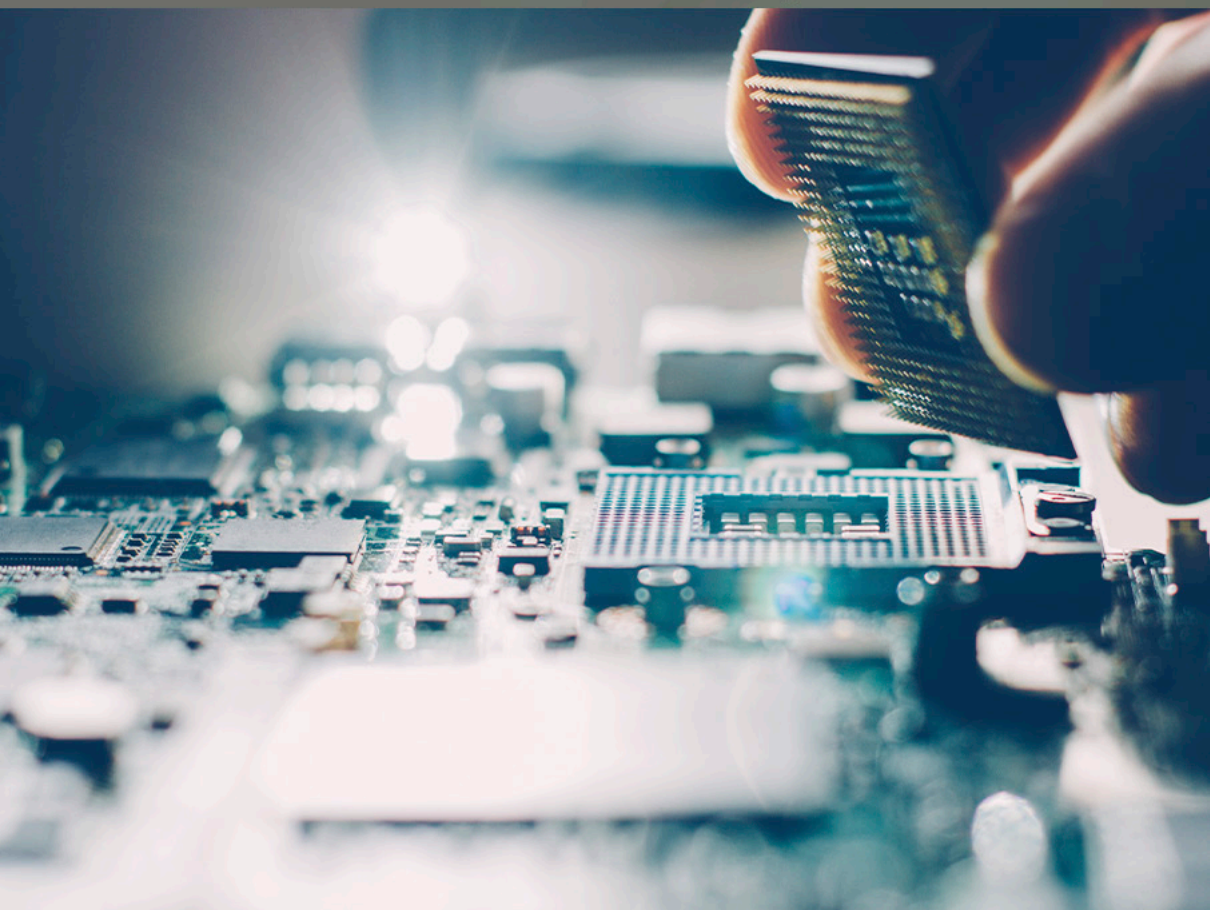


COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 3

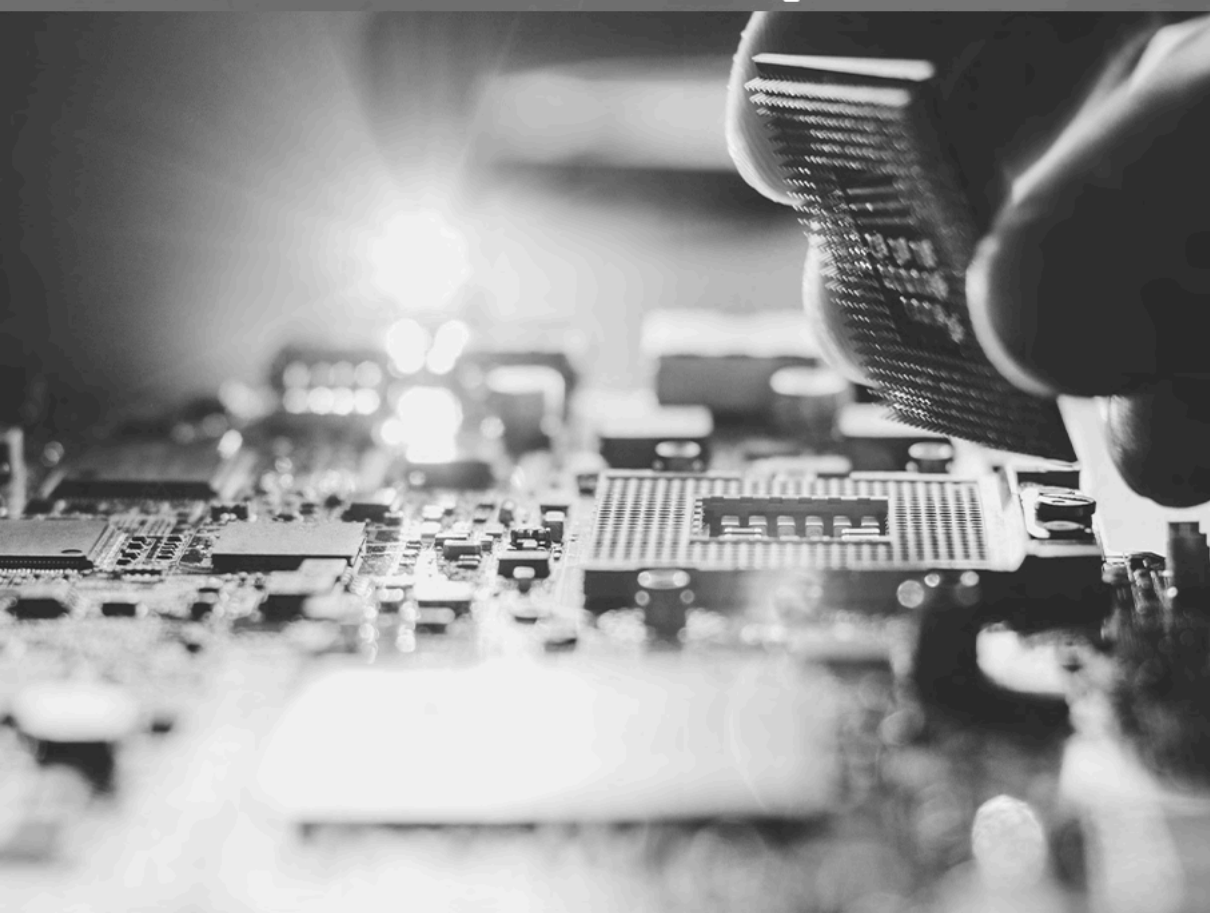


LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 3



LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

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

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Gabriel Motomu Teshima
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 3 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-619-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.192212911>

1. Engenharia de computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.39

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

A Atena Editora tem a honra de presentear o público em geral com a série de *e-books* intitulada “*Coleção desafios das engenharias: Engenharia de computação*”. Em seu terceiro volume, esta obra tem o objetivo de divulgar aplicações tecnológicas da Engenharia de Computação na resolução de problemas atuais, com o intuito de facilitar a difusão do conhecimento científico produzido em várias instituições de ensino e pesquisa do país.

Organizado em 20 capítulos, este volume apresenta temas como utilização de aprendizagem de máquina na avaliação de riscos de infecção por COVID-19; dispositivos automatizados para administração de remédios; comunicação científica apoiada por realidade aumentada; métodos de elementos finitos aplicados na análise de materiais para indústria aeronáutica; aplicações de processamento digital de imagens e de algoritmos genéticos; entre diversas outras aplicações da automação e do desenvolvimento de *software*, combinados para melhorar as atividades do nosso dia-a-dia.

Dessa forma, esta obra contribuirá para aprimoramento do conhecimento de seus leitores e servirá de base referencial para futuras investigações.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção deste trabalho.

Boa leitura.


Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

EVALUATING THE RISK OF COVID-19 INFECTION BASED ON MACHINE LEARNING OF SYMPTOMS AND CONDITIONS VERSUS LABORATORY METHODS


Daniel Mário de Lima
João Henrique Gonçalves de Sá
Ramon Alfredo Moreno
Marina de Fátima de Sá Rebelo
José Eduardo Krieger
Marco Antonio Gutierrez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129111>

CAPÍTULO 2..... 16

DISPOSITIVO AUTOMATIZADO PARA ADMINISTRAÇÃO DE REMÉDIOS


João Roberto Silva Teixeira
Alessandro Mainardi de Oliveira
