



**Atena**  
Editora

Ano 2020

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Marcelo Henrique Granza  
(Organizadores)

**Engenharia Elétrica  
e de Computação:  
Atividades Relacionadas com  
o Setor Científico e Tecnológico**

**2**

A black and white photograph of a hand holding a square microchip. The chip has a grid of pins around its perimeter and several smaller components on its surface. The background is a blurred image of various electronic components like capacitors and resistors. The image is split diagonally, with the top-left portion showing the hand and chip, and the bottom-right portion being a dark, textured area containing text.

**Atena**  
Editora

Ano 2020

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Marcelo Henrique Granza  
(Organizadores)

**Engenharia Elétrica  
e de Computação:  
Atividades Relacionadas com  
o Setor Científico e Tecnológico**

**2**

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

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

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

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

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
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  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>Engenharia elétrica e de computação [recurso eletrônico] : atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 2 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-168-8            DOI 10.22533/at.ed.688200707</p> <p>1. Ciência da computação – Pesquisa – Brasil. 2. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Granza, Marcelo Henrique.</p> <p style="text-align: right;">CDD 623.3</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica e da computação é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

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

Boa leitura!

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Marcelo Henrique Granza

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PARADOXOS, RISCOS E REQUISITOS DA NOVA MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA	
Vitor Silva Duarte	
Mario Jorge Daher	
Alex Nunes de Almeida ( <i>in memoriam</i> )	
Maria Aparecida Martinez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
ANÁLISE DO IMPACTO DE GERAÇÕES RENOVÁVEIS SOBRE A MARGEM DE ESTABILIDADE DE TENSÃO POR MEIO DE REGIÕES DE SEGURANÇA	
Paulo Andrade Novaes	
Antonio Carlos Zambroni de Souza	
Fábio da Costa Medeiros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
APLICAÇÃO DE MODELO MULTIOBJETIVO DE ALOCAÇÃO DE GERADORES DISTRIBUÍDOS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO OBRAS DE CONEXÃO DA REDE	
Paulo Sérgio Zanin Júnior	
Lina Paola Garcés Negrete	
Gelson Antônio Andrêa Brigatto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>43</b>
COMPLEXIDADES DA OPERAÇÃO DO SIN E SEUS IMPACTOS NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO	
Vinicius Ragazi David	
Daniela Souza	
Leonardo Calabró	
João Carlos Mello	
Xisto Vieira Filho	
Edmundo P. Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>61</b>
ESTRATÉGIAS DE O&M UTILIZADAS NA GESTÃO DE DESEMPENHO DOS PARQUES EÓLICAS, EM TEMPO REAL, PÓS OPERAÇÃO E ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO NO CURTO E MÉDIO PRAZO, MOSTRANDO OS RESULTADOS OBTIDOS COM A UTILIZAÇÃO DE BIGDATA, BUSINESS INTELLIGENCE E MACHINE LEARNING	
Flávio Martins ribeiro	
Marcus Antonius Queiroz da Cunha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>72</b>
IMPACT OF HOURLY PRICES ON FUTURE WIND FARM CONTRACTS IN BRAZIL	
João Carlos De Oliveira Mello	
Cláudio Ferreira	
Lucas Soares	
André Castro	
Daniela Souza	
Evelina Neves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007076</b>	



<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>83</b>
DESAFIOS ENCONTRADOS NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO COMPLEXO TERMELÉTRICO JORGE LACERDA	
Liliana Dutra dos Santos	
Rofferson Rosa Izidoro	
Daniel José Schmitz de Aguiar	
Fábio Silveira Costa	
Juceli Locks Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007077</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>96</b>
AVALIAÇÃO DE ESFORÇOS DINÂMICOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO CÁLCULO PARA ESTRUTURAS DE SUBESTAÇÕES	
Rafael Faria da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007078</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>108</b>
ESTUDO E SIMULAÇÃO DE PROTEÇÃO DE ZONA MORTA EM SUBESTAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Rodrigo Niederauer da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6882007079</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>121</b>
ELETROENCEFALÓGRAFO DE BAIXO CUSTO: CONCEITOS E PROJETO	
Vitor Nestro Rauffmann	
Pedro Bertemes Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070710</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>135</b>
FONTES DE CORRENTE EM TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA MULTIFREQUENCIAL: ESTADO DA ARTE	
Lucas Cordeiro Butzke	
Pedro Bertemes Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070711</b>	
<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>148</b>
TEORIA E ESTUDOS DE APLICAÇÕES DA TRANSFORMADA FRACIONAL DE FOURIER	
Leonardo Audalio Ferreira do Nascimento	
Adailton Braga Júnior	
Beatriz Cristina Reis Cordeiro	
Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro	
Pierre Teixeira Rodrigues	
Petrus Luiz Luna Pequeno	
Antônio Carlos Duarte Ricciotti	
Viviane Barrozo da Silva Duarte Ricciotti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070712</b>	

