stood out for having a power ratio of 8.86, and a ratio between maximum speed and free current speed equal to 2.07. For future studies, it is also intended to work with the improvement of geometries, smoothing the nozzle curves creating a leading edge that allows the flow alignment to minimize the effects of fluid separation, also shortening the nozzle length using types of flanges at the outlet of the device to improve the use of the flow section area and avoid the recirculation of air into the nozzle.

KEYWORDS: Diffuser augmented, Computational Fluid Dynamic, Wind Power.

1 | INTRODUÇÃO

O vento tem sido uma das principais fontes de geração de energia renovável no Brasil nos últimos anos. Regiões com velocidades de vento mais baixas também poderiam se beneficiar da geração de energia eólica em pequena escala e geração descentralizada usando micro turbinas com rotores adequados para partidas de baixa velocidade. Além disso, o uso de dispositivos auxiliares, como difusores, pode contribuir para o aumento da velocidade do vento que atravessa o rotor e, conseqüentemente, causar um aumento da energia eólica gerada.

A exploração da energia eólica ocorre através da conversão da energia cinética contida nos ventos em energia mecânica e, posteriormente em energia elétrica, por meio de um gerador. A quantidade de energia cinética contida em um fluxo da massa de ar é função da velocidade do vento, da área varrida do rotor da turbina e da massa específica do vento. Na Figura 1 está representado um volume de controle contendo um rotor de turbina

eólica localizado entre as seções 2 e 3 de um difusor.

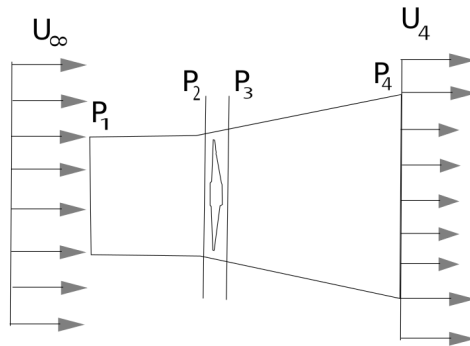


Figure 1. Volume de controle para análise do escoamento do vento em um difusor.

Considerando o vento com velocidade de corrente livre U_∞ , velocidade do vento na entrada do volume de controle que inclui a turbina U_2 , pressão P_1 igual a P_4 e igual a P_{atm} local, e desprezando diferença de pressão entre as seções 2 e 3, a potência eólica P do vento pode ser calculada pela Equação 1.

$$P = \frac{1}{2} \rho A U_2^3 \quad (1)$$

Onde ρ é a massa específica de ar (kg/m^3), A é a área varrida pelo rotor da turbina (m^2) e U_2 é a velocidade do vento que entra no rotor (m/s).

Em busca da geração alternativa de energia eólica baseada nas regiões com menores velocidades do vento, vários autores colocaram em prática suas pesquisas para acelerar o vento antes que ele passasse pelas pás da turbina usando um dispositivo tipo difusor. A turbina contendo este dispositivo é do tipo DAWT (turbina eólica com difusor aumentado). Após o primeiro modelo proposto por Lilley e Rainbird (1956), vários estudos experimentais e computacionais foram realizados (Oman et al., 1975), (Foreman et al., 1978), (Phillips et al., 2002). Estes estudos mostraram resultados experimentais que confirmam que as turbinas eólicas com difusor podem extrair muito mais energia do vento do que qualquer turbina sem difusor em condições de vento similar com o mesmo diâmetro do rotor. Estudos teóricos e numéricos foram realizados para investigar e melhorar o desempenho de DAWTs (Abe et al., 2005); (Ohya et al., 2008); (Jafari e Kosasih, 2014); (Wang et al., 2015). A maioria dessas pesquisas apresentou conclusões semelhantes com os resultados experimentais iniciais.