Ricardo Neves de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129112>

CAPÍTULO 3..... 22

INTEGRAÇÃO ENTRE DADOS TEXTUAIS DE PRONTUÁRIOS ELETRÔNICOS DO PACIENTE (PEPS) E TERMINOLOGIAS CLÍNICAS


Amanda Damasceno de Souza
Eduardo Ribeiro Felipe
Fernanda Farinelli
Jeanne Louize Emygdio
Livia Marangon Duffles Teixeira
Maurício Barcellos Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129113>

CAPÍTULO 4..... 35

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF A ENRICHED MIXED FINITE ELEMENT METHOD WITH STATIC CONDENSATION FOR POISSON PROBLEMS

Ricardo Javier Hanco Ancori
Jose Diego Ayñayanque Pastor
Rómulo Walter Condori Bustincio
Eliseo Daniel Velasquez Condori
Roger Edwar Mestas Chávez
Fermín Flavio Mamani Condori
Jorge Lizardo Díaz Calle


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129114>

CAPÍTULO 5..... 45

COMPORTAMENTO DE PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ANÁLISE NUMÉRICA

Jean Marie Désir

Luana Zanin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129115>

CAPÍTULO 6..... 58

COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA APOIADA POR REALIDADE AUMENTADA: O CASO DO APLICATIVO AUMENTANDO KIRIMURÊ

Vinícius Pires de Oliveira

Fernanda Vitória Nascimento Lisboa

Jéssica Duarte Souza


Brisa Santana Brasileiro

Hilma Maria Passos de Oliveira

Ingrid Winkler

Andrea de Matos Machado


Karla Schuch Brunet

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129116>

CAPÍTULO 7..... 64

CONTEXTUALIZAÇÃO DO CPS DE UMA CÉLULA ROBÓTICA, ATRAVÉS DO GÊMEO DIGITAL UTILIZANDO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OPC UA

Rogério Adas Pereira Vitalli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129117>


CAPÍTULO 8..... 75

DESENVOLVIMENTO DE UMA ARQUITETURA DE SOFTWARE BASEADA EM CENÁRIOS ARQUITETURAIS, MEMORANDOS TÉCNICOS E VISÕES DO MODELO 4+1

Everson Willian Pereira Bacelli

Bruno Ferreira Cardoso

Wilson Vendramel


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129118>

CAPÍTULO 9..... 90

DEVELOPMENT OF AN AIDING TOOL FOR THE OPTIMAL DETAIL OF ACTIVE REINFORCEMENT USING GENETIC ALGORITHM

Victória Carino Neves

Guilherme Coelho Gomes Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129119>

CAPÍTULO 10..... 106

ANÁLISE DOS EFEITOS DA MÉTRICA DE DISTÂNCIA NA EXTRAÇÃO DE CONJUNTOS DE SIMILARIDADE

André Eduardo Alessi







Bruno Duarte





Ives Renê Venturini Pola

Dalcimar Casanova

Marco Antonio de Castro Barbosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291110>

