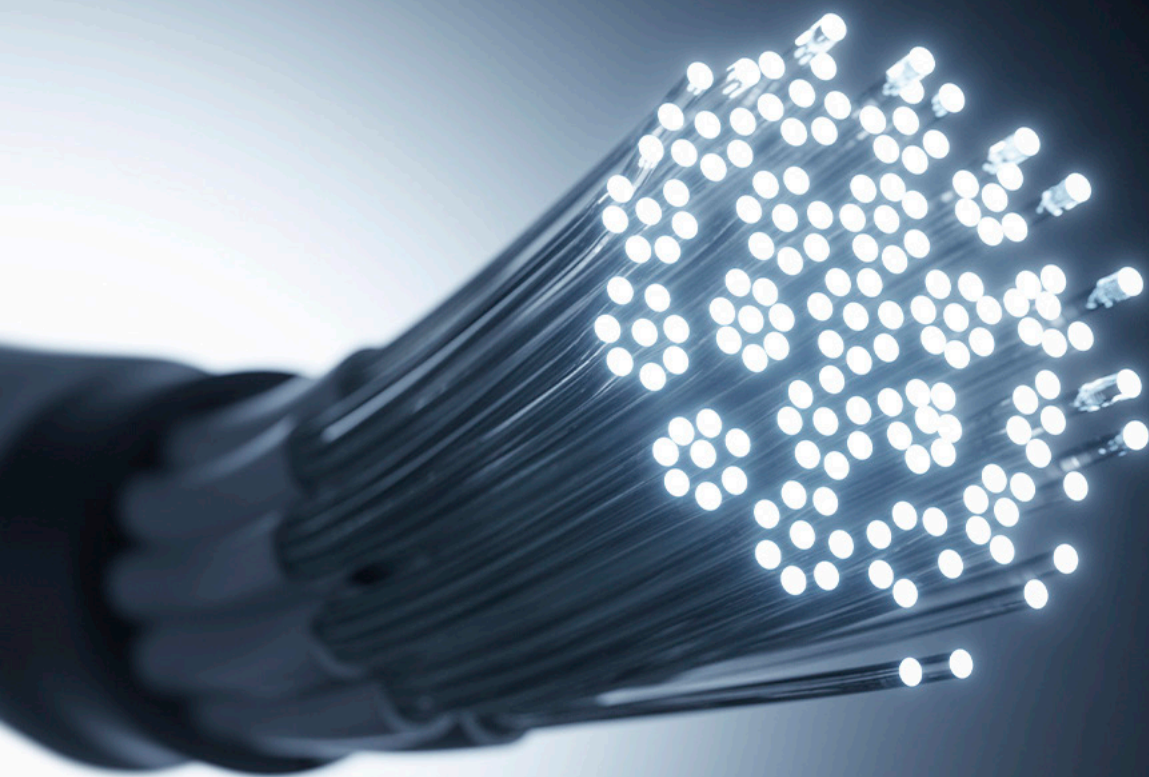


COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2



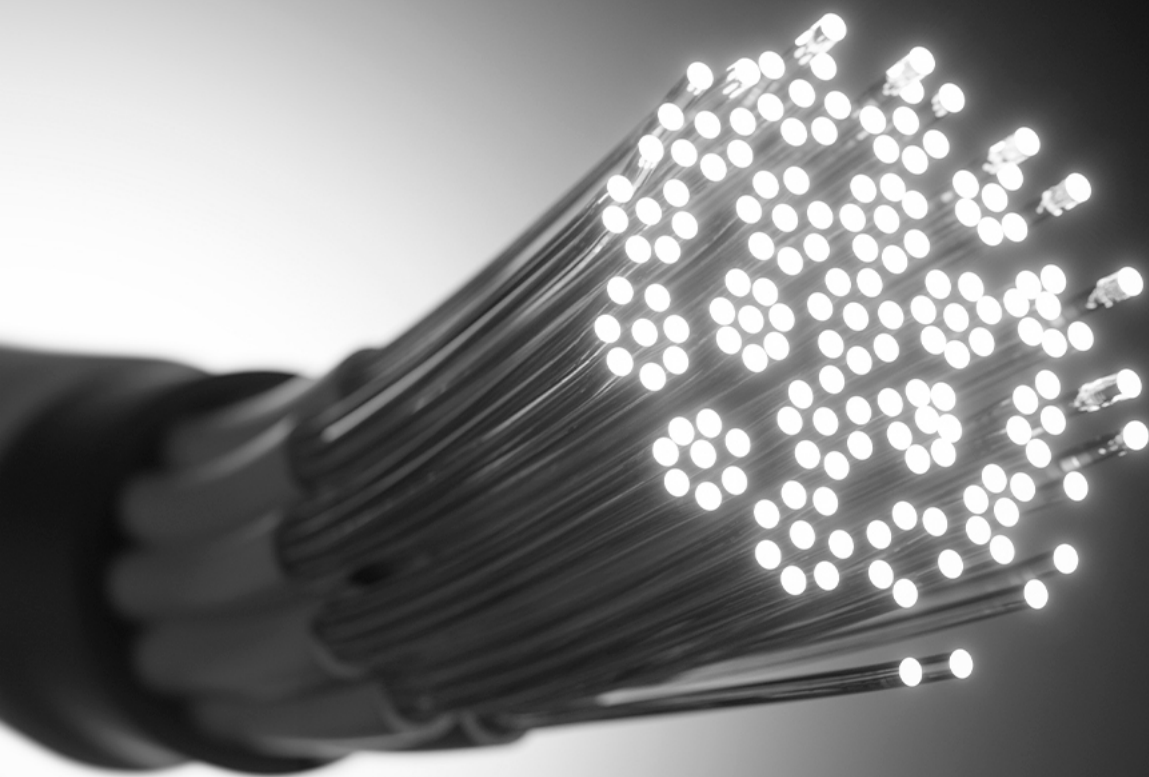
JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)


Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)


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 Cremona

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

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: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica 2 /
Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz
Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-556-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.560211910>

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.
Título.

CDD 621.3

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 engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

Neste livro temos uma diversidade de temas, níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.


João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PHOTODETECTOR OPTIC POWER OPTIMIZATION TO INCREASE THE GAIN ON SUB-OCTAVE MICROWAVE PHOTONIC LINK


Naiara Tieme Mippo
Paulo Henrique Kiohara Acyoli Bastos
Felipe Streitenberger Ivo
