

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

3

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

3

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

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
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto 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
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliansi Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 3 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-893-9

DOI 10.22533/at.ed.939211603

1. Engenharia. I. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. 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

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

SUMARIZAÇÃO DO PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO DE TIPO MILITAR NO BRASIL PARA ADAPTÁ-LO A PRODUTOS ESPACIAIS

Daniel Rondon Pleffken

Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

DOI 10.22533/at.ed.9392116031

CAPÍTULO 2..... 11

ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE SEGURANÇA NO LICENCIAMENTO DE CENTRAIS NUCLEARES EM ÂMBITO NACIONAL E MUNDIAL

Jônatas Franco Campos da Mata

Amir Zacarias Mesquita

Bárbara Luísa Nunes Pereira Mendes

Bianca dos Santos Vales

Eliane Alves Souza

Emanuel Henrique Alves Azevedo

Enis de Campos Maciel Sobrinho

Ianca Alberta Caires Vieira

Jackson Ramon Silva Alcântara

Luiza Souza Vilane

Matheus Jesus Soares

Pedro Henrique Gomes do Nascimento

Thalles Rômulo Silva Lopes

DOI 10.22533/at.ed.9392116032

CAPÍTULO 3..... 20

PROPOSTA DE UM CUBESAT UNIVERSITÁRIO PARA DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS ESPACIAIS NACIONAIS

Eduardo Henrique da Silva

João Luiz Dallamuta Lopes

DOI 10.22533/at.ed.9392116033

CAPÍTULO 4..... 29

ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO NA LOCALIZAÇÃO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO PARA O CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA – MA

Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira

Marcelo Xavier Guterres

Anderson Ribeiro Correia

Paulo Cesar Marques Doval

DOI 10.22533/at.ed.9392116034

CAPÍTULO 5..... 46

TWO-PHASE TANK EMPTYING AND BURNBACK COUPLED INTERNAL BALLISTICS PREDICTION ON HYBRID ROCKET MOTORS

Maurício Sá Gontijo

Renato de Brito do Nascimento Filho

DOI 10.22533/at.ed.9392116035

CAPÍTULO 6.....57

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO CABO COBERTO DUPLA CAMADA NAS REDES COMPACTAS DA CEMIG D: GESTÃO EFICIENTE DO ATIVO – CAPEX/OPEX

Edmilson José Dias

Willian Alves de Souza

Fabio Lelis dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.9392116036

CAPÍTULO 7.....77

ANÁLISE DA SEGURANÇA DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE UMA EDIFICAÇÃO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE TEÓFILO OTONI-MG

Nadson Coimbra Amaral

Keytiane Iolanda Moura

DOI 10.22533/at.ed.9392116037

CAPÍTULO 8.....87

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO E OS SEUS REQUISITOS MÍNIMOS REGULATÓRIOS

Tito Ricardo Vaz da Costa

Isabela Sales Vieira

Thompson Sobreira Rolim Júnior

Felipe Gabriel Guimarães de Sousa

Saulo Rabelo de Martins Custódio

José Moisés Machado da Silva

Clarissa Melo Lima

DOI 10.22533/at.ed.9392116038

CAPÍTULO 9.....99

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA ARTICULADA PARA SIMULAÇÃO DE MOVIMENTO DE VEÍCULO AUTOMOTOR

Douglas Lucas dos Reis

João Vitor da Costa da Silva

Diego Tiburcio Fabre

Périson Pavei Uggioni

DOI 10.22533/at.ed.9392116039

CAPÍTULO 10.....112

MÉTODO HÍBRIDO PARA DETECÇÃO E REMOÇÃO DE SOMBRAS EM IMAGENS

Marcos Batista Figueredo

Eugenio Rocha Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.93921160310

CAPÍTULO 11.....120

MELHORIAS NO DESEMPENHO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA VIA PEQUENAS MUDANÇAS NO FLUXO DE CARGA CONTINUADO BASEADO NO PLANO

DETERMINADO PELAS VARIÁVEIS ÂNGULO E MAGNITUDE DA TENSÃO

Alfredo Bonini Neto
Jhonatan Cabrera Piazentin
Cristina Coutinho de Oliveira
Dilson Amancio Alves

DOI 10.22533/at.ed.93921160311

CAPÍTULO 12..... 136

UMA REVISÃO SOBRE AS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE SINAL E CLASSIFICADORES INTELIGENTES UTILIZADOS PARA A DETECÇÃO DE ILHAMENTO NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Viviane Barrozo da Silva
Ghendy Cardoso Júnior
Gustavo Marchesan
Júlio Cesar Ribeiro
Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão
Hebert Sancho Linhares Garcez Militão
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira
Inarê Roberto Rodrigues Poeta e Silva

DOI 10.22533/at.ed.93921160312

CAPÍTULO 13..... 170

SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ESTABILIDADE E INÉRCIA DA REDE ELÉTRICA E DE CAIXA DE ENGRENAGENS DE AEROGERADORES COM TRANSMISSÃO CVT MAGNÉTICA

Antonio Carlos de Barros Neiva
Fabricio Lucas Lório
George Alves Soares

DOI 10.22533/at.ed.93921160313

CAPÍTULO 14..... 187

ANÁLISE DA OBTENÇÃO DE RESULTADOS DE UMA REDE MALHADA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UM BAIRRO NA CIDADE DE CACOAL/RO UTILIZANDO O EPANET E PLANILHA ELETRÔNICA

Renato Gomes Lima
Jhonata Silva Nink
Caciano Batista Pacheco
Klinsman Enggleston Emerick Franco
Martina Tamires Lins Cezano
Helton Pires Moraes

DOI 10.22533/at.ed.93921160314

CAPÍTULO 15..... 198

CORRELAÇÃO CRUZADA NA APRENDIZAGEM MOTORA: UM ESTUDO COM SINAIS DE EEG (ELETROENCEFALOGRAFIA) VIA ESTATÍSTICA DE SINAIS

Florêncio Mendes Oliveira Filho
Gilney Figueira Zebende
Juan Alberto Leyva Cruz

Arleys Pereira Nunes de Castro
Everaldo Freitas Guedes
Aloísio Machado da Silva Filho
Andrea de Almeida Brito
Basílio Fernandez Fernandez

DOI 10.22533/at.ed.93921160315

CAPÍTULO 16.....206

DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS DIDÁTICOS DE INSTRUMENTAÇÃO

Luis Fernando Tolentino de Brito

DOI 10.22533/at.ed.93921160316

CAPÍTULO 17.....218

**GESTÃO DO CONHECIMENTO EMPREGANDO BPMN E PRÁTICAS DO GUIA PMBOK:
ESTUDO DE CASO NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO PATRIMONIAL**

Marcelo Ferreira Albano

Pablo Dantas Evangelista dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.93921160317

CAPÍTULO 18.....233

**OS DESAFIOS NO TRANSPORTE DE CARGAS INDIVISÍVEIS NO TRAJETO ANCHIETA/
IMIGRANTES AO PORTO DE SANTOS**

Rafael Martins Gomes

Daniel Henrique Godoy Michel

Igor Alexandre de Carvalho Bonifácio

Kethely Vytória Rodrigues de Sousa

Noemi Damasceno de Santana

Yan Lima dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.93921160318

CAPÍTULO 19.....242

**UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVO IDR EM FERRAMENTAS ELÉTRICAS DE BAIXA
POTÊNCIA, EXTENSÕES E MÁQUINAS DE SOLDA**

Marco Antonio Munhoz Sagasetta

Francisco de Assis da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.93921160319