CAPÍTULO 11	119
ESTUDO SOBRE AUTOMATIZAÇÃO DE EQUIVALÊNCIA DE FUNÇÕES Lucas Fernando Frighetto Fábio Hernandez  https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291111	
CAPÍTULO 12	142
ESTUDO SOBRE O CONTROLE REMOTO DE DISPOSITIVOS MICROCONTROLADOS UTILIZANDO DISPOSITIVOS MÓVEIS João Vítor Fernandes Dias Fermín Alfredo Tang Montané  https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291112	
CAPÍTULO 13	163
HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS APLICADAS EN EL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA EN LA MODALIDAD A DISTANCIA Liliana Eneida Sánchez Platas Celia Bertha Reyes Espinoza Olivia Allende Hernández  https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291113	
CAPÍTULO 14	174
HISTÓRICO DAS MULHERES NA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E ANÁLISE DA PARTICIPAÇÃO FEMININA NOS CURSOS SUPERIORES DO BRASIL Vívian Ludimila Aguiar Santos Thales Francisco Mota Carvalho Maria do Socorro Vieira Barreto  https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291114	
CAPÍTULO 15	186
IDENTIFICAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DE UMA TURBINA EÓLICA: ESTUDO DE CASO DA NORDTANK NTK 330F Gustavo Almeida Silveira de Souza Edgar Campus Furtado Leandro José Evilásio Campos Cristiane Medina Finzi Quintão  https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291115	
CAPÍTULO 16	199
COMFORT IN VIBRATIONS FOR THE STEEL-CONCRETE COMPOSITE FLOORS: AN APPRAISAL FOR REVIEW OF ABNT NBR 8800:2008 João Vítor V. Freire André V. Soares Gomes Adenílcia Fernanda G. Calenzani Johann A. Ferrareto  https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291116	

CAPÍTULO 17	224
FINITE ELEMENT METHOD APPLIED TO MECHANICAL ANALYSIS OF AERONAUTICAL RIBS IN CARBON FIBER AND 7075 ALUMINUM ALLOY	
Alex Fernandes de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291117	
CAPÍTULO 18	236
MÉTODO PARA CALCULAR A ÁREA DE SUPERFICIAL DE RAÍZES POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	
Marcio Hosoya Name	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291118	
CAPÍTULO 19	244
LOCAL MESHFREE METHOD OPTIMIZATION WITH GENETICALGORITHMS	
Wilber Vélez	
Flávio Mendonça	
Artur Portela	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291119	
CAPÍTULO 20	258
NAVEGACIÓN VIRTUAL 2D Y 3D EN UN ENTORNO WEB	
Víctor Tomás Tomás Mariano	
Felipe de Jesús Núñez Cárdenas	
Jorge Hernández Camacho	
Isaura Argüelles Azuara	
Guillermo Canales Bautista	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291120	
SOBRE A ORGANIZADORA	268
ÍNDICE REMISSIVO	269

IDENTIFICAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DE UMA TURBINA EÓLICA: ESTUDO DE CASO DA NORDTANK NTK 330F

Data de aceite: 01/11/2021

Data de Submissão: 02/08/2021

Gustavo Almeida Silveira de Souza

Universidade Federal de São João del Rei -
UFSJ
Ouro Branco – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/7489908527775611>

Edgar Campus Furtado

Universidade Federal de São João del Rei -
UFSJ
Ouro Branco – Minas Gerais
<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4764313Y4>

Leandro José Evilásio Campos

Universidade Federal de São João del Rei -
UFSJ
Ouro Branco – Minas Gerais
<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4931217D1>

Cristiane Medina Finzi Quintão

Universidade Federal de São João del Rei -
UFSJ
Ouro Branco – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8571084427342867>

RESUMO: As energias renováveis estão em constante evolução devido à necessidade de se encontrar alternativas às energias derivadas de combustíveis fósseis. Uma das alternativas, são as usinas eólicas, *offshore* (em alto mar) e *onshore* (em terra), que geram eletricidade através da força do vento. As turbinas de eixo

horizontal são comumente usadas nestas usinas, normalmente com 3 pás, devido ao custo benefício. Contudo, mesmo que existam equações bem definidas para o comportamento destas máquinas, algumas variáveis ambientais (como rugosidade do terreno, altura do rotor e estérias de vento) podem acrescentar um fator não linear e aleatório na conversão de energia. Por isso, o uso da identificação de sistemas se mostra útil na predição do comportamento desse sistema. Neste trabalho, uma base de dados da usina eólica de Norrekaer, localizada na Dinamarca, é explorado por técnicas de identificação a fim de estimar modelos NARX (*nonlinear autorregressive with exogenous inputs*) e ARX (*autorregressive with exogenous inputs*). Para calculá-los adequadamente, três métodos serão usados e comparados: *Classical Gram-Schmidt (CGS)*, *Modified Gram-Schmidt (MGS)* e *Householder-based QR-Decomposition with Column Pivoting*.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Renovável, Identificação de Sistemas, usinas eólicas.

DISCRETE MODEL IDENTIFICATION OF A WIND TURBINE: A CASE STUDY OF NORDTANK NTK 330F

ABSTRACT: The renewable energies are in constant evolution for the sake of the necessity of finding alternatives to fossil fuels derived energy. One of these alternatives are the wind farms, offshore and/or onshore, that provides electricity through the wind force. The horizontal axis turbines are commonly seen on these farms, usually with 3 blades, because of its cost-benefit. However, even though there are equations well

defined regarding the behavior of this machines, some environmental variables (such as terrain, height and wind wakes) can add a nonlinear and random factor to the energy conversion. Thereby, the use of system identification shows itself useful to forecast the behavior of this system. In this work, a database from Nørrekær Wind Farm, located on Denmark, is exploited by identification techniques, in order to estimate nonlinear autoregressive with exogenous inputs (NARX) and autoregressive with exogenous Inputs (ARX) models. To calculate them properly, three methods will be used and compared: Classical Gram-Schmidt (CGS), Modified Gram-Schmidt (MGS) and Householder-based QR Decomposition with Column Pivoting.

KEYWORDS: Renewable energy, system identification, wind farms.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 A TURBINA ESTUDADA

Para este trabalho, foi utilizada como referência a turbina Nordtank NTK330F. Essa turbina possui um rotor de material compósito (GFPR - *Glass fiber reinforced plastic*), fabricado pela LM Glasfiber A/S, com 28m de diâmetro. As pás se movimentam em uma área de 615,7 m², com velocidade de rotação de 39rpm e potência nominal de 330kW. A geração se inicia com ventos a 4m/s (*Cut-in wind speed*) e é desligada a 25,0 m/s (*Cut-out wind speed*). A torre de aço possui 31m de altura e tem formato cônico, tendo proteção contra corrosão através da tinta. O gerador de indução da turbina foi fabricado pela Siemens/ABB e a operação nominal se dá a 1500 rpm, gerando 690 V de tensão a 50Hz. [1]

Atualmente essa turbina não é mais produzida. A fabricante Nordtank Energy Group foi comprada pela NEG Micon A/S e, posteriormente, pela Vestas Wind Systems A/S. [1].