Olympio Lucchini Coutinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119101>

CAPÍTULO 2..... 14

OPTOELECTRONIC SENSOR APPLIED TO FLOW RATE MEASUREMENTS ON OIL AND GAS INDUSTRY


Alexandre Silva Allil
Fabio da Silva Dutra
Cesar Cosenza de Carvalho
Regina Célia da Silva Barros Allil
Marcelo Martins Werneck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119102>

CAPÍTULO 3..... 25

ANÁLISE DO ENVELHECIMENTO, PRECISÃO E EXATIDÃO EM SENSORES ÓTICOS FBG E RFBG QUE MEDEM TEMPERATURAS ENTRE 5 °C E 60 °C POR 16 SEMANAS


Karoline Akemi Sato
Camila Carvalho de Moura
Antonio Carlos Ribeiro Filho
Luis Camilo Jussiani Moreira
Valmir de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119103>

CAPÍTULO 4..... 38

EVALUACIÓN PARA INVERSIÓN CON OPTIMIZACIÓN DE SECCIÓN CONDUCTOR Y TENSIÓN DE DISTRIBUCIÓN. APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS DEL LEY DE KELVIN


Christian Arturo Ramirez Osorio
Enrique Buzarquis
Rodney Damián Fariña Martínez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119104>

CAPÍTULO 5..... 55

STRATEGIES OF VOLTAGE CONTROL BASED IN FUZZY LOGIC ALGORITHMS WITH ALTERNATIVE, CLEAN AND RENEWABLE GENERATION OPERATING WITH ANOTHER CONVENTIONAL ELECTRIC GENERATION IN WITH RADIAL LOADS IN POWER SYSTEMS STABILITY