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>166</b>
RELÉ INTELIGENTE BASEADO NA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE 4 VALORES MULTIFUNCIONAL - RI LPA4V	
Viviane Barrozo da Silva	
Ghendy Cardoso Júnior	
Antonio Carlos Duarte Ricciotti	
Pierre Teixeira Rodrigues	
Marcelo Luiz De Carvalho Ribeiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070713</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>179</b>
OPEN SOURCE MODULAR DIDACTIC PLATFORM FOR POWER ELECTRONICS TEACHING	
Lucas Koleff	
Gustavo Soares Valentim	
Luciana da Costa Marques	
Victor Praxedes Rael	
Adrian D'Lucas Cardoso Gonçalves	
Wilson Komatsu	
Lourenço Matakas Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070714</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>204</b>
AUTOMAÇÃO DA CABINE DE LIMPEZA DE IMPRESSÃO 3D BINDER JETTING	
João Batista Machado Silva	
Leonardo Bevilaqua dos Santos	
Lucas Leandro Gomes	
Mariana Silva do Nascimento Gonçalves	
Vinícius de Moares Barboza	
Rogério Luis Spagnolo da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070715</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>218</b>
USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA OBTENÇÃO DE UM SENSOR AR/COMBUSTÍVEL VIRTUAL APLICADO A UM MOTOR MONOCILÍNDRICO	
Leonardo Faure Nardini Paschoa	
Sergio Ribeiro Augusto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070716</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>229</b>
INVESTIGAÇÃO DOS MÉTODOS NORMATIVOS PARA O CÁLCULO E ESTIMAÇÃO DA TEMPERATURA DO TOPO DO ÓLEO EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA	
Daniel Carrijo Polonio Araujo	
Gabriel De Souza Pereira Gomes	
Mateus Batista De Moraes	
Rafael Prux Fehlberg	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070717</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>242</b>
MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM A UTILIZAÇÃO DE MANTA TÉRMICA: ESTUDO DE CASO DE UMA INJETORA DE PEÇAS PLÁSTICAS	
Ivo Carlos Guarato Júnior	
Lúcio Rogério Júnior	
Antônio Manoel Batista da Silva	
Guilherme Henrique Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.68820070718</b>	

<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>254</b>
DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UM SISTEMA PARA PESQUISA DE PRODUTOS DE SUPERMERCADO <a href="#">Marcelo Garcia Palma</a> DOI 10.22533/at.ed.68820070719	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>271</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>272</b>

# CAPÍTULO 5

## ESTRATÉGIAS DE O&M UTILIZADAS NA GESTÃO DE DESEMPENHO DOS PARQUES EÓLICAS, EM TEMPO REAL, PÓS OPERAÇÃO E ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO NO CURTO E MÉDIO PRAZO, MOSTRANDO OS RESULTADOS OBTIDOS COM A UTILIZAÇÃO DE BIGDATA, BUSINESS INTELLIGENCE E MACHINE LEARNING

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 30/04/2019

**Flávio Martins ribeiro**

CPFL Renováveis

Jundiaí – São Paulo

**Marcus Antonius Queiroz da Cunha**

CPFL Renováveis

Fortaleza – Ceará

**RESUMO:** No setor de energias renováveis, mais precisamente na geração de energia eólica, ferramentas computacionais aliadas a estratégias de O&M tem sido cada vez mais foco de estudos e investimentos. Esse informe apresenta algumas ferramentas computacionais e estratégias de O&M utilizadas na gestão de desempenho de parques eólicos, em Tempo Real, Pós Operação e Engenharia de Manutenção no curto e médio prazo, mostrando os resultados obtidos com a utilização de Big Data, Business Intelligence (BI) e Machine Learning (ML).