1.2 O FUNCIONAMENTO GERAL DA TURBINA

Uma turbina eólica opera, essencialmente, transformando a energia cinética do vento que chega às pás em energia mecânica no eixo da turbina e, posteriormente, em energia elétrica na saída do gerador. [2]

A energia cinética provém da movimentação das moléculas de ar e esse movimento através de uma área, durante um determinado período de tempo, caracteriza a potência localmente [3] e, portanto, o potencial de geração local.

Além disso, as turbinas modernas usam, majoritariamente, as forças de sustentação (*lift*) geradas nas pás, para o movimento do rotor [4]. Essas forças existem, devido à diferença de pressão no fluxo de ar que percorre a superfície laminar. Essa diferença, por sua vez, é consequência do formato do perfil aerodinâmico, que direciona o escoamento do ar de acordo com a geometria da pá [2].

Não obstante, o vetor velocidade relativa também é influenciado pela distância ao centro de rotação do rotor. Isso acontece, porque, quanto maior é o raio de rotação, maior também é a velocidade linear [5]. A relação entre estas grandezas é representada na equação (1)[6],

$$v = r\omega \quad (1)$$

em que r representa o raio de rotação e ω a rotação.

Por esse motivo, as pás têm comumente o perfil aerodinâmico torcido, desde a raiz até as pontas, de forma que o ângulo de ataque seja o mais ótimo possível, potencializando também a conversão energética.

Finalmente, para manter as pás do rotor constantemente alinhadas com o vento, existe um mecanismo de movimento do rotor, que define o ângulo de guinada (*yaw angle*). Como a direção do vento não é constante, um anemômetro é postado no topo da torre da turbina, de forma a medir essa variação e acionar uma central eletrônica, quando necessário, para rotacionar o conjunto nacele-rotor e maximizar a conversão de energia.

1.3 O BANCO DE DADOS

O banco de dados foi comprado junto ao site *winddata.com*. Os dados usados nos testes e simulações correspondem à velocidade do vento e à potência gerada medidos na turbina A1, cuja posição espacial dentro do parque eólico é mostrada na Figura 1.

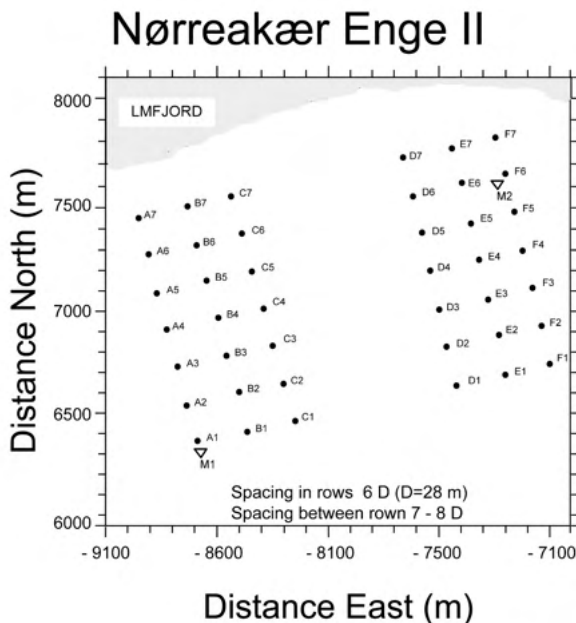


Figura 1. Disposição geométrica do parque eólico Nørreakær. A área coberta pela figura é de 2,1*2,1km. [6].

1.4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS:

Os dados utilizados no estudo constavam no banco de dados de acordo com a

Tabela 1, que apresenta os campos e o respectivo significado.

CAMPO NO BANCO DE DADOS	DESCRIÇÃO DO CAMPO
SCAN_ID	Identificador da leitura. Quanto menor o valor do ID, mais antiga é a leitura
CHANNEL_ID	Determina sobre o que o dado se refere (velocidade do vento, potência, ângulo...)
MEAN	Média da leitura amostrada

Tabela 1. Descrição dos campos do Banco de Dados.

As séries temporais retiradas do banco de dados em questão compreendem dois períodos, divididos em:

- I. série de identificação, que abrange os valores de velocidade do vento e potência gerada entre 30/11/1992 19h08min e 04/12/1992 04h53min; e
- II. série de validação, que abrange os valores de velocidade do vento e potência gerada entre 16/04/1993 00h11min e 19/04/1993 05h51min.

Para essas lacunas de tempo, não há uma variação significativa de sazonalidade, embora propositalmente, foram selecionadas séries temporais de diferentes estações do ano (inverno para identificação e primavera para validação) de forma a avaliar o impacto da sazonalidade nos modelos gerados.

2 | METODOLOGIA

O desenvolvimento do modelo preditivo foi feito por métodos de identificação de sistemas autorregressivos, com entrada exógena. Dentre os mais comuns, destacam-se o modelo ARX e o NARX. Uma abordagem mais completa em termos de modelos polinomiais autorregressivos é a modelagem NARMAX (*Nonlinear Autoregressive Moving Average with eXogenous inputs*), que envolve a identificação utilizando média móvel aplicada ao resíduo de identificação, porém não serão abordados neste trabalho. Devido à amostragem do sistema em questão ser constituída por amostras discretas, os modelos adotados são essencialmente compostos de uma solução de equações a diferenças [7].

Os modelos ARX (*autoregressive with exogenous inputs*), podem ser descritos por:

$$y(k) = \frac{B(q)}{A(q)}u(k) + \frac{1}{A(q)}v(k), \quad (2)$$

em que $v(k)$ representa um ruído ou incertezas não modeladas, $u(k)$ é a entrada e $y(k)$ é a resposta (saída) do sistema. $A(q)$ e $B(q)$ são polinômios, como definidos a seguir:

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{n_y}q^{-n_y}$$

$$B(q) = b_1q^{-1} + \dots + b_{n_u}q^{-n_u}$$

sendo q^{-1} o operador de atraso, de forma que $y^{(k)} q^{-1} = y^{(k-1)}$.

A razão $\frac{B(q)}{A(q)}$ é a resposta à excitação (ou função de transferência do sistema) e a razão $\frac{1}{A(q)}$ é a função de transferência que relaciona ruído e saída. Como o ruído aparece diretamente na equação, esse modelo pode ser classificado como pertencente à classe de modelos de *erro na equação* [7][8].