CAPÍTULO 20.....251

**VOICE TRAINING: DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA TREINAMENTO DA
AVALIAÇÃO PERCEPTIVA-AUDITIVA DA VOZ**

Adilson Franke Neia Júnior

Maria Eugenia Dajer

Nathan Antônio Guerreiro

DOI 10.22533/at.ed.93921160320

CAPÍTULO 21.....260

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.93921160321

CAPÍTULO 22.....274

CROWDFUNDING: O CASO DA CLOUD IMPERIUM GAMES CORPORATION

Luciane Ribeiro Dias Pinheiro

Matheus Ferreira Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.93921160322

SOBRE OS ORGANIZADORES289

ÍNDICE REMISSIVO.....290

SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ESTABILIDADE E INÉRCIA DA REDE ELÉTRICA E DE CAIXA DE ENGRENAGENS DE AEROGERADORES COM TRANSMISSÃO CVT MAGNÉTICA

Data de aceite: 01/03/2021

Antonio Carlos de Barros Neiva

Centro de Pesquisas em Energia Elétrica
Cepel – ELETROBRAS
Brasil

Fabricio Lucas Lírio

Centro de Pesquisas em Energia Elétrica
Cepel – ELETROBRAS
Brasil

George Alves Soares

Jordão Energia LTDA
Rio de Janeiro - Brasil

RESUMO: Esta revisão da literatura trata de uma tecnologia que substitui a caixa de engrenagens mecânica por um sistema eletromagnético, desta forma reduzindo a necessidade de manutenção, aumentando a vida útil, melhorando a disponibilidade e a eficiência do aerogerador. Como resultado, ocorre aumento da eficiência e do Fator de Capacidade, melhorando o retorno do investimento e a competitividade do empreendimento. Será apresentado como a tecnologia também pode contribuir na solução do problema de estabilidade eletromecânica das redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, por transferir a estas a inércia mecânica do rotor aerodinâmico do aerogerador.

PALAVRAS-CHAVE: Aerogerador, M-CVT, Estabilidade de Rede, PDD, Vernier.

GRID STABILITY-INERTIA AND GEARBOX ISSUES OF WIND TURBINES SOLVED WITH MAGNETIC CVT

ABSTRACT: This literature review deals with a technology that replaces the mechanical gearbox with an electromagnetic system, thus reducing the need for maintenance, increasing the service life, improving the availability and efficiency of the wind turbine. As a result, there is an increase in efficiency and in the capacity factor, improving the return on investment and the competitiveness of the enterprise. It will be shown how this technology can also contribute to solving the problem of electrical grid stability by transferring mechanical inertia from the aerodynamic rotor to the electrical system.

KEYWORDS: Wind Turbine, M-CVT, Grid Stability, PDD, Vernier.

1 | INTRODUÇÃO

O crescimento da geração de energias renováveis é uma estratégia eficaz para redução de emissão de gases de efeito estufa e combate ao aquecimento global. O aumento da penetração destas fontes de energia deve continuar, tanto no Brasil como no mundo. Por este motivo se justificam esforços para evitar possíveis barreiras ao crescimento da geração das energias eólica e solar, fundamentais para o desenvolvimento sustentável da sociedade. No Brasil, os leilões de energia eólica têm alcançado preços surpreendentemente baixos, que é mais um indício da atratividade da

modalidade, e indicador da perspectiva de sua expansão. Este crescimento traz consigo problemas específicos ainda não resolvidos, e neste trabalho trata-se daqueles relativos à estabilidade da rede (1, 2, 3). Faz-se necessário registrar que o problema ora tratado não se refere à variabilidade natural do recurso eólico, que se dá em intervalos de tempo tipicamente maiores (minutos, horas, dias), enquanto que os intervalos de tempo dos fenômenos relevantes para a estabilidade da tensão e frequência da rede elétrica são significativamente menores.

No caso da energia eólica, a estabilidade das redes de transmissão é afetada principalmente quando há um número considerável de usinas gerando em uma região onde a rede é considerada fraca (2), em relação à potência de curto-circuito. Por exemplo, quando há uma perda de potência ativa, como na imediata saída de um gerador do sistema, ocorre uma queda da frequência (4), que não pode ser compensada pelos aerogeradores. A solução para esta limitação, principalmente em regiões onde existe grande disponibilidade do recurso eólico, configura um desafio tecnológico relevante¹.

Uma forma de apresentação do problema acima apresentado pode começar pela análise da evolução histórica da geração eólica para fins comerciais. Durante as décadas de 70 e 80, o tipo de aerogerador mais empregado ficou conhecido como modelo holandês (5), que tem rotação fixa e gerador de indução acoplado diretamente a uma rede forte. Neste caso, a rede impõe a rotação (RPM) do gerador, em função do número de polos e da frequência da rede. Com o progresso da eletrônica de potência, a utilização de aerogerador com rotação variável tornou-se viável (6), aumentando significativamente sua eficiência aerodinâmica.

Este trabalho apresenta a aplicação de caixa de transmissão magnética, com relação de transmissão continuamente variável (M-CVT, Magnetic Continuous Variable Transmission), em aerogerador. Neste caso, o gerador elétrico gira em rotação constante, enquanto o eixo primário tem rotação variável, comandada pelo algoritmo MPPT (Maximum Power Point Tracking), que além de operar na otimização aerodinâmica, também atua sobre a relação de transmissão do M-CVT. Desta forma, o sistema permite aplicação de um gerador síncrono diretamente conectado à rede elétrica, sem a necessidade do sistema de conversão (Link DC).

2 | PROBLEMA DE GERAÇÃO EÓLICA EM REDES FRACAS

A estabilidade é uma propriedade do Sistema Elétrico de Potência (SEP), para um dado ponto de operação, que assegura o retorno a um estado de equilíbrio aceitável após determinada perturbação. A estabilidade das redes de transmissão é degradada pela presença de um número considerável de usinas eólicas gerando em uma região onde a rede é considerada fraca (2), ou seja, com reduzida potência de curto circuito. Particularmente

¹ WEG Revista 72

a estabilidade eletromecânica está relacionada à capacidade do sistema em manter o sincronismo de seus geradores. Esta capacidade está associada ao balanço de potência ativa, no qual a inércia mecânica dos geradores convencionais (Hidroelétricas, Térmicas e Termo-Nucleares) exerce papel fundamental. A estabilidade de tensão, por outro lado, está associada a capacidade do SEP de suportar acréscimos de carga sem entrar em colapso de tensão, que está relacionado ao balanço de potência reativa. Já a estabilidade de frequência se refere à capacidade do SEP de manter a frequência frente a grandes variações de carga ou geração. Face às características particulares do Sistema Interligado Nacional (SIN), com intercâmbio de grandes blocos de energia a longas distâncias, é fundamental para a segurança operacional garantir que os parques eólicos sejam suficientemente robustos para suportar os impactos dinâmicos de perturbações sistêmicas bem como contribuir para o controle das tensões e da frequência (2, 7). Os curtos-circuitos nas redes de transmissão são eventos relativamente frequentes, e muitas vezes são causados pelos próprios aerogeradores (8), portanto a preocupação em manter a rede estável é uma realidade cotidiana. O Operador Nacional do Sistema (ONS) aponta que a gestão dos parques geradores de energia eólica no país, concentrados majoritariamente nas regiões Nordeste e Sul, bem como a perspectiva de seu crescimento na matriz eletroenergética do SIN, representa um grande desafio para o ONS (9). Portanto é imperativo que os parques eólicos colaborem em manter a estabilidade e tensão das redes nestas regiões, que tem redes fracas, caracterizadas por apresentar a geração no final de longas linhas radiais. Segundo (9), quando a penetração deste tipo de geração na região é menor do que 20%, este problema não chega a ser grave. Observem os seguintes fatos:

- Yan e Saha (10) relatam evento ocorrido em 28/10/2016 na Austrália, quando a rede tinha 50% de penetração de renováveis e uma oscilação relativamente modesta na rede resultou em um apagão.
- Um projeto da Scottish Power Transmission Ltd (11) enfatiza o risco advindo da fragilidade proveniente do aumento da penetração da energia eólica na região, e citam como consequências eventos de desconexão de geração, necessidade de isolamento de blocos de rede, blackouts ou graves danos em equipamentos. Colocam também que os parques eólicos em nada contribuem com a estabilidade da rede, e que as características dinâmicas da rede tem se transformado pela aplicação de eletrônica de potência de resposta rápida, sem a inércia da geração convencional.
- A WEG forneceu em 2013 dois Compensadores Síncronos Rotativos de 100 MVAR, pesando 310 ton cada, que foram instalados na Subestação Marmeleiro, em Santa Vitória do Palmar (RS), para estabilizar a rede que recebe energia de fontes eólicas².

A inércia associada a geração tradicional (hidráulica e térmica) contribui de forma

2 <http://www.gcinet.nl/en/news/4-gci-starts-development-on-wind-turbine-cvt>

destacada para estabilidade eletromecânica, auxiliando no equilíbrio de potência ativa. Os geradores eólicos controlados por equipamentos de eletrônica de potência, por sua vez, apresentam um sistema de controle bastante rápido que tem como principal objetivo o controle da potência ativa fornecida à rede e não a participação no balanço de potência ativa desta rede. Em determinadas regiões de rede fraca e alta penetração eólica pode ser necessária a adoção de equipamentos que contribuam para o aumento da inércia com o objetivo de aprimorar a estabilidade eletromecânica. Este é o caso do Compensador Síncrono Rotativo de Marmeleiro acima citado, conectado na rede de 525 kV do Rio Grande do Sul.

2.1 Características dos geradores elétricos mais frequentes nos aerogeradores

Os dois tipos de geradores elétricos mais empregados atualmente para energia eólica são o gerador síncrono de ímã permanente (PMSG, *Permanent Magnet Synchronous Generator*), onde 100% da energia gerada é transformada em corrente contínua, e posteriormente é convertida em corrente alternada por um inversor de frequência, e o gerador de indução duplamente alimentado (DFIG, *Doubly Fed Induction Generator*), no qual parte da energia passa por conversão CA-CC-CA e parte é alimentada diretamente para a rede elétrica. A principal vantagem do gerador DFIG em relação ao PMSG dá-se por motivos econômicos, já que somente parte da energia (20 – 30%) precisa ser convertida através do chamado link CC que tem alto custo(12). Entretanto existe uma grande preocupação quanto a sua capacidade de atendimento aos requisitos de qualidade de energia no caso de falha da rede (13). Segundo o autor, no caso de falha ou problema na rede, a tensão nos terminais diminui, a rotação sobe muito rapidamente, assim como a corrente, tornando o sistema instável. Por este motivo, afirma que é necessário encontrar uma solução adequada para compatibilizar a geração eólica com DFIG para suporte a transientes de baixa voltagem (LVRT, *Low Voltage Ride Through*), e as alternativas tecnológicas pelo autor analisadas demandam altos investimentos.

A solução DFIG usa eletrônica de potência para adequação ao padrão de tensão e frequência da rede. Entretanto esta solução apresenta eficiência elétrica limitada, e pode introduzir distorções harmônicas na rede (14), além de reduzir a inércia global do sistema. Segundo especialistas do ONS (8), esta característica representa uma grande ameaça à segurança do sistema, principalmente nas regiões onde está prevista uma elevada penetração das centrais eólicas. A falta de inércia associada a este tipo de geração é fator preponderante para que o problema assumam dimensões importantes, que podem impedir a operação para evitar evento de queda em cascata de blocos da rede (2).

3 | TRANSMISSÃO VARIÁVEL NA GERAÇÃO EÓLICA

Sistemas de transmissão mecânicos continuamente variáveis, popularmente

conhecidos por CVT, usam transmissão por atrito, através de correias metálicas sobre polias cônicas, ou esferas entre discos. Observa-se um uso cada vez maior do CVT em automóveis, não só por melhoria de desempenho e durabilidade do motor, como para redução de emissão de gases de efeito estufa (15).

Desde o final da década de 80 (16) surgem estudos para aplicação de CVT na geração de energia eólica, compatibilizando as variações de rotação do eixo primário do aerogerador, com uma rotação constante no eixo secundário que é acoplado ao gerador elétrico. Segundo a empresa *Japonesa Gear Chain Industrial B.V.2*, fabricante de CVT, “*A aplicação de um CVT em aerogerador tem sido a longo tempo o sonho dos projetistas*”. Verdonschot (14) compara o gerador de indução com o gerador síncrono, fazendo uso de um CVT para a geração eólica. Nejadkhaki *et al.* (15) concluem que o uso de transmissão variável pode aumentar a produção energética entre 7% e 8,5%, principalmente em locais com ventos mais fracos, devido a maior flexibilidade de ajuste das condições de operação do aerogerador. Os autores concluem também que, para o caso estudado, a taxa de transmissão maior deve ser aproximadamente três vezes superior que a taxa de transmissão menor. Ribeiro (18) estudou a aplicação de CVT em aerogerador de médio porte (300kW) e no modelo desenvolvido para demonstração usou relação de transmissão maior 3,46 vezes maior que a relação mínima, e concluiu ser possível obter um ganho médio de 10% de potência gerada com configuração com CVT. Segundo Mangialardi e Mantriota (16) a aplicação do CVT em geradores eólicos é motivada pelo aumento da flexibilidade na variação da rotação do rotor da turbina. Já segundo o NREL (19) os ganhos globais de energia com rotação variável do rotor podem atingir 20%. O uso do CVT possibilita aplicação de geradores de alta confiabilidade como os síncronos de ímã permanente e os assíncronos de indução com rotor em gaiola, que resulta em benefícios como a redução dos custos de manutenção e custo da eletrônica de potência (20).

Os sistemas eletrônicos de controle do CVT são específicos para cada aplicação, e tem se desenvolvido principalmente para os veículos elétricos (21). Um trabalho apresenta aplicação de CVT em helicópteros (22), mas considera que a tecnologia com base em atrito, como as apresentadas até esta seção, não é indicada para aplicações com exigências severas de uso, devido à baixa confiabilidade, alto custo de manutenção, vibração e eficiência limitada. Talvez por estes motivos, apesar das vantagens apresentadas, não existem aerogeradores comerciais que fazem uso de CVT mecânico.

4 | TRANSMISSÕES MAGNÉTICAS

A caixa de transmissão mecânica dos aerogeradores, também chamada de caixa de engrenagens, e segundo o *Global Wind Energy Council* (23) é responsável por 20% das falhas e 55% da indisponibilidade dos aerogeradores. Acoplamentos e transmissões magnéticas são dispositivos que se caracterizam por não haver contato mecânico entre os

eixos de entrada e de saída. Os eixos são conectados a rotores contendo imãs montados em geometria circular em torno do eixo de rotação, com polos magnéticos orientados ao longo do eixo, possibilitando a transmissão de movimentos mecânicos rotativos sem que haja contato físico. Por conseguinte, não causam desgaste dos seus componentes, e a transmissão do torque é realizada exclusivamente através da interação de fluxos magnéticos. A aplicação de sistemas de transmissão magnética traz vantagens de eliminar perdas por atrito, problemas de vibração, ruído e aquecimento, além de não precisar de óleo e demandar pouquíssima manutenção.