**PALAVRAS-CHAVE:** Business Intelligence, Aprendizagem de máquina, Machine Learning, Geração eólica.

O&M STRATEGIES USED IN WIND FARM PERFORMANCE MANAGEMENT, AT REAL TIME, POST OPERATION AND MAINTENANCE ENGINEERING IN THE SHORT AND MEDIUM TERM, SHOWING THE RESULTS OBTAINED FROM THE USE OF BIGDATA, BUSINESS INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING

**ABSTRACT:** In the renewable energy sector, more specifically in the generation of wind energy, computational tools combined with O&M strategies have been increasingly the focus of studies and investments. This report presents some computational tools and O&M strategies used in the performance management of wind farms, in Real Time, Post Operation and Maintenance Engineering in the short and medium term, showing the results obtained with the use of Big Data, Business Intelligence (BI) and Machine Learning (ML).

**KEYWORDS:** Business Intelligence, Machine Learning, Wind Energy Generation

### 1 | INTRODUÇÃO

O Aerogerador é composto por um conjunto de vários componentes que

possibilitam a conversão da energia cinética do vento em energia elétrica de maneira controlada, confiável e eficiente. OS aerogeradores podem ser divididos em sistemas mecânicos, elétricos e de controle. Os componentes mecânicos incluem torre, nacelle, pás, cubo, gearbox (caixa de engrenagens), sistema de pitch, sistema de yaw, sensores de velocidade do vento, drive train e freios mecânicos. Os componentes elétricos incluem o gerador elétrico, o conversor eletrônico de potência (quando existente) junto com filtros harmônicos do lado do gerador e da rede, transformador de força e rede trifásica ou ponto de entrega. Os componentes relacionados ao controle dos sistemas de conversão de energia mecânica e elétrica. As partes mais visíveis nas grandes turbinas eólicas são a torre, a nacelle e as pás do rotor, e os demais componentes estão alojados dentro da turbina eólica.

Assim, para monitoramento do funcionamento dos aerogeradores de grande porte, os diversos sistemas podem ser capazes de disponibilizar informações como alarmes de funcionamento dos sistemas, estados e demais pontos digitais dos aerogeradores, além de variáveis analógicas, como potência ativa, potência reativa, correntes elétricas, tensões, frequência elétrica, velocidade do vento, direção do vento, densidade do ar, temperatura ambiente, velocidade do rotor, velocidade do gerador, ângulos do pitch, posição angular da nacelle, posição angular da nacelle em relação ao vento, temperatura dos rolamentos do Gearbox, temperatura do óleo da Gearbox, temperatura dos rolamentos do gerador, temperatura dos enrolamentos do gerador, temperatura da Nacelle, temperatura de painéis, vibração da torre, vibração do Drive train, além de muitos outros, dependendo do fabricante e topologia do aerogerador.

Aerogeradores de grande porte (>1MW) podem ser de 4 tipos diferentes. Os três tipos mais utilizados comercialmente são apresentados nas Figura 1, 2 e 3 (YARAMASU, 2015).

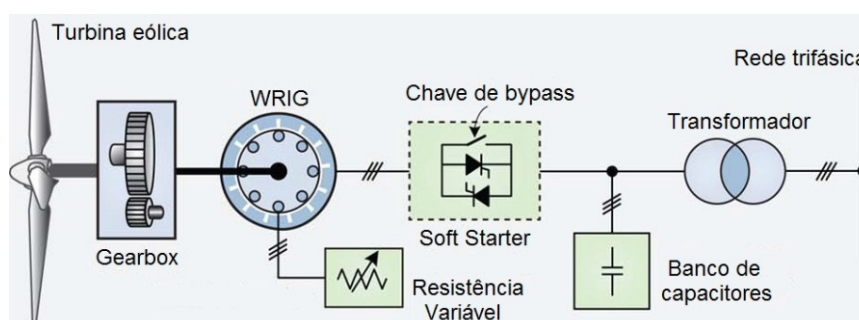


Figura 1. Tipo 2 – WRIG (YARAMASU, 2015)

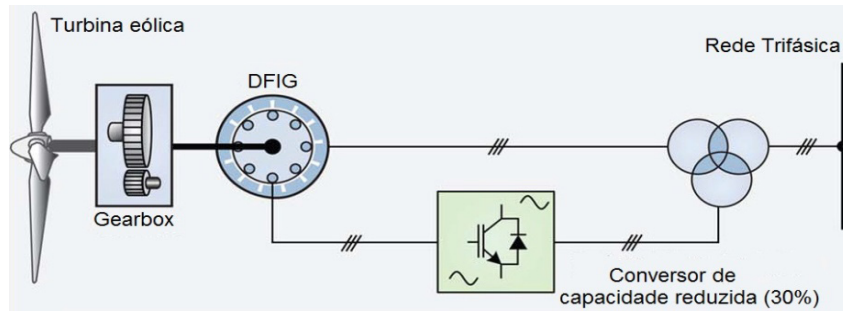


Figura 2. Tipo 3 - DFIG (YARAMASU, 2015)