Por outro lado, os modelos NARX (*non-linear autoregressive with exogenous inputs*) são modelos discretos no tempo que explicam o valor da saída $y^{(k)}$ em função de valores prévios dos sinais de saída e entrada, com uma função não-linear, ou seja,

$$y(k) = f(\psi(k-1)^T) + e(k), \quad (3)$$

em que $e^{(k)}$ é o ruído ou incertezas não modeladas pela função invariante no tempo, f , cujo grau de não linearidade é l , e $\psi^{(k-1)^T}$ contém o vetor de regressores de saída $y^{(k)}$ e entrada $u^{(k)}$, até o instante $(k-1)$ [9], ou seja,

$$\psi(k-1)^T = [\psi_{yu}^T]^T.$$

A grande diferença para o modelo ARX é o fator de não linearidade que o NARX confere na identificação de sistemas. Como o sistema estudado é um sistema não linear, espera-se que este segundo modelo ofereça uma solução mais próxima da representação real.

Definidos os modelos, é necessário apresentar os respectivos estimadores. No presente estudo, será utilizado o método dos mínimos quadrados para sua obtenção. Neste método, têm-se que:

$$\vec{y} = [\psi_{yu}^T]^T \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\theta}_{n_\theta} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

sendo os valores observados (\vec{y}) definidos por ψ (a matriz de regressores) e θ (os parâmetros estimados). [9] Da equação (4) a única incógnita é o vetor de parâmetros θ . Assim para se obter esses parâmetros é necessário resolver,

$$\vec{y} = \psi \vec{\theta}.$$

A forma como a matriz de regressores é manipulada, de forma a serem obtidos o conjunto de parâmetros, é essencial para obtenção de modelos com maior representatividade, que pode ser alcançado com a melhora na estimação dos parâmetros. Por isso, este estudo propõe avaliar os métodos de ortonormalização *Classical Gram-Schmidt*, *Modified Gram-Schmidt* e *Householder-based QR-decomposition with Column Pivoting*, para determinar melhor estimação dos parâmetros e, conseqüentemente, modelos com maior representatividade.

2.1 MÉTODOS PARA A ESTIMAÇÃO DE MÍNIMOS QUADRADOS

2.1.1 CLASSICAL GRAM-SCHMIDT (CGS)

Dado um espaço vetorial, este método utiliza a ortonormalização para definição de uma nova base. É um método de execução da *fatoração QR*, em que uma matriz é transformada em um produto tipo $A = QR$ [10]. É resultado de sucessivas multiplicações à direita, por matrizes elementares triangulares superiores, o que resulta em uma matriz ortogonal [11]. Cada vetor é individualmente ortogonalizado a todos os vetores anteriores, o que causa uma instabilidade numérica e a perda significativa de ortogonalidade, já na segunda iteração, de acordo com [12]. O Algoritmo 1 é um exemplo de implementação deste método.

```
R(1,1) = ||A(:,1)||2
Q(:,1) = A(:,1)/R(1,1)
for k=2:n
    R(1:k-1,k) = Q(1:m,1:k-1)T·A(1:m,k)
    Z = A(1:m,k) - Q(1:m,1:k-1)·R(1:k-1,k)
    R(k,k) = ||z||2
    Q(1:m,k) = z/R(k,k)
end
```

Algoritmo 1. Exemplo de código CGS, para $A = QR$ [10].

2.1.2 MODIFIED GRAM-SCHMIDT (MGS)

Este outro método é derivado do anterior. Essa adaptação mostrou-se necessária, devido à instabilidade numérica do CGS: erros de arredondamento podem se acumular e prejudicar a ortogonalidade dos vetores resultantes [11]. Nota-se que são métodos matematicamente equivalentes, diferindo-se, essencialmente, no sequenciamento de instruções, e, portanto, os vetores resultantes têm a mesma estrutura ortonormal. O Algoritmo 2 mostra um exemplo de implementação do método MGS para as mesmas condições apresentadas no Algoritmo 1.

```
for k=1:n
    R(k,k) = ||A(1:m,k)||2
    Q(1:m,k) = A(1:m,k)/R(k,k)
    for j=k+1:n
        R(j,k) = Q(1:m,k)T·A(1:m,j)
        A(1:m,j) = A(1:m,j) - Q(1:m,k)·R(k,j)
    end
end
```

Algoritmo 2. Exemplo de código para MGS[10] para as mesmas condições apresentadas para CGS.

2.1.3 HOUSEHOLDER-BASED QR-DECOMPOSITION WITH COLUMN PIVOTING (HT)

Este método é usado primordialmente em problemas de mínimos quadrados classificados como *rank-deficient* [12]. Ao contrário da decomposição dos métodos Grand-Schmidt, a presente decomposição é o resultado da multiplicação à esquerda de Ψ por uma seqüência de matrizes ortogonais, para se obter ao fim uma matriz triangular [10]. O Algoritmo 3 mostra um exemplo de implementação deste método.

```
for j=1:n
    c(j)=A(1:m,j)ᵀ·A(1:m,j)
end
r=0
r=max{c(1),...,c(n)}
while r>0 and r<n
    r=r+1
    Find smallestk with r≤k≤n so c(k)=r
    piv(r)=k
    A(1:m,r)↔A(1:m,k)
    c(r)↔c(k)
    [v,β]=house(A(r:m,r))
    A(r:m,r:n)=(Im-r+1-βvvᵀ)(A(r:m,r:n))
    A(r+1:m,r)=v(2:m-r+1)
    for i=r+1:n
        c(i)=c(i)-A(r,i)²
    end
    r=max{c(r+1),...,c(n)}
end
```

Algoritmo 3.Exemplo de código para o método HT.

3 I ÍNDICES DE VALIDAÇÃO

A fim de comparar os resultados dos três métodos de estimação citados (Classical Gram-Schmidt, Modified Gram-Schmidt e Householder-based QR-decomposition with Column Pivoting), bem como a assertividade, utilizou-se de índices de validação estatísticos. São eles:

- I. Raiz do erro médio quadrático (*RMSE*);
- II. Média do erro percentual absoluto (*MAPE*);
- III. Índice Theil's U2 (*U2*);
- IV. Média geométrica relativa do erro absoluto (*GMRAE*); e
- V. Percent better (*PER*).

São apresentados a seguir seus conceitos e equações [14].