A tecnologia de acoplamentos magnéticos e caixas de transmissão magnéticas (MG, Magnetic Gears) vem sendo desenvolvida desde 1901, mas somente em torno de 2010 o número de publicações científicas a respeito teve crescimento notável (24), impulsionadas para aplicações de alta potência pelo grande desenvolvimento de imãs permanentes de alta densidade de energia. Este desenvolvimento permitiu uma característica importante do acoplamento magnético atual, a possibilidade de suportar um alto torque. Segundo estes autores, a densidade de torque que um MG concêntrico suporta vai de 70 a 150 kNm/m³.

Os autores (25) constataram que a taxa de transmissão magnética apresenta baixa eficiência quando se demanda alto torque e alta relação de transmissão, como é o caso da aplicação em energia eólica. Demonstraram que a forma mais eficaz para se obter uma relação de transmissão de 63:1 é usar duas caixas de transmissão magnéticas em série, sendo uma de 9:1 e outra de 7:1.

4.1 Transmissões magnéticas continuamente variáveis (M-CVT)

Segundo Tlali *et al.* (24), nos finais dos anos 60 surgiu o conceito de introduzir mais uma camada concêntrica que serviria como elemento modulador do fluxo magnético, desta forma, possibilitando o desenvolvimento das caixas de transmissão magnéticas continuamente variáveis (M-CVT, *Magnetic Continuous Variable Transmission*).

A partir do início deste século se intensificam as publicações sobre as M-CVT, destacando-se o trabalho desenvolvido na Universidade de Sheffield (26), que inclui nos estudos aplicação na geração de energia eólica.

Este trabalho resultou em produtos de mercado atualmente aperfeiçoados e disponibilizados pela empresa Magnomatics³ com sede na mesma cidade. Em trabalhos subsequentes da mesma equipe (27, 28), é apresentada a configuração da M-CVT na nacele do aerogerador, com geração síncrona e sem necessidade de inversores e compensadores de alta potência.

O princípio básico das tecnologias de engrenagens magnéticas variáveis consiste na rotação de três campos magnéticos girantes concêntricos. As rotações ω_1 , ω_2 e ω_3 dos três rotores são relacionadas pela equação 1, que depende do número de polos de cada rotor (n_1 , n_2 e n_3), conforme abaixo (29)

³ <http://www.magnomatics.com/>

$$n_1 \omega_1 + n_2 \omega_2 = n_3 \omega_3 \quad (1)$$

Desta forma, uma vez imposta uma destas rotações, define-se matematicamente a relação entre as outras duas rotações. Logo, sendo estabelecido o controle de sobre a rotação de um destes campos, está definido o controle da relação de transmissão entre os dois outros. Existem muitas configurações possíveis aplicando o princípio acima, para efeitos didáticos optou-se por apresentar a proposta em (27), onde há um estator com bobinas através das quais é possível estabelecer a rotação desejada para o rotor de controle, e assim estabelecer a relação de transmissão entre o rotor de barras e o rotor interno.

A maioria dos exemplos apresentados para aplicação em aerogeradores mostra o eixo das pás, que tem baixa rotação, ligado ao rotor de barras, e o rotor interno, sendo o eixo de alta rotação e com menor número de polos, acoplado ao gerador de energia. Uma das vantagens da tecnologia, segundo muitos autores (26 – 33), é a proteção de sobrepotência, pois quando o acoplamento magnético é submetido a um torque acima do limite, ocorre o desacoplamento magnético. Esta situação pode ser exemplificada pelo resultado de uma rajada de vento extremamente forte atingindo o aerogerador. Havendo neste momento o desacoplamento, o sistema elétrico não sofrerá impacto importante, e a rotação do rotor aerodinâmico será controlada por freios de segurança e controle do ângulo de passo das pás.

Deve-se destacar os trabalhos aplicando a M-CVT na geração eólica também vêm se desenvolvendo na Universidade de Novosibirsk (Rússia), onde os autores têm estudado o sistema para manter a rotação síncrona do gerador, garantindo estabilidade para a rede (30 - 33). Os autores apresentam simulações com resultados, para algumas configurações, como a apresentada na figura 1.

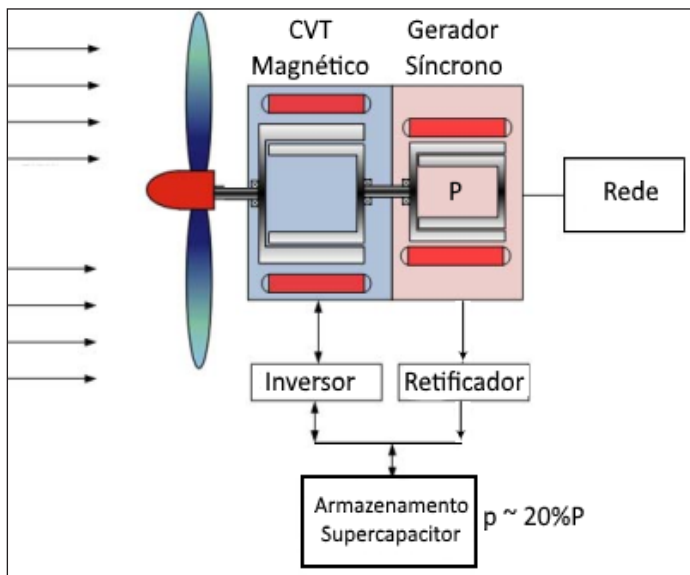


Figura 1 – Aerogerador com M-CVT e gerador síncrono (33).

O sistema de controle do aerogerador apresentado na figura 1, com objetivo de otimização da potência gerada em função das características do aerogerador e do vento, deve controlar também a taxa de transmissão do MCVT. Desta forma, o sistema tem como objetivo não somente o de trabalhar no ponto de máxima eficiência da curva característica do aerogerador, como também de atender aos padrões de qualidade da energia produzida, principalmente no caso de eventos súbitos na rede elétrica, de forma a colaborar ativamente no reestabelecimento da estabilidade do sistema. A alta estabilidade deste sistema é possível devido à transferência da inércia do sistema mecânico girante para a rede elétrica, e devido ao sistema de armazenamento de energia, que permite que o M-CVT absorva ou injete rapidamente energia, conforme necessidade detectada pelo sistema de controle. A potência do sistema de armazenamento recomendada pelos autores é de 20% da potência nominal do aerogerador. Os autores demonstram diversas vantagens desta configuração, que permite acoplamento a gerador síncrono diretamente conectado à rede elétrica. Ponderam ainda que pode haver problema de ressonância que deve ser investigado com maior profundidade. Outras técnicas de controle do desempenho aerodinâmico podem apresentar sinergia no sistema de controle integrado, destacando-se a tecnologia de atuadores de plasma na superfície das pás (33, 34).