Ao longo de anos, este dispositivo foi sendo modificado para se conseguir o máximo de aproveitamento do vento com o mínimo de custo, surgindo com isso um termo conhecido como “Wind Lens Turbine” para o sistema de geração eólica que inclui a turbina e um

difusor de comprimento bastante reduzido com um grande flange conectado na sua saída. Devido a formação de vórtice na parte posterior do flange, uma enorme quantidade de fluxo de massa pode ser escoada pela turbina. Trabalhos experimentais de vários autores demonstraram que o limite de Betz pode ser excedido quando se utiliza uma turbina com este tipo de dispositivo difusor flangeado (Oka et al. 2016). O limite de Betz indica que, mesmo para as turbinas mais eficientes (turbinas de 2 ou 3 pás de eixo horizontal), é possível recuperar apenas um máximo de 59% da energia do vento, o que significa que o coeficiente teórico máximo de potência é, aproximadamente, 0,59.

Govindharajan et al. (2013), realizaram uma investigação numérica para a otimização no projeto de um difusor flangeado do tipo Wind Lens, que trata do efeito das regiões de baixa pressão geradas pelo dispositivo sobre a vazão mássica através da turbina eólica e aumento de torque.

Kunjir et al. (2018) realizaram uma análise da performance de turbinas eólicas usando tecnologia de Wind Lens em que eles analisaram que a estrutura de anel com abas simples cria turbulência atrás das pás da turbina para atrair mais fluxo de ar para a turbina. A estrutura efetivamente aumentou a velocidade da turbina e, portanto, levou a um aumento de 20 a 25% da potência gerada.

Considerando a necessidade de se ampliar o entendimento sobre como ocorre o escoamento do ar nestes dispositivos e o aumento na geração de potência destes sistemas, muitos trabalhos tem sido desenvolvidos utilizando ferramentas de CFD (Computational Fluid Dynamics). O uso de CFD, permite estudar e interpretar fenômenos de um escoamento de fluido e prever resultados, possibilitando a otimização de sistemas com significativa redução do número de experimentos e de custos para a construção de protótipos.

Diante disso, com este trabalho tem-se, o objetivo de analisar por meio de ferramentas de CFD, o efeito de diferentes geometrias de difusores aumentados sobre o comportamento do escoamento internamente e ao redor destes dispositivos.

2 | COMPUTATIONAL PROCEDURE

As etapas para o desenvolvimento de estudos utilizando ferramentas de CFD incluíram:

- 1) Definição da geometria a ser analisada e do domínio computacional (limite físico onde as equações básicas da mecânica dos fluidos serão resolvidas).

Uma representação genérica da geometria a ser avaliada está representada na Figura 1, porém foram avaliadas diferentes geometrias variando-se ângulos de divergência do bocal (α), e variando-se as relações de comprimento e diâmetro de entrada (L/D). Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros utilizados para a criação das geometrias.

Modelo	α	L/D
Difusor 1 – D1	5	3,0
Difusor 2 – D2	5	2,5
Difusor 3 – D3	5	2,0
Difusor 4 – D4	5	1,5
Difusor 5 – D5	5	1,0
Difusor 6 – D6	5	0,5
Difusor 7 – D7	10	3,0
Difusor 8 – D8	10	2,5
Difusor 9 – D9	10	2,0
Difusor 10 – D10	10	1,5
Difusor 11 – D11	10	1,0
Difusor 12 – D12	10	0,5
Difusor 13 – D13	15	3,0
Difusor 14 – D14	15	2,5
Difusor 15 – D15	15	2,0
Difusor 16 – D16	15	1,5
Difusor 17 – D17	15	1,0
Difusor 18 – D18	15	0,5

Table 1. Parâmetros utilizados para a criação das geometrias.

2) Geração de malhas, onde o volume ocupado pelo fluido é dividido em células discretas.

3) Definição das condições de contorno, onde as condições limites foram definidas. Isso envolveu a especificação do comportamento do escoamento, considerado como incompressível e em regime permanente e das propriedades do fluido nos limites do problema.

4) Simulação computacional, etapa em que as equações foram resolvidas iterativamente usando um modelo de turbulência.