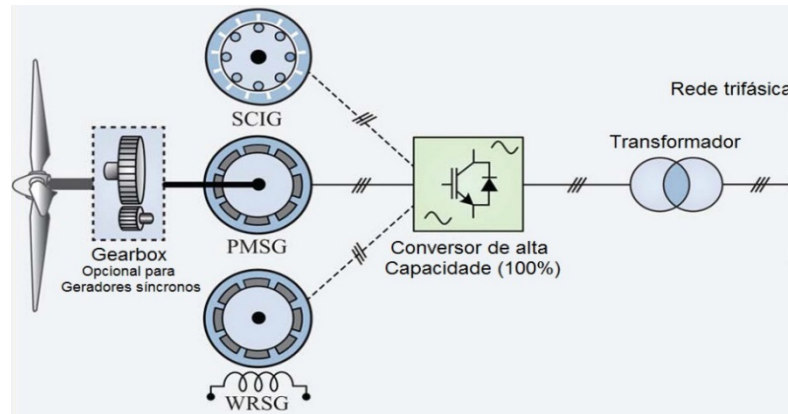


Figura 3. Tipo 4 - Full converter (YARAMASU, 2015)

Cada fabricante de aerogeradores comerciais de grande porte disponibiliza seus dados em plataformas variadas de dados e em banco de dados próprios e com configurações determinadas pelo próprio fabricante. Assim, realizar trabalhos de criação de banco de dados únicos com informações padronizadas se torna uma tarefa difícil utilizando essas plataformas.

O objeto de estudo utilizado no desenvolvimento das estratégias tratadas nesse informe técnico são 645 aerogeradores diferentes das três topologias mais utilizadas comercialmente e de 6 fabricantes diferentes, conforme Tabela 1,

Fabricante	Topologia	Nº de AEGs da frota
1	Tipo 2 e Tipo 3	182
2	Tipo 3	147
3	Tipo 3	133
4	Tipo 4	34
5	Tipo 4	109
6	Tipo 3	120

Tabela 1 – Topologias e nº de aerogeradores por fabricante

## 2 | DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS

Devido a diversidade de topologias e fabricantes, o primeiro passo foi desenvolver um Sistema Supervisório (SCADA) único que consolidasse a aquisição de todos os

pontos digitais e analógicos dos 645 aerogeradores e diversos pontos do Bop elétrico, se tornando o maior sistema de automação do Brasil em número de pontos supervisionados (~700mil pontos). Esse sistema faz a aquisição em fração de segundos das grandezas dos aerogeradores e possuem regras de análise de desempenho. O objetivo aqui é não “deixar para amanhã” ajustes de parâmetros e manutenções que podem ser realizadas imediatamente para se obter a maior eficiência na geração de energia.

## 2.1 ANÁLISE EM TEMPO REAL

Para atingir metas arrojadas de perda por indisponibilidade e perda por ineficiência, o Centro de Operação tem em tempo real visualização do número de aerogeradores, por usina, que estão disponíveis, disponíveis não gerando, indisponíveis e sem comunicação. Além disso, um gráfico de rosca auxilia no entendimento da perda de potência por indisponibilidade ou por eficiência. Uma tela apresentando diversas informações (em tempo real) de todos os conjuntos/complexos eólicos objeto do estudo encontra-se na Figura 4.



Figura 4. Tela de visão geral das usinas eólicas (Autor, 2019)

Na tela apresentada na Figura 4 é possível visualizar gráfico de barras, apresentando número de aerogeradores comunicando (ou não), disponíveis (ou não) e disponíveis gerando (ou não). Além de ser possível visualizar gráficos de rosca para cada conjunto/complexo eólico. Esse gráfico de rosca é dividido em 4 setores: Potência ativa geral, Potência ativa média perdida por indisponibilidade, Potência ativa média perdida por ineficiência e a diferença entre a potência nominal e a soma das três outras, conforme Figura 5.