4.2 Maquinas elétricas com modulação de fluxo magnético

Paralelamente ao desenvolvimento das transmissões M-CVT, o mesmo princípio

dos três campos giratórios concêntricos tem sido desenvolvido para máquinas elétricas (motores e geradores). Uma das aplicações de interesse na indústria eólica são os PDD (*Pseudo Direct Drive*) (35). Neste tipo de aplicação para aerogerador a caixa de engrenagens deixa de existir, e o eixo do rotor das pás é ligado diretamente no eixo de baixa do PDD, e o eixo de alta rotação é um gerador síncrono de ímãs permanente, mas não gira em rotação síncrona com a rede, ou seja, precisa de um link DC para conectar-se à rede. Neves *et al.* (29) apresentam uma metodologia de dimensionamento de gerador PDD para aplicação eólica, assim como comparam custos com sistemas de acoplamento direto e com caixas de engrenagens; e concluem que o PDD tem um custo muito inferior. Mais uma configuração que se apresenta é a aplicação de máquinas elétricas que usam o princípio Vernier de modulação de fluxo magnético. Esta tecnologia vem se desenvolvendo desde os anos 90, e tem vantagem de integrar a máquina geradora e o acoplamento continuamente variável em um só equipamento, além de permitir maior densidade de torque (35), podendo chegar até acima de 130 kNm/m^3 . As primeiras configurações de máquinas elétricas integradas com este tipo de transmissão sugeriram na primeira década deste século (25). Zaini *et al.* propõe uma configuração de gerador Vernier – M-CVT (36), apresentada na figura 2, que aparentemente tem vantagens não só em custo e tamanho do equipamento, como também tem melhor controle de harmônicos, segundo os autores.

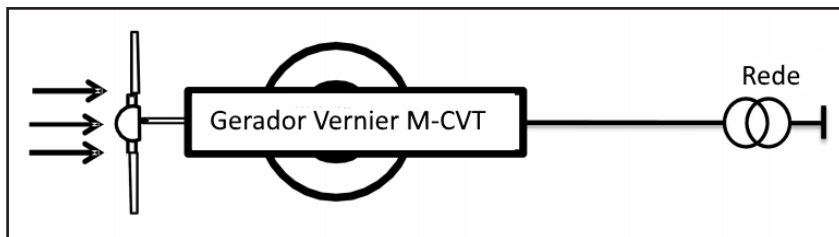


Figura 2 – Integração gerador-transmissão proposta para sistema eólico [36].

Uma máquina de ímãs permanentes *Vernier Pseudo Direct Drive* (VPDD) (37) apresentada na figura 3 apresenta rotor interno de alta rotação com pequeno número de polos e o externo, com muitos polos, é o rotor de baixa rotação. Uma VPDD pode ser considerada como uma combinação de uma máquina vernier de ímã permanente com uma máquina de ímã permanente; assim como, segundo os autores, pode ser também considerada como combinação entre um gerador síncrono de ímã permanente com uma máquina engrenagem magnética. Com a geometria otimizada apresentada, os autores demonstram resultados de densidade de torque de 130 kNm/m^3 e Fator de Potência de 0,94.

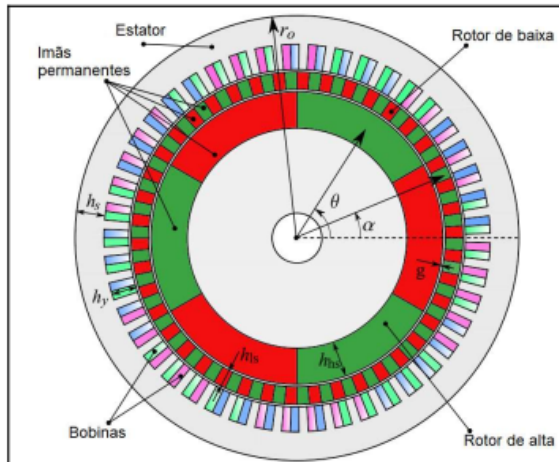


Figura 3 - Maquina Vernier Pseudo Direct Drive (VPDD) (37)

Ressalta-se que esta configuração não significa a justaposição de um M-CVT a frente de um gerador, mas sim uma integração efetiva dos campos magnéticos girantes, em uma mesma carcaça. Existe uma diversidade relativamente grande de topologias de máquinas elétricas com base no conceito das engrenagens magnéticas (36 - 38). Wang e Gerber (38) apresentam, a integração de um gerador de ímã permanente (PMG) com uma engrenagem magnética (MG) com estator interno. Esta configuração MGPMG (Engrenagem magnética com gerador de ímãs permanentes) apresenta vantagens em relação as demais opções analisadas (DFIG, PMG harmônica, PMG síncrona e PMG com estator externo), cuja configuração está na figura 4.

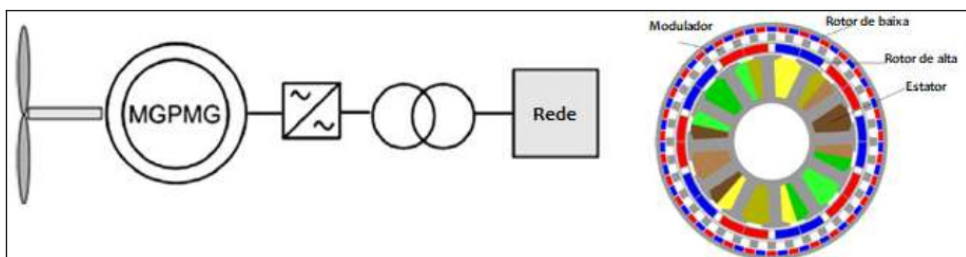


Figura 4 – Configuração do sistema (esq.) e dos rotores (dir.) do sistema de geração MGPMG (38)

Tlali *et al.* (39) apresenta de otimização de uma máquina MGPM (*Magnetically Geared Permanent Magnet*) proposta para aplicação em geração eólica, com estator externo, apresentada na figura 5. O processo contou com resultados obtidos com protótipo

de bancada, comparados aos resultados da modelagem. Para esta configuração, os autores concluem que existe uma relação inversamente proporcional entre a massa total da máquina e a massa de ímãs permanentes, que é parte relevante nas decisões do projeto. Vale ressaltar que as máquinas apresentadas nesta seção 3.2 não transferem a inércia mecânica para a rede elétrica, como o M-CVT apresentado na seção 3.1, porque precisam corrigir a frequência para a da rede elétrica.

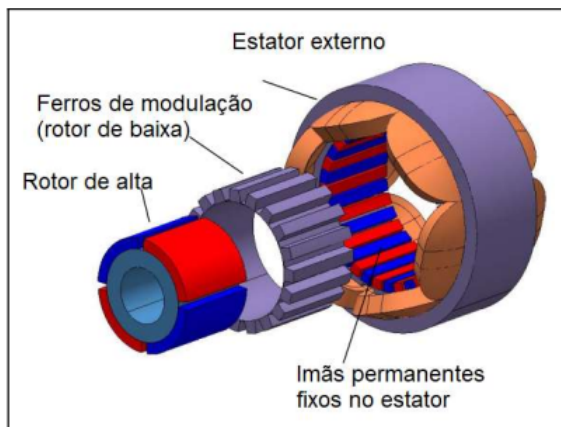


Figura 5 – Estrutura de uma máquina MGPM proposta para aplicação em geração eólica, com estator externo (39).

A variedade de topologias, configurações e sistemas que a tecnologia de engrenamento magnético de rotores permite, tornou a matéria um dos tópicos mais frequentes nas publicações sobre máquinas elétricas nos últimos anos (40), sendo que a figura 6 apresenta algumas das alternativas analisadas pelos autores.