5) Pós processamento, etapa onde os dados numéricos e gráficos (resultados) de gradientes de velocidade e de pressão em todo o campo de escoamento foram analisados.

As etapas deste estudo foram desenvolvidas utilizando o pacote Ansys Fluent.

Para a solução das equações o escoamento foi considerado isentrópico com velocidade de corrente livre de 4,0 m/s a montante e pressão manométrica igual a zero a jusante do escoamento. A massa específica do ar foi considerada de 1,2 kg/m³, a viscosidade dinâmica de 1,79 x10⁻⁵ kg/m.s e velocidade zero nas superfícies interna e externa do bico respeitando a condição de parede ou seja a condição de não escorregamento.

O domínio do modelo foi construído de acordo com o mostrado na Fig. 2, ou seja, baseado em um plano seccional 2D longitudinal com o eixo de simetria no centro do bocal divergente.

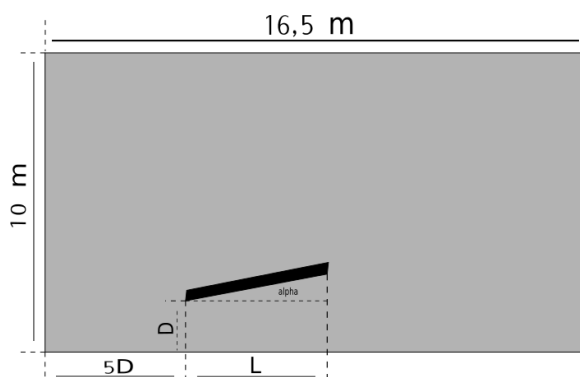


Figura 2. Domain of the model.

A discretização do domínio foi baseada em uma malha estruturada com elementos quadriláteros. Para a malha padrão, foi gerado um total de 4 malhas com número de elementos diferentes e, em seguida, foi realizada uma análise de convergência da malha em função do gradiente de velocidade no centro do bocal, na região central da simetria conforme mostrado na Figura 3.

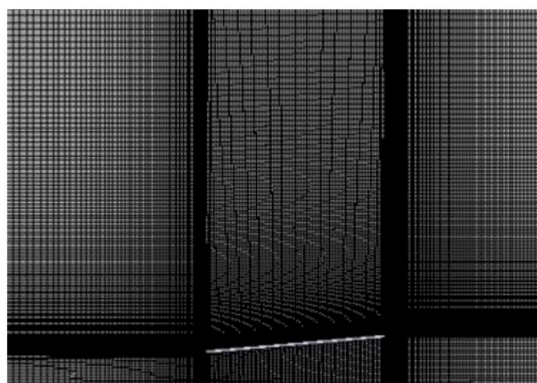


Figura 3. Domínio (a) e malha (b) gerados para o modelo computacional

Na etapa de simulação, foi utilizado o modelo de turbulência $k-\omega$ SST com 5% de intensidade de turbulência e 0,45 de escala de turbulência. O algoritmo SIMPLE foi utilizado para tratar o acoplamento velocidade e pressão devido ao conhecido bom desempenho em

uma grande gama de problemas. Para a discretização espacial das equações de transporte utilizou-se o esquema Upwind de segunda ordem. O critério de convergência de 10^{-6} foi aplicado.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gradientes de velocidade obtidos por simulação computacional do escoamento em bocal divergente com ângulo de 5° estão apresentados na Figura 4.

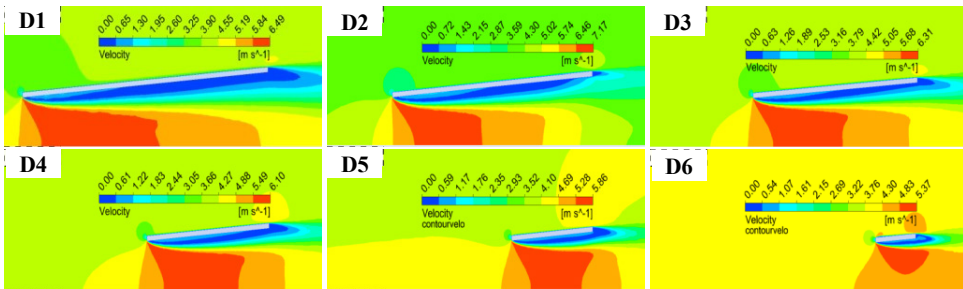


Figura 4. Gradientes de velocidade para os modelos com ângulo de divergência de 5° .