3.1 RAIZ DO ERRO MÉDIO QUADRÁTICO (*RMSE*):

Índice amplamente usado para mensurar erros de predição. Elevados valores de

RMSE indicam elevados valores de erro no modelo de predição [15]. A desvantagem desse método se dá em predições com grandes erros, grandes variâncias e erros extremos de predição [16]. É calculado pela equação (5)

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\hat{y}(k) - y(k))^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

em que \hat{y} representa os dados estimados pelo modelo e y os dados reais, da série de validação.

3.2 MÉDIA DO ERRO PERCENTUAL ABSOLUTO (MAPE)

A usabilidade e utilidade deste índice estão ligadas à fácil interpretação, por ser adimensional. Esse índice é usado para expressar o erro como uma porcentagem do valor real, ou seja, quanto menor o valor, maior é a assertividade do modelo [15]. Uma ressalva deste índice é a sensibilidade a valores nulos. Caso algum valor da série de validação seja nulo, o MAPE tenderá ao infinito, devido ao denominador, como pode ser observado na equação (6).

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left| \frac{\hat{y}(k) - y(k)}{y(k)} \right| \quad (6)$$

3.3 ÍNDICE THEIL'S U2 – U2

É um índice de qualidade de predição [14]. Quanto mais próximo de zero, maior é a qualidade da predição. Apesar de semelhante ao RMSE, este índice se diferencia pela normalização da variância da série real, como mostrado na equação (7).

$$U2 = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (\hat{y}(k) - y(k))^2}{\sum_{k=1}^N (\bar{y}(k) - y(k))^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Assim, como na equação (5), \hat{y} representa os dados estimados pelo modelo e y os dados reais, da série de validação. \bar{y} representa a média das \mathcal{K} amostras da série de validação.

3.4 MÉDIA GEOMÉTRICA RELATIVA AO ERRO ABSOLUTO (GMRAE)

De acordo com Hyndman and Koehler [17], esse índice apresenta bom desempenho quando usado para modelagem de conjunto de séries temporais. Ademais, ele compara o erro absoluto de um dado método preditivo com uma predição de passeio aleatório [18]. Esse índice é calculado pela equação (8).

$$GMRAE = \left[\prod_{k=1}^N \frac{|\hat{y}(k) - y(k)|}{|\bar{y}(k) - y(k)|} \right]^{\frac{1}{N}} \quad (8)$$

3.5 PERCENT BETTER – PER

É um índice percentual, ou seja, sem unidade de medida. De acordo com Hyndman and Koehler [17], este é um índice muito usado para comparação de métodos, definindo a porcentagem de previsões do método em questão que são mais precisos que o passeio aleatório. O cálculo é definido por (9).

$$PER = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N j(k) * 100, \quad (9)$$

em que:

$$j(k) = \begin{cases} 1, & \text{se } |\hat{y}(k) - y(k)| < |\bar{y}(k) - y(k)| \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (10)$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES:

A Figura 2 exibe a série temporal de validação de entrada do sistema, ou seja, as velocidades de vento registradas de acordo com as respectivas datas e horas de amostragem, modularizados. Analogamente, a Figura 3 mostra os dados de saída, ou potências registradas.

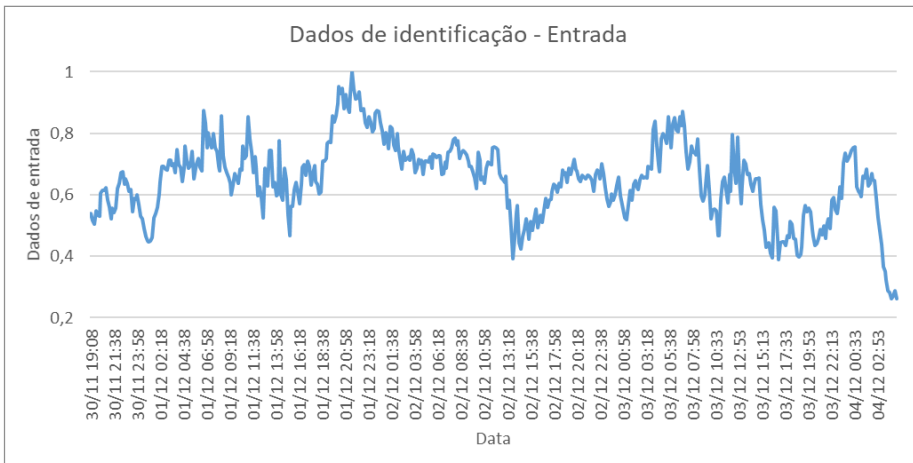


Figura 2. Série de identificação - dados de entrada do sistema.

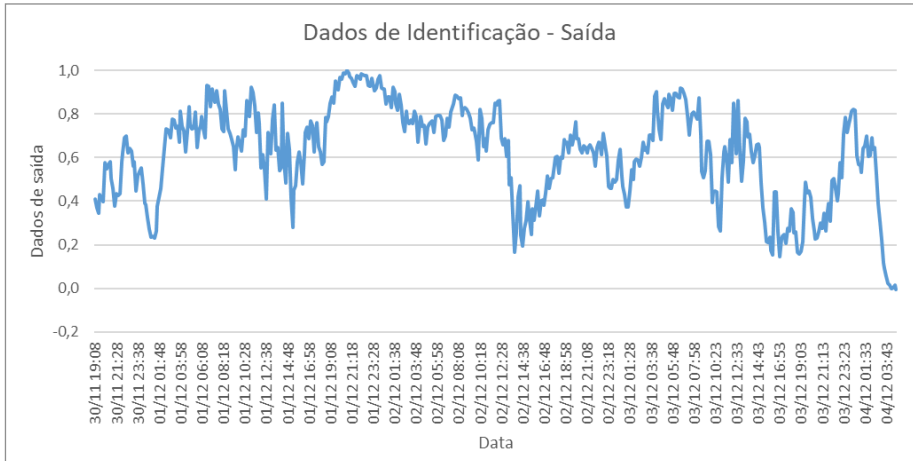


Figura 3. Série de identificação - dados de saída do sistema.

Com isso, foram então gerados os resultados para cada método utilizado (CGS, MGS e HT), cujos valores foram representados graficamente, junto com os dados de validação, a fim de realizar uma comparação visual dos resultados obtidos. Para todas as figuras, a linha tracejada representa a resposta do modelo.