Figura 5. Legenda de cores do gráfico de rosca de cada usina (Autor, 2019)

A partir das informações apresentados nos gráficos, o operador do Centro de Operação de tempo real consegue ter uma primeira visualização de indisponibilidades e ineficiências, podendo investigar as principais perdas por parques e por aerogeradores, tendo a possibilidade de tratar grandes indisponibilidades e grandes ineficiências ainda em tempo real. Além disso, um alarme é acionado para cada aerogerador que apresenta baixa eficiência, conforme Figura 6.

Data e hora	Área	Estado	Descrição
24/04/2019 10:30:00,997	EDIM.DIM-004		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,997	EDOM.DOM-003		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,997	EDOM.DOM-005		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,997	EDOM.DOM-007		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,997	EDOM.DOM-008		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,997	EDOM.DOM-009		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,997	EDOM.DOM-012		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,091	EBEN.BEN-002		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,091	EBEN.BEN-006		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,091	EBEN.BEN-011		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,091	EBEN.BEN-012		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,091	EBEN.BEN-013		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:30:00,091	EBEN.BEN-014		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:20:00,676	EBEN.BEN-008		Potência ativa perdida por ineficiência
24/04/2019 10:10:00,430	EDOM.DOM-006		Potência ativa perdida por ineficiência

Figura 6. Tela de alarmes do aerogerador no SCADA (Autor, 2019)

A partir dos indicativos visuais e alarmes, o operador de tempo real, consegue acessar dados de cada aerogerador, através de uma tela de detalhamento criada dentro do sistema de supervisão, e realizar análise aprofundada da perda visualizada, dependendo do grau de prioridade que tenha essa perda.





Figura 7. Tela de detalhamento do aerogerador no SCADA (Autor, 2019)

Devido ao grau de ocupação dos operadores de centro de operação nas atividades de tempo real (supervisão e operação dos ativos), pequenas perdas visualizadas graficamente são desprezadas em uma análise de tempo real, sendo investigados em outro momento, através de análises de curto e médio prazo.

## 2.2 ANÁLISE DE CURTO E MÉDIO PRAZO

Todos os pontos aquisitados pelo supervisório são historiados com estratégias de armazenamento em Big Data, melhorando a capacidade de armazenamento e desempenho de consultas. Através desses dados análises de desempenho com o uso de ferramentas de BI são realizadas pela área de Pós Operação imediatamente no dia seguinte, assim como semanalmente, apresentado em reunião de Análise de Performance (curto prazo).

As análises primárias baseiam-se em gráficos de desempenho amplamente conhecidos, como a curva de potência e a curva de potência x velocidade do gerador. Com a consolidação das análises, uma lista de ações específicas para cada área da empresa é desenvolvida e amplamente discutida em reuniões dedicadas. Além disso, indicadores como perdas por eficiência e perdas por indisponibilidade são calculados e permitem acompanhar a evolução das ações que são tomadas para maximizar o desempenho. Como alguns parâmetros de desempenho apenas podem ser observados com maior profundidade de dados na área de Engenharia de Manutenção ocorrem análises mensais, trimestrais e semestrais (médio prazo).

### 2.2.1 Análise de Curto Prazo

Análises de curto prazo envolve ver pequenas e médias ineficiências que não puderam ser observadas na rápida análise de tempo real, além de poderem ser observadas

ineficiências que não foram vistas pelo tempo real por conta de contingências sistêmicas.

Para desenvolvimento das análises de curto prazo foram desenvolvidos dashboards específicos em com curvas, gráficos e tabelas que permitam a análise rápida e precisa. Na Figura 8 é possível analisar as seguintes curvas e informações aquisitadas pelo supervisor e armazenadas com estratégias de BigData:

- Gráfico Cascata: contém acompanhamento (com período a escolha) dos indicadores de Geração Realizada e Orçada, perdas ou ganhos energéticos, mostrando graficamente a diferença da geração realizada pela esperada. As variações energéticas acompanhadas são o recurso, condições externas, indisponibilidade, eficiência, perdas na rede de média e de baixa tensão.
- Curva de potência x velocidade de vento
- Curva de potência x velocidade de gerador
- Curva da Posição angular Nacelle x direção do vento:
- Curva da Potência ativa x potência reativa
- Curva da diferença entre ângulos de blades (pás)



Figura 8. Primeira tela do dashboard para análise de curto prazo (Autor, 2019)

Também há a possibilidade de análises de curvas temporais, conforme Figura 9, onde é apresentado a segunda tela do dashboard, contendo:

- Posição da nacelle e direção do vento.
- Diferença entre os ângulos das blades.
- Razão da posição da nacelle pela direção do vento da torre anemométrica
- Diferença entre direção do vento da Nacelle e da torre anemométrica