Para os modelos de bocais com ângulo de divergência de 5° observa-se um aumento na velocidade do fluido na região interna do bocal divergente em relação a velocidade de corrente livre (4,0 m/s) para todas as relações L/D. O modelo que proporcionou maior aumento da velocidade do fluido dentro do bocal de ângulo de 5° foi o Difusor 2 cuja relação L/D é igual a 2,5, seguido do Difusor 1 com relação L/d igual a 3. A relação entre a velocidade máxima do fluido dentro do bocal e a velocidade de corrente livre para o Difusor 2 foi de 1,8, indicando que este modelo promove um aumento na velocidade de corrente livre de 80%.

De acordo com os resultados obtidos por simulação, para relação L/D inferior a 2,5, a diminuição do comprimento do bocal, causa uma redução no aumento de velocidade, ou seja, quanto menor o comprimento do bocal, menor o aumento da velocidade na região interna do mesmo.

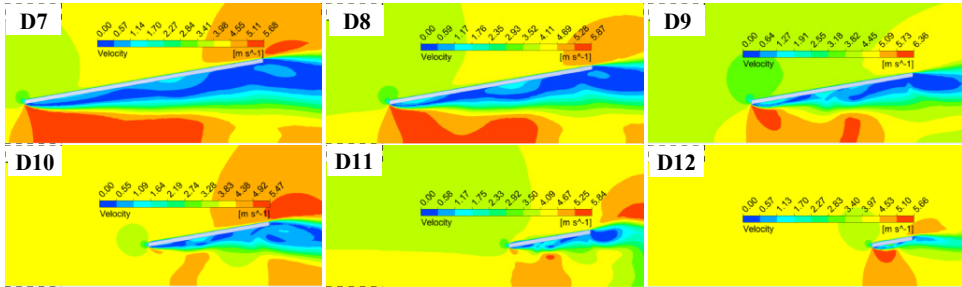


Figura 5. Gradientes de velocidade para os modelos com ângulo de divergência de 10°.

Para os modelos com ângulo de divergência em 10°, verificou-se que existe uma variação de acordo com a relação L/D, na posição em x onde ocorrem os aumentos de velocidade dentro do bocal, conforme mostrado na Figura 5.

Possivelmente, isso ocorre devido à presença de reentrada de fluido (efeitos de vorticidade) a jusante do bocal. Isso se deve ao fato de que a recirculação é mais intensa na parte posterior onde ocorre separação do escoamento.

Os modelos D7 e D8 foram os que apresentaram maior aumento na velocidade do vento. O melhor caso para este ângulo foi o modelo D8, onde sua relação de comprimento L/D também é 2,5 assim como observado para os modelos com ângulo de difusão de 5°. Para este modelo de difusor, a relação entre a velocidade máxima do fluido dentro do bocal e a velocidade de corrente livre foi de 1,45. Os demais casos apresentaram pequenas regiões com velocidade aumentada e, portanto, podem contribuir bem menos para o aumento da potência eólica a ser gerada por uma turbina eólica instalada nestes dispositivos.

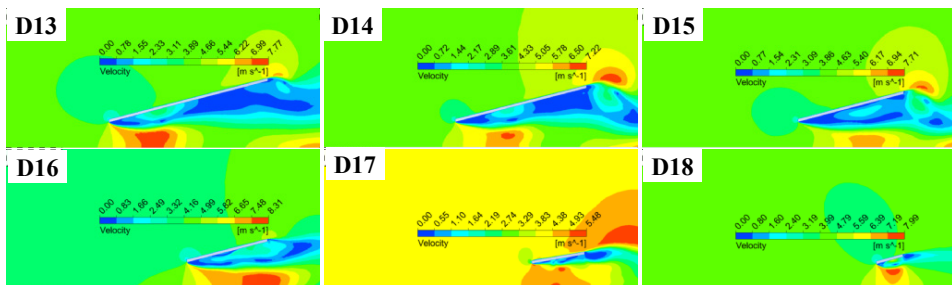


Figura 6. Gradientes de velocidade para os modelos com ângulo de divergência de 15°.