A Figura 4 mostra o resultado obtido pelo método CGS. A Figura 5, mostra a resposta do modelo usando o método MGS. Por fim, a Figura 6 ilustra a validação dos dados pelo método HT.

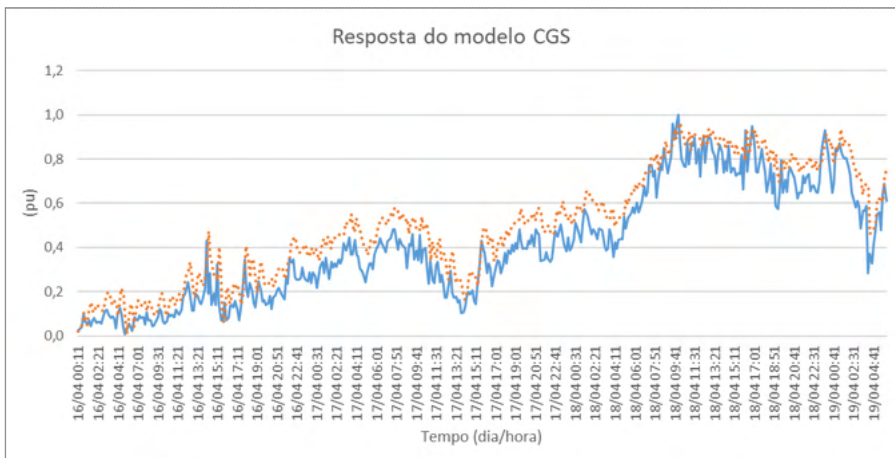


Figura 4. Resposta do modelo obtida pelo método CGS.

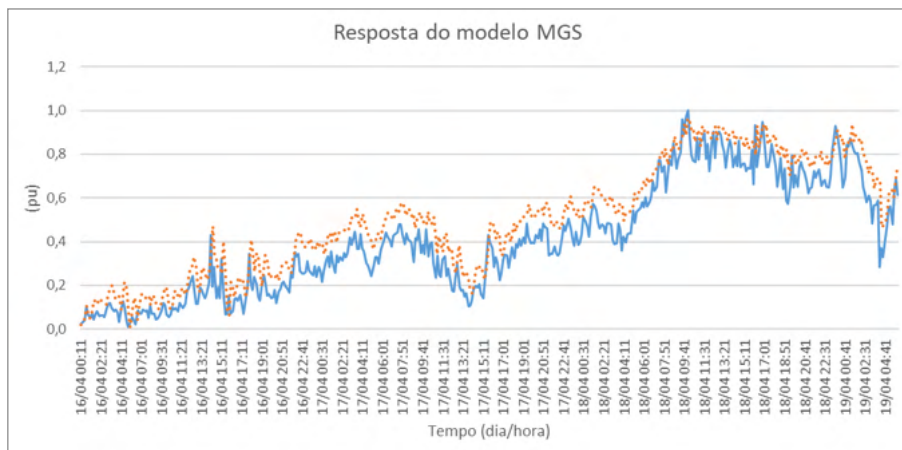


Figura 5. Resposta do modelo obtida pelo método MGS.

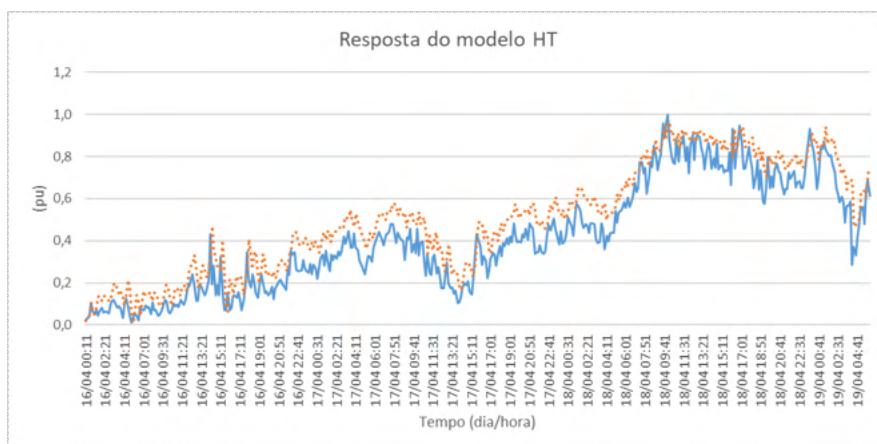


Figura 6. Resposta do modelo obtida pelo método HT.

É notável que para os três métodos em questão, os resultados foram visualmente satisfatórios e que o modelo gerado conseguiu acompanhar a geração de potência da turbina analisada. Portanto, a análise dos índices de validação torna-se necessária, tornando possível uma conclusão mais detalhada sobre os resultados.

Os valores obtidos no cálculo destes índices dão uma visão geral de qual método de estimação pode ser o mais adequado para identificação do sistema em questão. Na Tabela 2, têm-se os valores dos cinco índices utilizados na validação, associados aos resultados mostrados anteriormente. Cada coluna representa um método, sendo cada linha associada a um índice.

Índice	CGS	HT	MGS
--------	-----	----	-----

RMSE	0,07867	0,07790	0,07790
MAPE	0,19324	0,18081	0,18081
U2	0,36353	0,35997	0,35997
GMRAE	0,40974	0,37641	0,37641
PER	77,8689	79,7131	79,7131

Tabela 2. Avaliações dos índices de validação por modelo.

Com estes resultados, pode-se observar que os métodos MGS e HT resultaram em índices matematicamente iguais (as diferenças entre os valores foram da ordem de 10^{-14}), ambos têm igual relevância para o estudo, não podendo determinar, portanto, qual é o melhor dentre eles. Ainda assim, o índice CGS não proporcionou um resultado mais acurado, e, portanto, tem qualidade de predição ligeiramente menor.