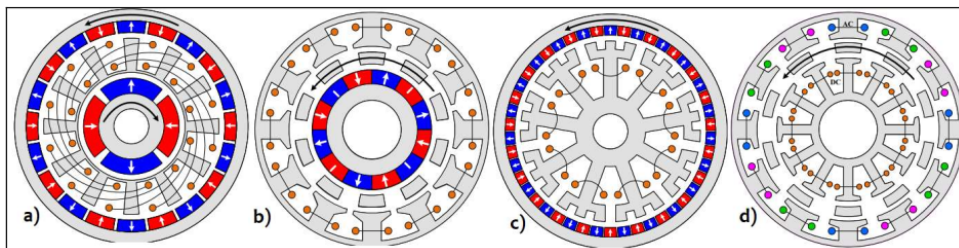


Figura 6- (a) Pseudo-Máquina com estator intermediário (b) PS-FRPM (*Partitioned Stator – Flux Reversal Permanent Magnet*); (c) Máquina Vernier com uma fresta de ar; (d) PS-VFRM (*Partitioned Stator – Variable Flux Reluctance Machine*) (40).

4.3 Protótipos

Muitos dos exemplos da literatura apresentam resultados de protótipos em ensaios em bancada, comparado a modelagem numérica. Como a tecnologia encontra-se em fase inicial de desenvolvimento, naturalmente há poucos exemplos de protótipos em escala piloto. Citamos dois casos de desenvolvimento envolvendo protótipos para aplicação eólica em andamento. Um destes é o programa europeu DemoWind (<http://www.demowind.eu>), voltado para financiamento de inovações voltadas para energia eólica offshore, realizou aporte de 1,5 milhões € para o projeto CHEG (Compact High Efficiency Generator - <https://cheg.eu>) que consiste em produzir e testar um aerogerador de 500 kW. Este projeto encontra-se em andamento, sob coordenação da Magnomatics (UK) tendo como parceiros a GL Garrard Hassan (NL) e a EDF R&D (UK), dentre outros.

O projeto INNWIND (41), coordenado pela DTU Wind Energy, trabalha com orçamento de 20€ milhões no desenvolvimento de aerogeradores da classe 10 a 20 MW, para aplicação offshore. A tecnologia PDD da Magnomatics concorre com a de gerador supercondutor nesta aplicação. A Figura 7 mostra foto e resultados com protótipo de bancada.

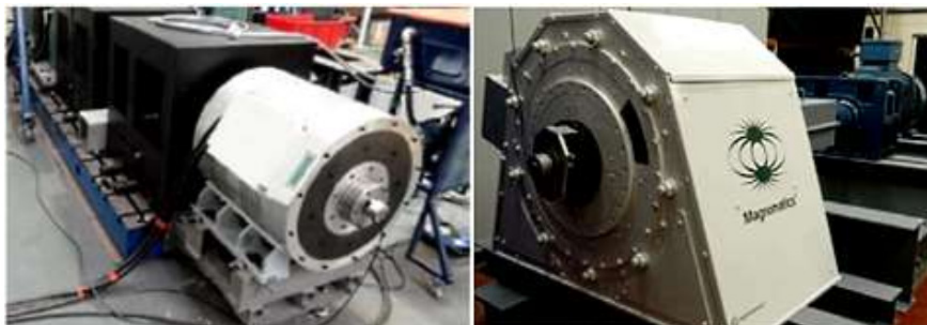


Figura 7 – Ensaio com PDD de 5 kNm (esquerda) e de 16 kNm (direita) do projeto INNWIND (41).

O relatório de 2017 do projeto INNWIND (41) cita que além dos PDD mostrados na figura 8, um protótipo de aerogerador usando PDD com torque de 200 kNm estava em fabricação para testes. O relatório avalia comparativamente ainda a tecnologia de gerador supercondutor com o PDD, e conclui que o acoplamento magnético (PDD) é mais competitivo em termos de preço e desempenho do que o gerador supercondutor, mas é vulnerável ao preço dos ímãs.

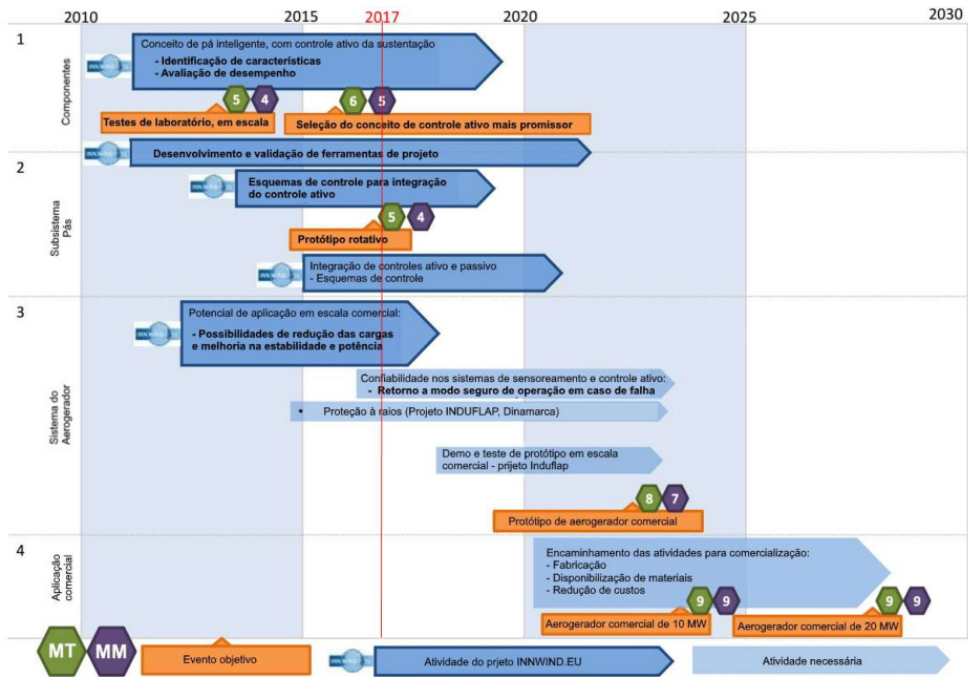


Figura 8 Panorama de evolução da tecnologia PDD, segundo relatório do projeto INNWIND de 2017 (41), considerando os níveis de Maturidade da Tecnologia (MT) e da Manufatura (MM).

5 I CONCLUSÕES

Considerando a experiência na operação e despacho de energia da região NE na ONS, Cisneros *et al.* (42) recomendam como medidas para melhorar o desempenho da Geração Eólica que os aerogeradores participem ativamente do controle de frequência e colaborem para resistir a impactos da rede elétrica. Em outras palavras, Bassini *et al.* (2) coloca que os parques eólicos devem oferecer uma referência estável para a rede, ao invés de depender da sua estabilidade.

Um relatório apresentado pelo NREL (43) indica que o uso de reserva inercial mecânica rotativa pode ser uma boa solução para o problema de estabilidade de rede com alta penetração de energias renováveis. Sem a inércia, um sistema demora mais para se recuperar de um evento de rede, podendo levar ao colapso do sistema. Fontes de energia com massa girante relativamente grande, que tem resposta inercial síncrona, corrigem automaticamente eventos que desestabilizam a voltagem e/ou a frequência do sistema (44). Os sistemas de geração com M-CVT, ou aquelas com o gerador embutido (PDD ou máquina Vernier), são uma classe de equipamentos que abre um grande leque de oportunidades na geração eólica. A tecnologia envolvida tem princípios bem conhecidos, mas as possibilidades de arranjos e geometrias definem uma área de conhecimento

ainda nova para a energia Eólica, por este motivo é possível que a configuração ideal, ou aquela que virá a ser aplicada, ainda não esteja claramente definida. A vantagem de aplicação de dois estágios de engrenamento sugerida por Park *et al.* (25), leva à avaliação da possibilidade da combinação de M-CVT com VPDD. Além disso, dentre as vantagens da tecnologia M-CVT citadas pelos diversos autores, só a equipe do Prof. Sergey Udalov (Universidade de Novosibirsk, 30-33) enfatiza o ganho de da estabilidade pela transferência da inércia mecânica para a rede elétrica. Uma vez que o mercado considere que esta seja uma característica de projeto importante, deverá ser incluída no processo de avaliação e seleção da configuração dos sistemas.