Os gradientes de velocidade obtidos para os bocais com ângulo de 15° estão apresentados na Figura 6. Observa-se um ganho em todos os difusores com ângulo de difusão de 15°, porém os difusores D13 (L/D = 3), D16 (L/D = 1,5) e D18 (L/D = 0,5) se

destacaram apresentando maior aumento na velocidade de escoamento.

Nesta categoria de ângulo de divergência, o modelo D16 se destacou por possuir uma velocidade máxima de 8,3 m/s, porém isso ocorreu na região próxima a jusante do bico. O caso D13 trouxe bons resultados quando comparado com o também, porém, possui uma relação comprimento superior de L/D. A redução de L/D dos bocais D13 para D16 proporcionaram algumas interferências na magnitude da velocidade, com diferença na localização das velocidades máximas dentro do bocal. Este fato pode estar associado ao aumento da vorticidade resultante da mudança na geometria a jusante do bocal.

Fazendo uma análise de todos os modelos simulados, os modelos D2, D8, D16 e D13 são os melhores casos de todos os modelos analisados. Comparando esses modelos, o destaque para os resultados dos casos D2, D13 e D16, por possuírem uma maior área de uso com velocidade aumentada para aproveitamento eólico. Em um caso isolado, o modelo D18 apresenta uma pequena região onde possui a velocidade máxima, porém, suas velocidades para a área total atingem uma média aproximada em 7,1 m/s ao longo do raio do bocal, o que pode ser um bom resultado considerando sua menor relação de comprimento ($L/D = 0,5$) o que é uma vantagem quando comparado com os outros modelos pois pode favorecer a redução significativa de material de fabricação e também reduzir custos associados a ancoragem destas estruturas. Considerando a densidade do ar igual a 1,2 kg/m³ para a área circular com o diâmetro unitário, a potência eólica para uma turbina idealizada sem o bocal divergente instalado (calculado conforme Equação 1) e considerando ainda a velocidade do fluxo livre de 4 m/s seria de 30,2 W. A Tabela 2, mostra as potências máximas teóricas para os modelos D2, D8, D13, D16 e D18.

Modelos	Ângulo de divergência	L/D	Potencia Eólica Teórica (W)
Sem Bocal divergente	—	—	30,20
D2	5°	2,5	173,61
D8	10°	2,5	91,89
D13	15°	3	223,51
D16	15°	1,5	269,45
D18	15°	0,5	168,58

Tabela 2. Resultados para potência eólica teórica dos difusores que promoveram maior aumento de velocidade do vento.

De acordo com os valores obtidos neste trabalho, os resultados para o grupo de divergência de 5° aproximam-se dos analisados por (Ohya et al., 2008a) e (Matsushima et al., 2006a), que apresentam os melhores resultados para o bocal difusor próximo ao ângulo de 5° e 6°. No trabalho do (Chaker et al., 2012), são apresentadas discussão sobre

os resultados do bocal com o ângulo de divergência de 5° a 15° , neste trabalho os autores relatam que para ângulos maiores que 5° a aplicação de um flange na jusante do bocal tornou-se atraente. Com o flange, o melhor resultado encontrado por esses autores são 12° de ângulo de divergência. Portanto, o uso deste flange afeta na região de deslocamento onde ocorre o efeito de recirculação, para evitar que o fluido retorne após a saída do bocal, isso promove o ganho de velocidade e garante que seus grandes gradientes de velocidade possam ser deslocados para a entrada do bico, melhorando o aproveitamento da área da turbina do rotor.