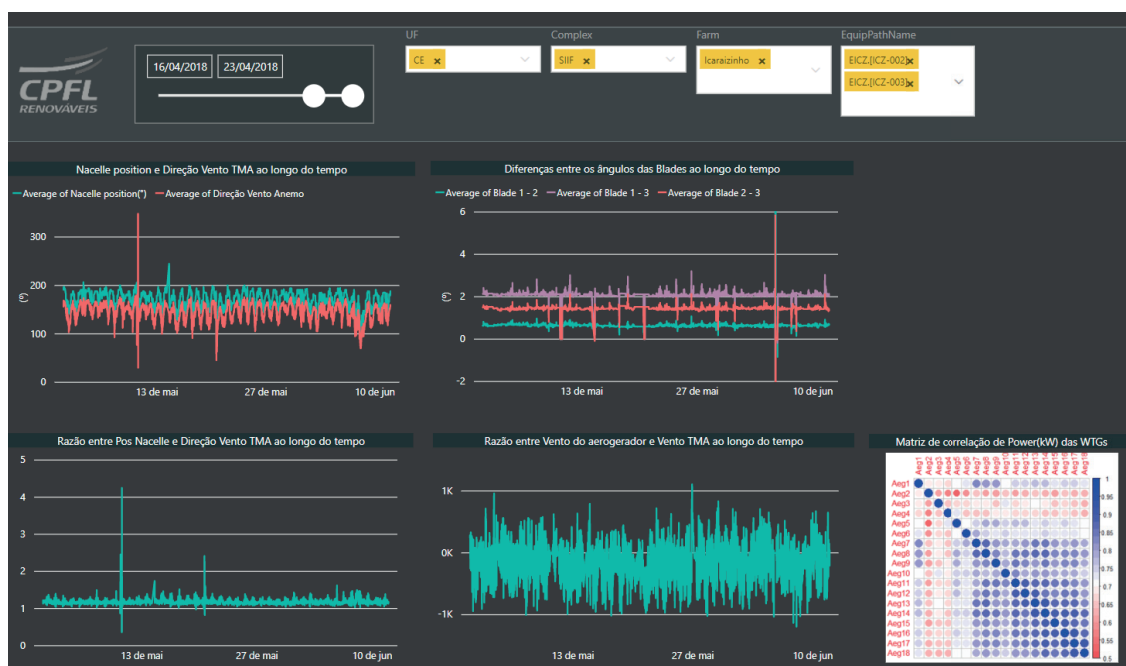


Figura 9. Segunda tela do dashboard para análise de curto prazo (Autor, 2019)

Outras variáveis também são estudadas, mas com menor frequência e de forma pontual, como: Análise de Função de Transferência da Nacelle (NTF) e análise dos Ângulos das Pás e a Velocidade do Vento.

### 2.2.2 Análise de Médio Prazo

As ações listadas durante processo de análise de curto prazo fornecem subsídios e foco nas análises de médio prazo, além de auxiliar na escolha da melhor ferramenta para estudo dos casos. Ferramentas de análise em médio prazo baseiam-se na utilização das informações geradas durante o processo, inclusive envolvendo dados de manutenções (passado, presente, futuro) planejadas e não-planejadas e resultados de performance de cada WTGs, porém com uma série de estudos não comumente realizados.

Alguns desses gráficos envolvem curvas de temperatura correlacionando-os com alarmes e paradas programadas e não programadas, possibilitando que a equipe de engenharia realize uma análise baseada na condição da máquina antes e depois dessa manutenção. Na Figura 10 são apresentados alguns dos diversos dashboards, desenvolvidos em linguagem R, para análise de temperaturas da caixa de engrenagens de um aerogerador Tipo 2 da frota estudada. Além da visualização gráfica de alguns envelopes de temperaturas do Gearbox por potência gerada, também são apresentados alarmes, sendo possível escolher o parque, aerogerador e semana (representação por cores) da análise a ser realizada.



Figura 10. Tela do dashboard para análise de médio prazo (Autor, 2019)

Na Figura 11 são apresentados outros dashboards para análise de temperaturas do gerador também de um aerogerador Tipo 2 da frota estudada. Além da visualização gráfica de alguns envelopes de temperaturas do Gerador por potência gerada, também são apresentados alarmes, sendo possível escolher o parque, aerogerador e semana (representação por cores) da análise a ser realizada.