Eventualmente uma lacuna regulatória possa ser preenchida de forma a incentivar a adoção de tecnologias inovadoras que tragam soluções efetivas, como a que se apresenta.

Finalizando, a grande vantagem de ter um sistema de controle da geração que não depende basicamente dos parâmetros da rede para estabelecimento da sua operação, e sem a necessidade de um link de corrente contínua, vem a abrir interessantes possibilidades para solução do problema associado ao aumento da penetração da energia eólica na matriz energética nacional. A sinergia desta característica com a substituição da caixa de engrenagens mecânica por um sistema magnético sem contato potencializa expressivamente as possibilidades de ganhos e acelera o desenvolvimento da tecnologia. Os produtos disponibilizados e em desenvolvimento (41) apontam a existência de uma forte aposta em que os futuros aerogeradores de alta potência dispensem as transmissões mecânicas e integrem transmissão magnética e geração de energia em um só componente.

Entretanto a tecnologia ainda não está pronta para o mercado, e como se observa na figura 8, provavelmente só esteja em 2025. Futuros trabalhos devem reforçar o amadurecimento da tecnologia, através de modelagem, ensaios de bancada e em aerogeradores em escala piloto, e em escala industrial, de forma que esteja disponível para aumento da eficiência e redução do custo nivelado da energia para parques eólicos terrestres e offshore, especialmente para a família de aerogeradores acima de 10 MW. Os impactos da inserção destas tecnologias nos sistemas de potência em termos de estabilidade devem ser aprofundados na medida que podem exigir soluções de engenharia adicionais e o custo desta solução inserido no projeto ou mesmo indicar que algumas tecnologias sejam inapropriadas.

REFERÊNCIAS

(1) Ferreira, F.M.C. Gaspar, A.R., Filho, A.C.M.M. , Neto, A.S. , Menezes, C.M.C.D.L., Sobral, F.R., Melo, K.C.V.D., Vasconcelos, L.F.B. , Souto, M.F. , Quintao, P.M Estudos e Soluções para Integração de Usinas Eólicas em Redes Fracas \ Experiência do Planejamento da Operação XXIV SNTPEE Curitiba, 2017.

- (2) Bassini, M., Horita, M., Jardini, J., e Davies, M. Assessment of enabling technologies for the connection of wind farms to weak AC networks CIGRE Science & Engineering, V6, Oct 2016
- (3) Li, J., Bi, J., Yan, G., Ge, Y., e Jin, P., Research on improving power quality of wind power 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED 2016) Xi'an, 10-13 Aug, 2016
- (4) Wang, S., Hu J., Wang, S., Tang, H., Chi, S., Comparative study on primary frequency control schemes for variable-speed wind turbines IEEE J. Eng., 2017, Vol. 2017, Iss. 13, pp. 1332–1337 The 6th International Conference on Renewable Power Generation Oct. 2017
- (5) Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., e Bossanyi, E., Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, 2001
- (6) Hau, E. Wind Turbines Springer-Werlag, Berlin, 2006
- (7) Neiva, A.C.B., e Jasmim, I., Melhoria na Qualidade da Energia Produzida por Sistemas Eólicos com Armazenamento de Energia: Portfólio de Alternativas Brazil Windpower 2017
- (8) Sardinha, S.L.D.A.; Cisneiros, S.J.N.; Botelho, M.D.J.; Gomes, P.; Brasil, D.D.O.C.; Medeiros, F.D.C.; Bianco, A.; Quintao, P.E.M.; Barbosa, A.D.A.; Medeiros, A.D.R Aperfeiçoamento dos Requisitos Técnicos Mínimos para a Conexão De Centrais Geradoras Eólicas ao Sistema Interligado Nacional XXIII SNPTEE , 2015
- (9) Cisneros, S.J.N., Botelho, M.J., Brasil, D.O.C., Medeiros, F.C., Groetaers, M., Fernandes, A.B., Medeiros, A.D.R., Sardinha, S.L.A., e Bianco, A. (ONS) New challenges caused by the new energy sources in the Brazilian power system Paper CIGRE SC_C4_PS1_104 2014
- (10) Yan, R.G.U., e Saha, T. K., Minimum Synchronous Inertia Requirement of Renewable Power Systems IEEE Transactions on Power Systems, V. 33, 2, 2018
- (11) SPT, 2014 Project name: “Visualisation of Real Time System Dynamics using Enhanced Monitoring (VISOR)” Application for Scottish Power Transmission Ltd (SPT) Funding, available at: https://www.spenergynetworks.co.uk/userfiles/file/20140430_VISOR_Project_submission_document.pdf
- (12) Alsmadi, Y. M., Xu, L., Blaabjerg, F., Ortega, A. P., Abdelaziz, A., Y., Wang, A., and Albataineh, Z., Detailed Investigation and Performance Improvement of the Dynamic Behavior of Grid-Connected DFIG Wind Turbines under LVRT Conditions IEEE Transactions on Industry Applications Mai. 2018
- (13) Hossain, E. M., Performance of new solid-state fault current limiter for transient stability enhancement of DFIG based wind generator IEEE Power Symposium (NAPS), 2017
- (14) Verdonschot, M.J., Modeling and Control of wind turbines using a Continuously Variable Transmission MSc Thesis, Eindhoven University of Technology, Department Mechanical Engineering, April, 2009
- (15) Nejadkhaki, H. K, Chaudhari, S., e Hall, J. F., A design methodology for selecting ratios for a variable ratio gearbox Renewable Energy, 118 ; 2018
- (16) Mangialardi, L.e Manriota, G., The advantages of using continuously variable transmissions in wind power systems Renewable Energy V 2, Issue 3, June 1992

- (17) Yin, X., An up to date review of continuously variable speed wind turbines with mechatronic variable transmissions Intl. J. Energy Research, Dec 2017
- (18) Ribeiro, Felipe Estudo da aplicação de transmissão continuamente variável (CVT) em geradores eólicos de médio porte Diss. M.Sc., UFABC, 2010
- (19) Fingersch, L.J., Robinson, M.C., The Effects of Variable Speed and Drive Train Component Efficiencies on Wind Turbine Energy Capture NREL/CP-500-22082 2001, ASME/AIA Wind Energy Symposium, 1997
- (20) Cotrel, J., Assessing the Potential of a Mechanical Continuously Variable Transmission NREL/TP-36371 2004
- (21) Caivo, M. V., Pencic, M. M. e Zlokolica, M. Z., Adaptive Continuously Variable Transmission used for Maintaining Stationary Regime of Driving Machine Thermal Science 20, 2, 2016
- (22) Hameer, S., A Comparative Study and Application of Continuously Variable Transmission to a Single Main Rotor Heavy Lift Helicopter PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, USA, 2009
- (23) GWEC Global Wind Statistics 2017 (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL), Fev 2018
- (24) Tlali, P. M., Wang, R-J., e Gerber, S., Magnetic Gear Technologies: A Review IEEE International Conference on Electrical Machines (ICEM), nov. 2014
- (25) Park, E-J., Kim, Y-J., Kim, C-S, e Jung, S-Y., Dual Magnetic Gear for Improved Power Density in HighGear-Ratio Applications 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Korea, 2018.
- (26) Atallah, K, e Howe, D., A Novel High-Performance Magnetic Gear IEEE Transactions on Magnetics, 2001
- (27) Wang, J., Atallah, K., e Carvley, S. D., A Magnetic Continuously Variable Transmission Device IEEE Transactions on Magnetics, vol. 47, no. 10, oct. 2011
- (28) Atallah, K., Wang, J., Carvley, S. D., e Duggan, S., Design and Operation of a Magnetic Continuously Variable Transmission IEEE Transactions on Industry Applications, 48, 4, 2012
- (29) Neves, C. G. C., Flores Filho, A. F., e Dorrell, D. G Design of a Pseudo Direct Drive for Wind Power Applications International Conference of Asian Union of Magnetics Society (IEEE), 2017
- (30) Udalov, S., Achitaev, A. A., e Pristup, A. G., Improving Dynamic Stability of a of Wind Turbine Using Magnetic Continuously VariableTransmission Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), IEEE, Omsk, 15-17 Nov. 2016.
- (31) Udalov, S., Achitaev, A., Pristup, A. G., A., Bochenkov, B. M., Pankratz, Y., Using a Magnetic Continuously VariableTransmission for Synchronization of Wind Turbine Generators Under a Variable Wind Speed XI IEEE Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines Omsk, 14-16 Nov. 2017.