No presente trabalho, todos os modelos avaliados mostraram a separação do escoamento do fluido na região interna do difusor próximo à parede. Este efeito é uma função da mudança abrupta da borda de ataque e seu ângulo de divergência. Os modelos de grupo do ângulo 10° e 15° possuem uma grande região de divisão de fluxo e isso interfere na área útil para a geração de energia, portanto, um estudo deste efeito também nas superfícies desse tipo de bocal buscando a suavização na entrada do difusor terá de ser considerado.

Mansour e Meskinkhoda (2014) em estudo utilizando a simulação computacional para prever o comportamento do fluxo do vento em bocal com o ângulo difusor de 4° e relação L/D de 1,5 obtiveram resultados da razão de velocidade em torno de 1,3 também sem flange na saída do bocal. Para a relação angular de 5° e L/D de 1,5, a relação de velocidade observada no presente estudo foi próxima a 1,52. Esses autores verificaram que é possível aumentar a razão de velocidade de 1,3 para aproximadamente para 1,7 com a mesma relação de comprimento usando um tamanho adequado de flange na saída do bocal. Um aumento significativo na velocidade do vento foi obtido com a geometria do caso D16, onde a taxa da velocidade na região interna do bocal chegou a 2,07. Para este caso a relação entre a potência teórica em uma turbina sem difusor e uma turbina com difusor é de aproximadamente 8,86.

Abe et al., (2005), e Ohya et al., (2008) em análises numéricas e experimentais, observaram que a potência para turbinas com o difusor é quase 4 vezes maior para a razão da velocidade do 1,5 e 1,6. O aumento de potência observado com a utilização da turbina eólica no bico deve-se, entre outros fatores, ao incremento da vazão mássica ocasionado pela redução da pressão na saída da vazão. A diferença observada pode ser explicada no primeiro estágio como a variação da relação de velocidade. A diferença nessas relações de velocidade será observada quando a simulação ocorrer com a turbina eólica. Além disso, estima-se que para resultados experimentais as razões de velocidade sejam menores do que casos numéricos apresentadas neste trabalho.

3.1 Efeito do ângulo do difusor sobre o escoamento

Para avaliar o efeito do ângulo do difusor sobre a velocidade do escoamento do vento dentro do bocal, os casos foram agrupados mantendo-se constante as relações de

comprimento, ou seja, comparando-se o caso D1 com o D7 e D13, D2 com o D8 e D14, D3 com o D9 e D15, D4 com o D10 e D16, D5 com o D11 e D17, D6 com o D12 e D18.

De acordo com os resultados mostrados, conforme esperado observa-se que o ângulo de abertura do difusor tem efeito sobre os gradientes de velocidade. Para ângulo de 5° é possível observar gradientes de velocidade bem definidos com as máximas velocidades ocorrendo na região do centro do bocal em praticamente todas as relações de comprimento. São perfis de velocidade em desenvolvimento, ou seja, com variações observadas também na direção x . Comportamento semelhante é observado para ângulo de 10° e relações de comprimento de 3 e 2,5 e para ângulo de 15° com relação de comprimento de 3. Para os ângulos de abertura de 10° e 15° , observa-se uma maior espessura de escoamento separado na parte interna do bocal e conseqüentemente menor área de seção de escoamento do fluido quando comparado com os casos de ângulo de 5° , minimizando o aumento de velocidade em grande parte do bocal.

Apesar disso em algumas regiões para os casos com ângulo de 15° e relações de comprimento de 3 e de 1,5 observou-se aumento expressivo da velocidade do fluido em relação à velocidade de corrente livre.

3.2 Efeito do comprimento do bocal sobre a velocidade do escoamento do vento

Para avaliar o efeito do comprimento do bocal sobre a velocidade do escoamento, os gradientes de velocidade foram organizados mantendo-se o ângulo do difusor constante variando-se a relação de comprimento do bocal.