Figura 11. Tela do dashboard para análise de médio prazo (Autor, 2019)

Também para análise de médio prazo, foram desenvolvidos, em um projeto de P&D, algoritmos de aprendizagem de máquina que definiram um modelo de comportamento padrão dos envelopes de temperatura dos grandes componentes dos aerogeradores,

com foco principal em gearbox, gerador e rolamentos. Dessa forma, sendo possível aliar as informações do Dashboard desenvolvido e o conhecimento do comportamento padrão dos envelopes de temperatura. Nas Figuras 12 e 13 são apresentadas as curvas de comportamento padrão do óleo da caixa de engrenagens e do eixo intermediário do Gearbox.

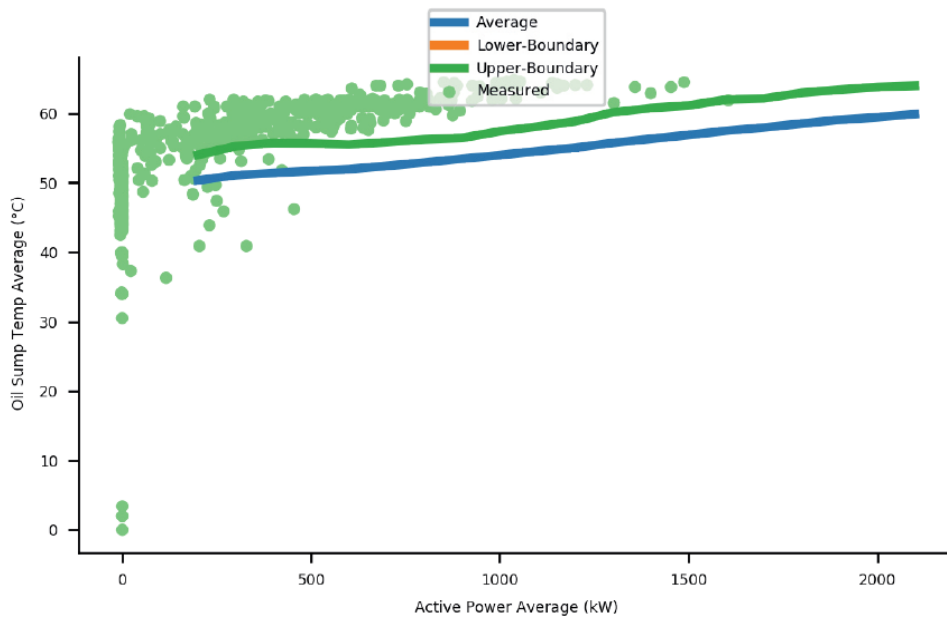


Figura 12. Curva de predição da temperatura do óleo da gearbox (Autor, 2019)

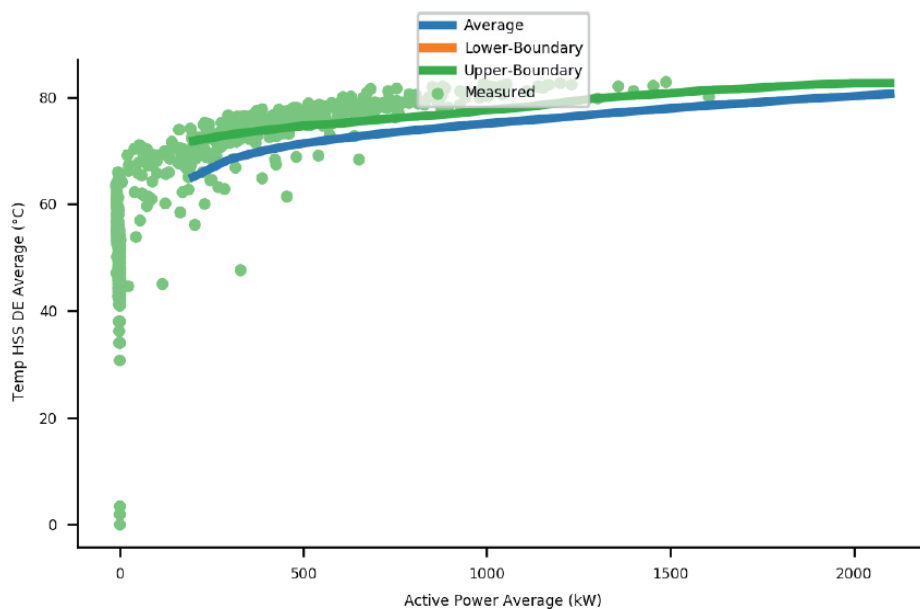


Figura 13. Curva de predição da temperatura do eixo da gearbox (Autor, 2019)

Com os modelos de comportamento padrão desenvolvido para cada aerogerador ou grupo de aerogeradores, um outro passo é o desenvolvimento de modelo temporal afim de prever a data de ocorrência da próxima falha, antecipando a aquisição de grandes componentes e realizando as atividades nos períodos de menores perdas.