Rodney Damián Fariña Martínez
Antonio Carlos Zambroni de Souza
Eliane Valença Nascimento de Lorenci

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119105>

CAPÍTULO 6..... 72

ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS E ELETROMECAÑICOS” DA ENERGIZAÇÃO DA LT 500KV AYOLAS-VILLA HAYES SEM REATOR DESDE A CENTRAL HIDRELÉTRICA ITAIPÚ


Elisandro Rodriguez Buzarquis
Rodney Damián Fariña Martínez
Antônio Carlos Zambroni de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119106>

CAPÍTULO 7..... 86

TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO POR MEIO DE ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE COM METAMATERIAIS CONVENCIONAIS E SUPERCONDUTORES


Arthur Henrique de Lima Ferreira
Lucas Douglas Ribeiro
Rose Mary de Souza Batalha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119107>

CAPÍTULO 8..... 96

DEGRADAÇÃO POR POTENCIAL INDUZIDO (PID): REVISÃO

Hellen Ferreira Barreto Miranda
Luan Peixoto da Costa
Stefhany Oliveira Soares
Jonathan Velasco da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119108>

CAPÍTULO 9..... 108

CAPACITOR BANK ALLOCATION IN DISTRIBUTION SYSTEMS USING THE DISCRETE PSO ALGORITHM


Luís Henrique Chouay Dall’ Agnese
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119109>

CAPÍTULO 10..... 119

DESIGN OF A TRANSMISSION-LINE METAMATERIAL WITH A NEGATIVE INDEX OF REFRACTION AT S-BAND

Lucas Douglas Ribeiro
Juscelino Júnior de Oliveira
Arthur Henrique de Lima Ferreira
Rose Mary de Souza Batalha


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191010>

CAPÍTULO 11..... 129

RADIO PROPAGAÇÃO E MODELAGEM PARA UMA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS

PARA LTE


Alaim de Jesus Leão Costa
Thiago Eleuterio da Silva
Diego Kasuo Nakata da Silva
Leslye Estefania Castro Eras

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191011>

CAPÍTULO 12..... 141

TESTES DE IMUNIDADE CONTRA SURTOS ELÉTRICOS EM ELETRODOMÉSTICOS


Gustavo Oliveira Cavalcanti
Marcílio André Félix Feitosa
Kayro Félyx Henrique Pereira
Manoel Henrique da Nóbrega Marinho
Antonio Samuel Neto
Lucas de Carvalho Sobral
Pollyana Maria Ramos Gonçalves
Douglas Thiago Moreira Lara
Thiago Francisco Gomes
Renato Jardim Teixeira
Wagner Almeida Barbosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191012>

CAPÍTULO 13..... 152

AUTOMAÇÃO DA ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - O SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO DALI: UM ESTUDO DE CASO


Marcos Noboru Kurata
Ênio Carlos Segatto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191013>

CAPÍTULO 14..... 163

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E CONSTRUTIVAS NO EIXO DO ROTOR EÓLICO


Leonardo Pavan
Evandro André Konopatzki
Cristiane Lionço de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191014>

CAPÍTULO 15..... 172

VIABILIDADE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NA REGIÃO DO RECÔNCAVO DA BAHIA

Gabriel Garcia Bastos de Almeida
Luanna Valéria Sousa Fonseca
Andréa Jaqueira da Silva Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191015>

SOBRE OS ORGANIZADORES 183

ÍNDICE REMISSIVO..... 184

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E CONSTRUTIVAS NO EIXO DO ROTOR EÓLICO

Data de aceite: 01/10/2021

Data da submissão: 06/07/2021

Leonardo Pavan

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
campus Medianeira
Medianeira – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1184600095129914>

Evandro André Konopatzki

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
campus Medianeira
Medianeira – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2271391188375487>

Cristiane Lionço de Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
campus Medianeira
Medianeira – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0915594224998333>