A diminuição da relação de comprimento do bocal causa efeito sobre o escoamento, independente do ângulo de abertura, porém quando o ângulo de abertura é de 10° e de 15° este efeito é somado com o efeito da pressão externa em torno do bocal. Com a diminuição do comprimento do bocal, aumenta-se o efeito dos gradientes de pressão externa sobre o escoamento interno ao bocal. Quanto menor a relação de comprimento, menor é a região com máximas velocidades, provavelmente devido ao efeito de recirculação do fluido na saída do bocal. Para minimizar os efeitos do escoamento externo sobre o interno, a colocação de um flange na saída do bocal tem sido testada com resultados interessantes (Abe *et al.*, 2005a), (Ohya *et al.*, 2008a), porém o uso deste tipo de dispositivo não foi objeto de avaliação neste trabalho.

4 | CONCLUSÃO

Para ângulo de 5° é possível observar gradientes de velocidade bem definidos com as máximas velocidades ocorrendo na região do centro do bocal em praticamente todas as relações de comprimento. Para os ângulos de abertura de 10° e 15° , observa-se uma maior espessura de escoamento separado na parte interna do bocal e conseqüentemente menor

área de seção de escoamento do fluido quando comparado com os casos de ângulo de 5° , minimizando o aumento de velocidade em grande parte do bocal.

A diminuição da relação de comprimento do bocal causa efeito sobre o escoamento, independente do ângulo de abertura, porém quando o ângulo de abertura é de 10° e de 15° este efeito é somado com o efeito da pressão externa em torno do bocal. Quanto menor a relação de comprimento, menor é a região com máximas velocidades, provavelmente devido ao efeito de recirculação do fluido na saída do bocal.

Os modelos D2, D8, D16 e D13 foram os que promoveram maior aumento de velocidade do vento dentro do bocal, porém com desvantagem em relação ao modelo D18 devido a possuírem maior relação de comprimento L/D o que na prática pode contribuir para um maior custo de aplicação destes modelos. O modelo D16 se destacou por apresentar uma razão de potência de 8,86, e uma relação entre a velocidade máxima e a velocidade de corrente livre igual a 2,07. Para futuros estudos, pretende-se ainda trabalhar com melhoramento das geometrias, suavizando as curvas do bocal criando-se um bordo de ataque que permita o alinhamento do escoamento para minimizar os efeitos de separação do fluido, encurtando-se também o comprimento do bocal utilizando espécies de flanges na saída do dispositivo para melhorar aproveitamento de área de seção de escoamento e evitar a recirculação do ar para dentro do bocal.

NOTA DE RESPONSABILIDADE

O autor(s) é (são) o único responsável pelo material incluído nesse artigo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro recebido da FAPEMAT (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso) para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Abe, K., Nishida, M., Sakurai, A., Ohya, Y., Kihara, H., Wada, E. and Sato, K., 2005. "**Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser**". *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, Vol. 92, pp. 951–970.

Chaker, R., Kardous, M., Aloui, F. and Nasrallah, S.B., 2012. "**Relationship between open angle and aerodynamic performances of a dawt**". In *The Fourth International Renewable Energy COngress - IREC2012*. Sousse, Tunisia.

Foreman, K.M., Gilbert, B. and Oman, R.A., 1978. "**Diffuser augmentation of wind turbines**". *Solar Energy*, Vol. 20, pp. 305–311.

Hau, E., 2006. **Wind Turbines – Fundamentals, Technologies, Application and Economics**. Springer, Germany, 2nd edition.

Jafari, S.A.H. and Kosasih, B., 2014. “**Flow analysis of shrouded small wind turbine with a simple frustum diffuser with computatona fluid dynamics simulations**”. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, Vol. 125, pp. 102–110.

Matsushima, T., Takagi, S. and Muroyama, S., 2006. “**Characteristics of a highly efficient propeller type small wind turbine with a diffuser**”. *Renewable Energy*, Vol. 31, pp. 1343–1354.

Ohya, Y., Karasudani, T., Sakurai, A., Abe, K. and Inoue., M., 2008. “**Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser**”. *Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, pp. 524–539.