### 3 | CONCLUSÃO

Com as estratégias utilizadas até o momento, e com o desenvolvimento de novas ferramentas, diversas falhas em aerogeradores (sistemas de pitch, yaw, anemômetros, gerador, gearbox, etc.) puderam (e poderão) ser identificadas e corrigidas em seu estágio inicial. Limitações causadas por falhas no controlador do parque e por limitações de temperatura dos componentes dos aerogeradores foram rapidamente identificadas e sanadas. Em alguns casos, dados de temperatura dos componentes de aerogeradores, mesmo com baixa taxa de amostragem, auxiliaram no direcionamento das equipes de manutenção, mostrando que o desenvolvimento de ferramentas computacionais, aliados a dados com a adequada amostragem, trouxeram e trarão cada vez mais benefícios à gestão de usinas eólicas de médio e grande porte.

### REFERÊNCIAS

YARAMASU, V., WU, B., SEN, P. C., KOURO, S., NARIMANI, M.; High-Power Wind Energy Conversion Systems: State-of-art and Emerging Technologies. Proceedings of the IEEE, v.103, nº5, Maio 2015.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Automação 10, 64, 94, 120, 133, 165, 204, 216, 256

### C

Compulsória 1, 12

Confiabilidade 2, 18, 43, 45, 47, 94, 95, 133, 163, 166, 167, 173, 176

### E

Eficiência energética 10, 242, 243, 244, 250, 252

Energética 10, 1, 2, 3, 8, 13, 37, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 58, 59, 242, 243, 244, 250, 252, 253

### G

Geração 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 36, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 56, 57, 59, 61, 64, 67, 83, 166, 167, 168, 173, 177, 243, 256

Geração distribuída 28, 31, 42, 45, 166, 173, 177

Grau 1, 4, 5, 10, 30, 32, 65, 66, 137, 162, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 263

### I

Ilhamento 149, 150, 161, 163, 164, 166, 167, 168, 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177

Impressão 3D 10, 204, 206

Intermitência 2, 8, 15, 16, 17, 31, 40, 43, 45, 47, 49, 50

### J

Jateamento 204, 207, 212, 213, 217

### M

Manta térmica 10, 242, 244, 246, 248, 249, 250, 251, 252, 253

Máquina injetora 242, 245, 246, 251

Matriz de energia elétrica brasileira 8, 1, 2

### N

Novas fontes 2, 43, 49

## O

Oferta 1, 3, 8, 9, 10, 16, 29, 44, 45, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 57, 59, 167, 255

## P

Paraconsistente 10, 166, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 178

Pesquisa 7, 11, 6, 13, 37, 42, 44, 106, 120, 165, 204, 243, 244, 253, 254, 255, 256

Processamento 129, 130, 132, 133, 134, 137, 149, 150, 161, 163, 164, 165, 177, 243, 259, 261

Produtos 11, 44, 50, 206, 253, 254, 255, 256, 264, 265, 266

Proteção 9, 24, 29, 30, 34, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 166, 167, 172, 177, 231, 241, 242, 244, 246, 248, 250, 251, 252

Proteção térmica 242, 244, 246, 248, 250, 251, 252

## R

Rede neural 166, 169, 173, 175, 176, 219, 220, 223, 224

Regularização 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 220, 225

Relé inteligente 10, 166, 168, 169, 171, 174, 175

## S

Sazonalidade 1, 2, 5, 8, 9, 10, 29

Segurança 8, 5, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 23, 25, 26, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 59, 88, 91, 92, 93, 94, 138, 166, 167, 171, 217, 231, 246

Sinais 11, 121, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 148, 149, 150, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 172, 174, 175, 214, 245

Supermercado 11, 254, 255, 256, 268

## T

Térmica 10, 1, 4, 8, 10, 11, 12, 21, 23, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 206, 230, 231, 232, 234, 242, 244, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253

Transformada de Fourier 149, 152

Transformada fracional de Fourier 9, 148, 149, 150, 157, 159, 161, 165



 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**