RESUMO: A geração de energia eólica vem aumentando nas últimas décadas e com isso também aumentaram os estudos voltados para a caracterização da sua eficiência – que depende de seus parâmetros construtivos, assim como das variáveis ambientais envolvidas no processo. O objetivo desta pesquisa foi identificar a influência das variáveis no eixo de rotação de aerogeradores. A partir de valores fornecidos pela literatura e pelos fabricantes de turbinas eólicas foram combinadas as seguintes variáveis: diâmetro do rotor; velocidade do vento; e ângulo de passo da turbina para verificar sua relação com a rotação e potência disponível no cubo de

rotores eólicos. Tal combinação foi construída a partir da modelagem das equações que representam a geração eólica com os cenários sendo construídos sob delineamento composto central rotacional (DCCR). Os resultados apresentam dependência combinadas das grandezas construtivas e ambientais com grau de dependência apresentado por duas equações teóricas. A conclusão desta pesquisa mostra a necessidade de ampliar os estudos para validar a dependência matemática entre a rotação do eixo e o ângulo de passo a fim de aumentar a acurácia dos seus sistemas de controle.

PALAVRAS-CHAVE: Velocidade do vento. Energia eólica. Rotação.

INFLUENCE OF THE ENVIRONMENTAL AND CONSTRUCTIVE VARIABLES ON THE AXIS OF WIND ROTOR

ABSTRACT: The generation of wind energy has been increasing in recent decades and with this, studies aimed at characterizing its efficiency have also increased – which depends on its construction parameters, as well as on the environmental variables involved in the process. The objective of this research was to identify the influence of variables on the rotation axis of wind turbines. From values provided by literature and by wind turbine manufacturers, the following variables has been combined: rotor diameter; wind speed; and turbine pitch angle to verify its relationship with the rotation and power available in the hub of wind rotors. Such combination was built from the modeling of the equations that represent the wind generation with the scenarios being built under central composite rotational design (CCRD). The

results show a combined dependence of the constructive and environmental quantities with the degree of dependence presented by two theoretical equations. The conclusion of this research shows the need to expand studies to validate the mathematical dependence between shaft rotation and pitch angle in order to increase the accuracy of their control systems.

KEYWORDS: Wind speed. Wind energy. Rotation.

1 | INTRODUÇÃO

A demanda por eletricidade aumenta cada vez mais e a produção de energia a partir de fontes renováveis torna-se essencial, sendo a energia eólica uma delas. É a energia existente na movimentação dos ventos, ou seja, é a energia cinética contida nas massas de ar da atmosfera. A energia contida no vento é não poluente como outros tipos de fontes, que são dependentes de combustíveis fósseis, tais como gás natural ou carvão. Para Montezano (2007) é uma alternativa energética competitiva na qual seu grande incentivo acontece na forma de baixo impacto ambiental.

O problema apresentado nesta pesquisa é representar matematicamente a rotação e a potência do rotor eólico de turbinas de eixo horizontal para controlar as variações e os efeitos das variáveis ambientais e das variáveis construtivas de um gerador sobre seu eixo, no ponto de acoplamento à máquina geradora.

2 | DESENVOLVIMENTO

A pesquisa teve abordagem quantitativa descritiva apresentando as características da representação matemática de um gerador eólico na rotação do eixo acoplado ao cubo rotor eólico, estabelecendo correlações estatísticas de aderência entre variáveis analisadas, seguindo o propósito de uma análise descritiva (VERGARA, 1998).

A técnica utilizada para definição da equação de regressão foi a otimização de processos apresentada por Rodrigues e lemma (2009). O delineamento das variáveis foi fatorial do tipo composto central rotacional caracterizado por quinze ensaios dos quais oito compuseram o modelo fatorial, seis representaram os pontos axiais e um retratou o ponto central.

As variáveis respostas buscadas nessa pesquisa foram a rotação do eixo do cubo do rotor (R), cuja unidade é radianos por segundo (rad/s) e a potência mecânica no eixo do rotor, unidade watt (W).