Oman, R.A., Foreman, K.M. and Gilbert, B.L., 1975. “**A progress report on the diffuser augmented wind turbine.**” In *In Proceedings of the 3rd Biennial Conference and Workshop on Wind Energy Conversion Systems*. Washington, DC, USA.

Phillips, D.G., Richards, P.J. and Flay, R.G.J., 2002. “**Cfd modelling and the development of the diffuser augmented wind turbine**”. *Wind Struct*, Vol. 5, pp. 267–276.

Wang, W.X., Matsubara, T., Hu, H.F., Odahara, S., Nagai, T., Karasutani, T. and Ohya, Y., 2015. “**Experimental investigation into the influence of the flanged diffuser on the dynamic behavior of cfrp blade of a shrouded wind turbine**”. *Renewable Energy*, Vol. 78, pp. 386–397.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ansys 78, 79, 86, 91, 92, 135

Arduino 1, 2, 3, 7, 37

Arrastador 70, 71, 72, 74, 75, 76

Automação 1, 2, 6, 7, 35

Azeotropia 70, 71, 73, 75, 76

B

Barras 36, 78, 79, 83

Bim 56, 57, 58, 68, 69

C

Calibração 160, 161, 162, 167, 168, 169

Cimento ósseo 152

CNC 34, 35, 39

Contraste radiológico 152

Custos 6, 28, 30, 31, 32, 57, 134, 139, 168

D

Depreciação 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 52, 53, 54, 55

Difusores 131, 132, 134, 138, 139

Dinâmica dos fluidos 132

E

Eficiência 8, 10, 13, 15, 18, 19, 21, 23, 75, 92, 114, 118, 119, 121, 124, 125, 131

Elementos finitos 78, 79, 90, 91

Equilíbrio 9, 10, 70, 71, 72, 73, 74, 80, 82, 104, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150

Equipamentos 2, 8, 36, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 57, 100, 101, 105, 112, 114, 122, 125, 160, 161, 162, 168

F

Fator de equilíbrio 144, 145, 146, 147, 148, 149

Fibras vegetais 94

Flexão 78, 79, 80, 81, 82, 83, 93, 94, 97, 98, 100, 105, 109, 110, 111

Flexão estática 93, 94, 97, 98

G

Guincho 100, 101

H

Hidroxiapatita 152

I

Iluminação 1, 2, 4, 6, 20, 21, 26, 28, 30, 31, 32, 33

Incompatibilidade 56, 57, 61, 62, 63, 68

Industrial 7, 18, 19, 20, 21, 23, 32, 33, 77, 113, 143

Inspeção de solda 160, 167

Inversor multinível 8, 10

L

Led 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33

M

Máquinas 34, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 100, 101, 111, 112

Métodos de avaliações 41

Mistura 70, 71, 72, 75, 147

O

Obra pública 56, 57

P

Peltier 113, 114, 122, 123

PenPlotter 34, 35, 38, 39

Periférico 1

Potência eólica 132, 133, 138, 139

Precisão 34, 35, 78, 79, 92, 96, 120

Projeto 2, 6, 25, 26, 28, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 56, 57, 58, 61, 63, 64, 68, 78, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 115, 116, 118, 121, 123, 134, 147, 160, 161, 162, 163, 167, 168, 169

Prototipagem 3D 113

Q

Qualidade de energia 8, 10, 13

S

Sistema 1, 2, 4, 5, 6, 21, 22, 35, 37, 39, 58, 65, 66, 68, 71, 73, 80, 87, 94, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 112, 114, 115, 116, 120, 121, 133, 149, 152, 169

Sistema de transmissão 100, 102, 103, 112

Soldagem 160, 162, 164, 165, 167, 168, 169, 170

Sustentabilidade 8, 21, 94

T

Transferência de calor 113, 123, 124, 125, 126, 127, 128

V

Valor residual 40, 42, 43, 44, 53, 55

Viabilidade 20, 21, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 128, 131, 169

X

XSEOS 70, 71, 74, 75, 76

Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 