Por fim, após comparar os métodos testados e validá-los pelos índices RMSE, MAPE, U2, GMRAE e PER, pode-se concluir que são eficientes para o intervalo de tempo proposto, de 5 dias.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] BAUER, Lucas; MATYSIK, Silvio. **Nordtank NTK 330**. Disponível em: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1356-nordtank-ntk-330>. Acesso in: 26 abr. 2020.
- [2] HANSEN, Martin O. L. **Aerodynamics of Wind Turbines**. 2. ed. Eastscan, 2008. 181 p.
- [3] NELSON, Vaughn. **Wind Energy: Renewable Energy and the Environment**. 2. ed. CRC Press, 2014. 316 p.
- [4] BURTON, Tony; SHARP, David; JENKINS, Nick; BOSSANYI, Ervin. **Wind Energy Handbook: Renewable Energy and the Environment**. John Wiley & Sons, Ltd, 2001. 617 p.
- [5] LEARN ENGINEERING. **How do Wind Turbines work?**. YouTube Video (5m28s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qSWm_nprfqE>. Acesso em: 08 jul. 2020.
- [6] YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. v. 1. ISBN 978-85-88639-30-0.
- [7] AGUIRRE, Luis Antonio. **Introdução à identificação de Sistemas: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000. 554 p.
- [8] AGUIRRE, Luis Antonio. **Estimação de modelos ARX**. 2019 (15m53s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=cVFb-ndczTU>>. Acesso em: 08 jul. 2020.
- [9] C. FURTADO, Edgar; A. B. TORRES, Leonardo; A. AGUIRRE, Luis. **Imposição do ponto de bifurcação por duplicação de períodos em modelos NAR polinomiais**. CBA, 2006.
- [10] GOLUB, Gene H.; VAN LOAN, Charles F. **Matrix Computations**. 4. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2013. 756 p.

- [11] THOMAS, Trogon et al. *The modified Gram-Schmidt procedure*. 22 nov. 2016. Disponível em: <https://www.math.uci.edu/~trogon/105A/html/Lecture23.html>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- [12] LUC, Giraud; LANGOU, Julien; ROZLOŽNÍK, Miroslav; VAN DEN ESHOF, Jaspen. **Rounding error analysis of the classical Gram-Schmidt orthogonalization process**. Numerische Mathematik, Springer-Verlag, 25 maio 2005. DOI 10.1007/s00211-005-0615-4. Disponível em: <http://www.stat.uchicago.edu/~lekheng/courses/31060w14/GLRV.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.
- [13] ENGLER, H. *The Behavior of the QR-Factorization Algorithm with Column Pivoting*. Applied Mathematics Letters, Great Britain, v. 10, ed. 6, p. 7-11, Jun. de 1997.
- [14] Furtado, Edgar C.; Silva, Viviane C.; Santos, Daniel. **Implicação da escolha de diferentes medidas de erro na estrutura de modelos NARMA para previsão de demanda elétrica**. UFMG.
- [15] HERINGER DE MIRANDA, Isabela Pagani. **Comparação de diferentes Métodos de Previsão em Séries Temporais com valores discrepantes**. 2014. 31 p. Monografia (Bacharel em Estatística) - Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014.
- [16] KYRIAKIDIS, Ioannis et al. **New statistical indices for evaluating model forecasting performance**. Skiathos Island, Greece, 2015.
- [17] Hyndman, R. J. & Koehler, A. B., 2006. **Another look at measures of forecast accuracy**. International journal of forecasting, vol. 22, n. 4, pp. 679–688.
- [18] ARMSTRONG, J. Scott; COLLOPY, Fred. **Error measures for generalizing about forecasting methods: Empirical comparisons**. International journal of forecasting, v. 8, n. 1, p. 69-80, 1992.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acoplamento termomecânico 44, 48, 52

Algoritmo genético (AG) 244

Alvenaria estrutural 4, 44, 48

Análise de imagem 235, 240, 241

Aprendizado de máquina 2

Arduino 17, 18, 19, 20, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 152, 154, 157, 158, 159, 160, 161

Arquitetura de software 5, 74, 75, 76

B

Balanced spaces 34

Biblioteconomia clínica 21

Bluetooth 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 151, 152, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 177

C

Cenários arquiteturais 5, 74, 87

Ciclo de vida arquitetural 74, 76, 77, 85, 87

Comunicação científica 3, 5, 57, 58

Conjuntos de similaridade 5, 105, 107, 108, 116

Correlação 235, 236, 240

D

Dados complexos 105, 106, 107, 108

Design science research 57, 58, 59, 62

Desigualdade de gênero na TI 173, 174

Dibujo asistido por computadora 6, 162, 163, 164, 171

E

Educación a distancia 162, 164, 165, 168, 170, 171

Elementos finitos 3, 48, 52, 53, 223

Energia renovável 185

Equivalência de funções 6, 118

F

Fibra de carbono 223

G

Gêmeo digital 5, 63, 64, 68, 71

Grafos 105, 112, 259, 261

H

Herramientas tecnológicas 6, 162, 163, 164, 170

Histórico feminino na TI 173, 174

Human comfort 198

I

Identificação de sistemas 185, 188, 189

Idosos 16, 17, 20

Indústria 4.0 63, 65, 66, 67

Infecções por Coronavirus 2

Interoperabilidade 21, 23, 24, 25, 26, 30, 32, 63, 64, 66, 67

J

JavaCV 235, 236, 237, 240, 241

JavaScript 141, 142, 153, 263

L

Ligas de alumínio 223

M

Memorandos técnicos 5, 74, 76, 78, 80, 81, 86, 87

Método sem malha local 243, 244

Método sem malha local com integração reduzida (ILMF) 244

Métrica de distância 5, 105, 113, 116

Microcontrolador 17, 141, 152

Mixed finite elements 34

Mulheres na TI 173, 174, 182, 183

Mulheres nos cursos superiores de TI 173, 174

O

Ontologias 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 32

opencv 241

OpenCV 235, 236, 237, 240, 241

Optimal detailing 89

P

Poisson's equation 34, 36

Prestressed concrete 89, 90, 91, 92, 96, 103

R

Rami 4.0 65

RAMI 4.0 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71

Realidade aumentada 3, 5, 57, 58, 60, 62

Remédios 3, 4, 16, 17, 20

Resistência ao fogo 44, 45, 49, 50, 56

Resistência mecânica 50, 55, 223

Robotista 63

S

Sistemas ciberfísicos (CPS) 63, 64, 71

Static condensation 4, 34, 35, 36

Steel-concrete 6, 198, 199, 200, 202, 204, 205, 206, 216, 218, 221

T

Terminologias clínicas 4, 21, 23, 24, 25, 30

Teste de hipótese 105

U

Usinas eólicas 185

V

Vibrations 6, 198, 199, 212, 219, 220, 222

Visões do modelo 4+1 5, 74, 87

Visualização de dados 57

W

Wi-Fi 141, 142, 147, 148, 152, 153, 157, 158

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:



ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 3

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

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 3

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