A construção das variáveis é dada por 2^n cenários fatoriais, acrescida de uma análise de ponto central e oito cenários com pontos axiais. A forma de definir a expansão dos pontos axiais é relacioná-los ao valor fatorial nominal pelo valor de transformação da variável axial (α) para os pontos extremos, definida pela Eq. (1).

$$\alpha = \pm \frac{1}{4} \sqrt[4]{2^n} \quad (1)$$

Os níveis de variação foram escolhidos com base nas informações disponíveis pelos fabricantes de turbinas eólicas, conforme é apresentado na Tabela 1.

Variáveis	- α	-1	0	+1	+ α
D: Diâmetro do rotor (m)	70,00	100,40	145,00	189,60	220,00
β : Ângulo de passo (°)	0,00	4,05	10,00	15,95	20,00
V_v : Velocidade vento (m/s)	3,00	7,46	14,00	20,54	25,00

Tabela 1 – Níveis para o DCCR

Fonte: Autoria própria (2020)

A potência transferida do vento para o eixo da turbina eólica pode ser calculada pela Eq. (2).

$$P_m = \frac{\rho \times A \times C_p \times V_v^3}{2} [W] \quad (2)$$

Onde ρ representa a densidade do ar, A representa a área do rotor, C_p o coeficiente de potência e V_v a velocidade do vento.

O coeficiente C_p apresentado na Eq. (3) é adimensional.

$$C_p = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{\lambda_i}} \quad (3)$$

Onde λ_i é a relação entre a velocidade tangencial de ponta da pá com a velocidade do vento no ponto “i” (adimensional); β é o ângulo de passo da turbina (°) e C_1, C_2, C_3, C_4 e C_5 são parâmetros de ajuste de ganho.

Neste estudo foram adotados os parâmetros de ajuste de ganho indicados por Montezano (2007), que apresentou os valores de ajuste ótimos como sendo: $C_1 = 0,5176$; $C_2 = 98$; $C_3 = 0,4$; $C_4 = 5$ e $C_5 = 16,5$.

3 | RESULTADOS

Os cenários mostrados na Tabela 1 são uma relação dos valores apresentados na Tabela 1 e ilustram a combinação para as variáveis respostas estudadas.

Cenário	D(m)	β (°)	v_v (m/s)	P_m (MW)	R (rad/s)
1	100,40	4,05	7,46	0,74	1,19
2	189,60	4,05	7,46	2,63	0,63
3	100,40	15,95	7,46	-0,18	1,19
4	189,60	15,95	7,46	-0,63	0,63
5	100,40	4,05	20,54	15,39	3,27
6	189,60	4,05	20,54	54,89	1,73
7	100,40	15,95	20,54	-3,68	3,27
8	189,60	15,95	20,54	-13,12	1,73
9	70,00	10,00	14,00	1,06	3,20
10	220,00	10,00	14,00	10,45	1,02
11	145,00	0,00	14,00	12,43	1,54
12	145,00	20,00	14,00	-7,92	1,54
13	145,00	10,00	3,00	0,04	0,33
14	145,00	10,00	25,00	25,84	2,76
15	145,00	10,00	14,00	4,54	1,54

Tabela 1 – Cenários construídos para o DCCR para potência e rotação R.

Fonte: Autoria própria (2020).

3.1 POTÊNCIA TRANSFERIDA PARA O ROTOR

Os resultados obtidos por meio da simulação apresentaram P_m com valores negativos nos cenários 3, 4, 7, 8 e 12 mostrando que altos valores aplicados ao ângulo de passo da turbina podem levar o rotor a ter seu giro sustentado pela energia elétrica da rede ao invés da energia cinética do vento, ou seja, vai consumir energia ao invés de gerar.

Montezano (2007) explicou a relação de C_p com β por meio da relação entre a velocidade da ponta da pá e a velocidade do vento, também definido pelo autor como lambda (λ), com os valores apresentados na Figura 1.