- (32) Udalov, S., Pristup, A. G., Achitaev, A. A., Bochenkov, B. M., e Pankratz, Y. E Tarbill, R.D., Increasing the regulating ability of a wind turbine in a local power system using magnetic continuous variable transmission *Wind Engineering* · June 2018
- (33) Udalov, S., Achitaev, A., e Marchenko, V.A., Frequency Responses of Wind Turbines with Magnetic Speed Reduction in Autonomous Power Systems XII IEEE Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines Omsk, 2018.
- (34) Pechlivanoglou G Passive and active flow control solutions for wind turbine blades. PhD Thesis, Universitätsbibliothek der Technischen Universität Berlin, 2012
- (35) Yin, X., Fang, Y., Huang, X. e Pfister, P., Analytical Modeling of a Novel Vernier Pseudo-Direct-Drive Permanent-Magnet Machine *IEEE Transactions on Magnetics*, V 53, N. 6, 2017
- (36) Zaini, A., Niguchi, N. E Hirata, K., Continuously Variable Speed Vernier Magnetic Geared Generator International Conference on Electrical Machines (ICEM), Berlin, Set. 2014.
- (37) Wang, Q., Qin, W., e Pfister, P-D., A Vernier Pseudo-Direct-Drive Permanent-Magnet Machine IEEE XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM) 2018
- (38) Wang, R-J., Gerber, S., Magnetically geared wind generator technologies: Opportunities and challenges *Applied Energy* 136 (2014)
- (39) Tlali, P. M., Gerber, S., e Wang, R-J., Optimal Design of an Outer-Stator Magnetically Geared Permanent Magnet Machine *IEEE Transaction on Magnetics*, V52.. N.2, 2016
- (40) Zhu, Z. Q., Deodhar, H. Y., R. Li, Pride, A. e Sasaki, T. Recent Developments and Comparative Study of Magnetically Geared Machines *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, V. 2, N. 1, 2018
- (41) Dobbin, J., Mast, E., e Echavarria, E. - Technology Roadmap with path from innovative project results towards implementation in the market Doc. N. D5.13/A, projeto INNWIND 2017 “LCOE reduction for the next generation offshore wind turbines” (www.innwind.eu)
- (42) Cisneros, S., 2017 Integração da geração eólica e solar e de recursos de ‘storage’ no Sistema Elétrico Brasileiro 2ª Reunião Extraordinária do Comitê Técnico do Cigré-Brasil, Rio de Janeiro, Agosto de 2017
- (43) USDOE The Voice of Experience- Integrating Intermittent Resources NREL, 2017
- (44) Califórnia ISO 2016 Califórnia Independent System Operator Corporation - Frequency Response Phase 2 – Issue Paper December 15, 2016

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aerogerador 170, 171, 174, 175, 176, 177, 178, 181

Aeronavegabilidade 1, 2, 9, 10

AHP 29, 33, 36, 41, 43, 45

Análise probabilística 11, 12, 14

Aviação militar 1, 2, 10

B

Blowdown 46, 48, 50, 54

C

Centrais nucleares 11, 12

Centro de lançamento de alcântara (CLA) 29, 30, 44

Certificação 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10

Cock-pit articulado 99

Confiabilidade 2, 9, 12, 30, 59, 63, 75, 91, 97, 98, 159, 160, 174, 230, 274

Cubesat 20, 28

Curva P-V 120, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 130, 131, 132, 133

D

Desenvolvimento 2, 4, 5, 8, 11, 14, 18, 20, 21, 22, 26, 28, 29, 30, 33, 35, 45, 57, 58, 59, 88, 93, 99, 100, 101, 102, 147, 170, 175, 177, 181, 183, 191, 200, 204, 206, 212, 223, 225, 247, 251, 252, 253, 255, 260, 261, 275, 276, 279, 280, 281, 282, 283, 284

Detecção de sombras 112, 113, 115, 116

Dimensionamento 28, 32, 77, 78, 79, 80, 178, 187, 189, 192, 193, 196, 197, 261

Dispositivos de segurança 77, 78, 80

E

Epanet 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 197

Estabilidade de rede 170, 182

F

Fluxo de carga 120, 121, 122, 123, 124, 126, 131, 134

G

Garantia do produto 1, 3, 6, 7, 10

Geração distribuída 136, 137, 138

H

HSV 112, 113, 114, 118

I

Ilhamento 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 160, 164, 165, 168

Instalações elétricas 77, 78, 79, 80, 82, 83, 85, 86, 242, 243, 250

L

Localização 29, 30, 32, 33, 34, 36, 42, 43, 45, 151, 152, 153

M

M-CVT 170, 171, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 182, 183

Método hardy-cross 187

O

Óxido nitroso 46

P

Parametrização geométrica 120, 121

Parcela variável 87, 89

PDD 170, 178, 181, 182

Processos 1, 3, 7, 8, 9, 10, 17, 18, 33, 79, 88, 93, 112, 188, 206, 212, 218, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233

Projeto elétrico 77, 78, 79, 82, 84, 86

Propulsão híbrida 46

Proteção 2, 12, 14, 32, 44, 61, 63, 64, 66, 67, 77, 79, 80, 82, 85, 136, 144, 145, 151, 168, 176, 242, 243, 244, 245, 250, 278

R

Rede básica 87, 89, 92, 93, 95, 96, 97

Rede malhada 187, 189, 196

Regressão 46

Regulação responsiva 87

Remoção de sombras 112, 113, 116, 118

Risco nuclear 12

S

Segurança 1, 2, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 29, 30, 32, 33, 34, 37, 38, 40, 41, 44, 58, 59, 63, 74, 77, 78, 79, 80, 82, 85, 86, 88, 100, 101, 111, 121, 136, 159, 172, 173, 176, 206,

207, 215, 235, 237, 240, 243, 244, 245, 246, 250, 254, 277

Segurança operacional 12, 172

Simuladores 99, 100, 101, 111

T

Tecnologia 2, 11, 20, 27, 58, 59, 60, 170, 174, 175, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 197, 221, 222, 230, 231, 251, 258, 274, 289

Terminal portuário 29, 30, 32, 33, 42

U

Universidades 20, 22, 27, 259

V

Vernier 170, 178, 179, 180, 182, 186

Visão computacional 112, 113

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

3

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

3

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 