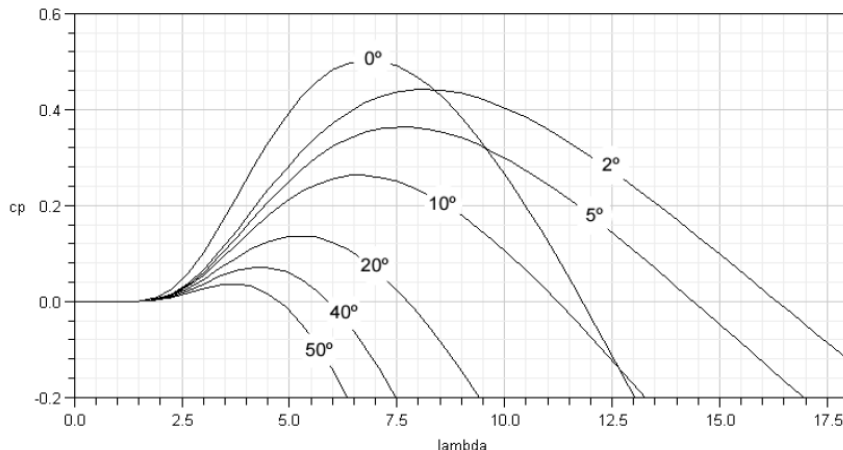


Figura1 – Dependência do coeficiente de potência com o ângulo de passo da pá (β) e da velocidade de ponta de pá com a velocidade do vento

Fonte: Montezano (2007)

Para Montezano (2007), o coeficiente de potência difere de valor nulo com uma velocidade de ponta de pá aproximadamente 2,5 maior que a que a velocidade do vento para ângulos de passo testados entre 0° e 50° . A Figura 1 deixa claro que existe um valor ótimo de λ para cada ângulo. Como por exemplo, para um valor de ângulo β de 0° o aproveitamento máximo é superior a 40% e quando esse ângulo aumenta o aproveitamento decresce.

O autor também observou que λ elevado pode tornar o C_p negativo, fator esse que implica em uma potência negativa no aerogerador causando o fenômeno de consumo de energia elétrica para sustentação do movimento das pás.

O cenário 6 apresentou valor de potência elevado e não constatado nos padrões construtivos atuais, denotado pela combinação de pequeno ângulo de passo e elevada velocidade do vento em uma turbina construída com pás com valor elevado de raio observa-se que a tecnologia atualmente existente não consegue atender tais condições construtivas e ambientais.

Na simulação realizada, a potência (em MW) apresentou dependência diretamente proporcional à velocidade do vento v_v e inversamente proporcional ao ângulo de passo β , sendo representada pela Equação de regressão (4).

$$P_m = (-9,19)\beta + (6,91)V_v - (10,36)\beta * V_v + (6,83) \quad (4)$$

A Figura 2 apresentada a seguir mostra a superfície de resposta da potência máxima transferida para o aerogerador sob as variáveis independentes velocidade do vento e ângulo de passo.

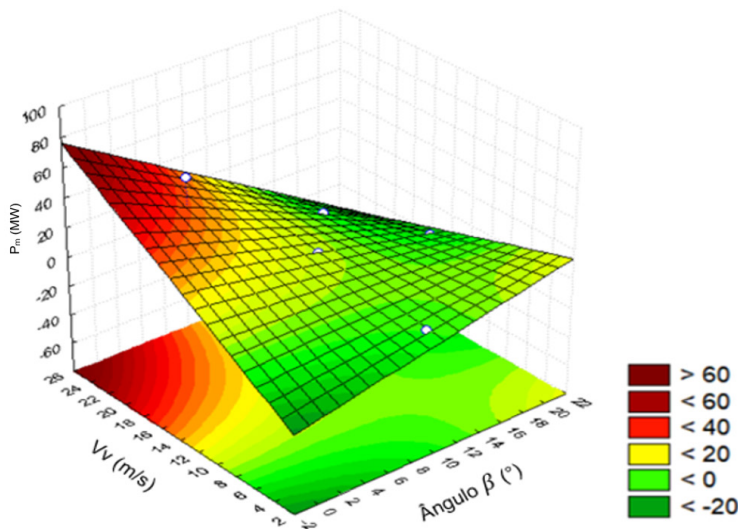


Figura 2 – Superfície de resposta da potência com influências da velocidade do vento (v) e do ângulo de passo (β).

Fonte: Autoria própria (2020).

Esta figura apresenta a dependência diretamente proporcional da potência gerada pela turbina eólica com a velocidade do vento. Também caracteriza que elevado ângulo de passo reduz o rendimento da turbina, podendo fazer com que a usina deixe de produzir energia e, para manter suas hélices girando, passa a consumi-la.

Nesse mesmo contexto Minnesota Municipal Power Agency [20--] também descreveu que para cada ângulo de passo diferente há um limite de relação λ que torna o coeficiente negativo. Esse coeficiente negativo faz com que a turbina deixe de fornecer energia ativa para a rede. Por esse motivo os projetos de geração eólica devem prever o corte de geração para altas velocidades de vento.

3.2 ROTAÇÃO NO EIXO DA TURBINA

O diâmetro de um rotor varia de acordo com a potência desejada para o aerogerador. A Tabela 3 apresenta alguns valores construtivos de diâmetro para aerogeradores entre 3 e 4,5 MW de potência de pico de geração.

Modelo	Potência da turbina (MW)	Diâmetro do rotor (m)	Rotação do cubo (RPM)	Área varrida do rotor (m ²)
N155	4,5	155	11	18.870
N155	4,8	155	11	18.870
N131	3,9	131	7,9 -15,4	13.478
N131	3,6	131	7,5 -13,6	13.478
AW148	3 a 3,6	148	6,2 -12,4	17.203
AW132	3,465	132	7 -14	13.685

Tabela 3 - Exemplificação do diâmetro de alguns modelos de turbinas eólicas.

Fonte: Adaptado do *site* da fabricante Nordex (2020).

Os dados da Tabela 3 não esgotam todas as possibilidades construtivas e servem apenas como exemplos trazidos de modelos utilizados por fabricantes de aerogeradores para facilitar as relações matemáticas aqui apresentadas.

A literatura não apresenta uma equação para modelar a rotação do eixo, sendo que para esta simulação foi constatada uma dependência diretamente proporcional a velocidade do vento e inversamente proporcional ao diâmetro do rotor. A regressão estatística é apresentada na Eq. (5).

$$R = (-0,58)D + (0,77)V_v - (0,25)D * V_v + (1,71) \quad (5)$$

A superfície de resposta da rotação do eixo do aerogerador sob as variáveis independentes velocidade do vento e diâmetro do rotor é apresentada na Figura 3, permitindo observar a dependência diretamente proporcional da rotação com a velocidade do vento e a dependência inversa da resposta (rotação) com o diâmetro do rotor.

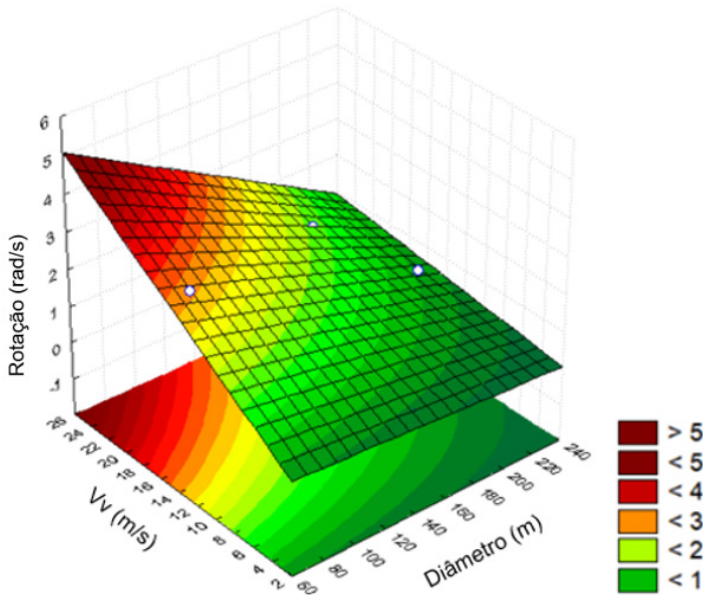


Figura 3 - Superfície de resposta da Rotação (R) com influências da velocidade do vento (V_w) e do diâmetro do rotor.

Fonte - Autoria própria (2020).

4 | CONCLUSÃO

A pesquisa teve como propósito encontrar uma correlação das variáveis diâmetro do rotor, velocidade do vento e ângulo de passo, pois possuem atuação direta para a geração de energia eólica e assim influenciando a fabricação de modelos de turbinas eólicas.

Foi possível verificar que as variáveis ambientais e construtivas possuem grande influência na rotação e potência disponível no eixo do rotor eólico pelos gráficos de superfícies, sendo necessária a realização de experimentos para validar as equações de regressão aqui apresentadas.

Foi observado nesse estudo que o ângulo de passo é a variável imprescindível para o controle da potência transferida para turbina eólica quando da variação na velocidade do vento, sendo que essa hipótese constitui a recomendação para trabalhos futuros com objetivo de verificar existência de dependência matemática entre a rotação do eixo e o ângulo de passo da pá do aerogerador.

REFERÊNCIAS

Minnesota Municipal Power Agency (MMPA). **Wind energy math calculations: calculating the tip speed ratio of your wind turbine**. Disponível em: <https://mmpa.org/wp-content/uploads/2015/09/Tip-Speed-Ratio-Provided-by-Kid-Wind-PDF.pdf>. Acesso em: 22 maio 2020.

MONTEZANO, B. E. M. **Modelo dinâmico de visualização de um aerogerador com velocidade de rotação variável e controle de passo em VRML**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

NORDEX. **The delta 4000 platform**. <https://www.nordex-online.com/en/product/platforms/#delta4000>. Acesso em 18 de maio 2020.

NORDEX. **The AW3000 platform**. <https://www.nordex-online.com/en/product/platforms/#awplatform>. Acesso em 18 de maio 2020.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento d experimentos e otimização de processos**. 2. ed. Campinas, SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2009.

VERGARA, C. S. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas S.A, 1998.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acoplamento magnético ressonante forte 84

Automação de iluminação 150

C

Cálculo de perdas de energia 39

Composto direito/esquerdo (CRLH) 117

Controle da iluminação 150

Correlação-cruzada 15

Custos anuais de construção de linhas de distribuição 39

D

Detecção 94, 154

Durabilidade de rede de Bragg 25

E

Eficiência energética 7, 150, 151, 153, 160

Encapsulamento 25, 27, 29, 30, 31, 32, 35

Energia eólica 161, 162, 168

Enlace analógico a fibra óptica 1, 13

Enlace fotônico sob baixa polarização 1

Estruturas periódicas 117

F

FBG 5, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 36, 37

Fotovoltaico 7, 94, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180

Fuzzy Logic 5, 54, 55, 65, 68

I

Índice de refração negativo 117

Inteligência artificial 55

L

Lei de Kelvin 38, 39

LTE 7, 118, 125, 127, 128, 129, 136, 137

M

Metamateriais 6, 84, 117

N

Neuro-Fuzzy 127, 129, 130, 133, 134, 136, 137

O

Otimização estática 39

P

Perda de propagação 127, 128, 136

Permeabilidade negativa 117

Permissividade negativa 117

PID 6, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Planejamento de potência reativa 106

Proteção contra surtos 139, 140

R

Rádio propagação sobre pontes 127

Rede de fibra de Bragg (FBG) 15

Refrigerador 139, 140, 141, 146, 147, 148

Reversão 94

Revisão literária 94

RFBG 5, 25, 26, 27, 28, 31, 32

RF em fotônica 1

Rotação 161, 162, 164, 166, 167, 168, 169

S

Sensor à fibra óptica 15

Sistema DALI 150, 154, 155

Sistemas de alívio 15

Sistemas de distribuição 106, 115, 141

Sistemas de potência 106

Supercondutividade 84

Surtos elétricos 7, 139, 140, 141, 142, 144, 146, 148, 149

T

Televisor 139, 140, 141, 144, 145

Transmissão de energia sem fio 6, 84

V

Vazão 14, 15






Velocidade do vento 161, 163, 164, 165, 166, 167, 168

Vida útil 47, 139, 140, 141, 147, 148, 170

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

- 
-  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 ELÉTRICA 2

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