

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

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 Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro
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. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
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
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
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
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
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 Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
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
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

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 Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 2 / Organizador Ernane Rosa Martins. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-384-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.849211808>

1. Engenharia da computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). 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 Engenharia de Computação é a área que estuda as técnicas, métodos e ferramentas matemáticas, físicas e computacionais para o desenvolvimento de circuitos, dispositivos e sistemas. Esta área tem a matemática e a computação como seus principais pilares. O foco está no desenvolvimento de soluções que envolvam tanto aspectos relacionados ao software, quanto à elétrica/eletrônica. Os profissionais desta área são capazes de atuar principalmente na integração entre software e hardware, tais como: automação industrial e residencial, sistemas embarcados, sistemas paralelos e distribuídos, arquitetura de computadores, robótica, comunicação de dados e processamento digital de sinais.

Dentro deste contexto, esta obra aborda diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: implementação e modificações numéricas a serem feitas no algoritmo de Anderson (2010) para simular o escoamento sobre uma asa finita submetida a ângulos de ataque próximos ao estol; modelo distribuído para analisar a influência da formação e do adensamento de geadas sobre o desempenho de evaporadores do tipo tubo-aletado, comumente usados em refrigeradores frost-free; um algoritmo de Redes Neurais Convolucionais (CNN) que identifica se a pessoa está ou não utilizando a máscara; potencialidades do M-Learning e Virtual Reality no curso técnico em Agropecuária; avaliação da qualidade da energia elétrica em um sistema de geração de energia fotovoltaica; uma abordagem para a segmentação de imagens cerebrais, utilizando o método baseado em algoritmos genéticos pelo método de múltiplos limiares; estudo numérico de uma âncora torpedo sem aletas cravada em solo isotrópico puramente coesivo, utilizando um modelo axissimétrico não-linear em elementos finitos; estudo acerca da análise numérica de placas retangulares por meio do método das diferenças finitas, obtendo soluções aproximadas para o campo de deslocamentos transversais bem como os correspondentes momentos fletores, para problemas envolvendo uma série de condições de contorno, utilizando-se o software Matlab® para simulação; desenvolvimento e aplicação da Realidade Virtual (RV) como Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para auxiliar no processo de ensino-aprendizado de disciplinas do Ensino Médio; avaliação dos resultados obtidos em campanhas de medição de qualidade da energia elétrica (QEE) na rede básica em 500 kV; examinar o comportamento mecânico-estático de uma longarina compósita projetada para uma aeronave esportiva leve através de investigações numéricas, empreendidas em software (ANSYS Release 19.2) comercial de elementos finitos; construção de um sistema para monitoramento de ativos públicos; a relação da Sociedade 5.0 envolvida no contexto da Indústria 4.0 e a Transformação Digital; algoritmos de seleção e de classificação de atributos, identificando as vinte principais características que contribuem para o desempenho alto ou baixo dos estudantes; a Mask R-CNN, utilizada para a segmentação de produtos automotivos (parabrisas, faróis, lanternas, para-choques e retrovisores) em uma empresa do ramo de reposição automotiva; o nível de usabilidade do aplicativo protótipo

para dispositivo móvel na área da saúde voltado ao auxílio do monitoramento móvel no uso de medicamentos em seres humanos.

Sendo assim, esta obra é significativa por ser composta por uma gama de trabalhos pertinentes, que permitem aos seus leitores, analisar e discutir diversos assuntos importantes desta área. Por fim, desejamos aos autores, nossos mais sinceros agradecimentos pelas significativas contribuições, e aos nossos leitores, desejamos uma proveitosa leitura, repleta de boas reflexões.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

NONLINEAR LIFTING LINE IMPLEMENTATION AND VALIDATION FOR AERODYNAMICS AND STABILITY ANALYSIS

André Rezende Dessimoni Carvalho

Pedro Paulo de Carvalho Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118081>

CAPÍTULO 2..... 11

INFLUÊNCIA DA FORMAÇÃO DE GEADA EM EVAPORADORES DE TUBO ALETADO USANDO UM MODELO DISTRIBUÍDO

Caio Cezar Neves Pimenta

André Luiz Seixlack

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118082>

CAPÍTULO 3..... 24

INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE SEÇÕES DE CONECTORES NA EFICIÊNCIA DA RUPTURA POR SEÇÃO LÍQUIDA EM CANTONEIRA DE CHAPA DOBRADA

Jéssica Ferreira Borges

Luciano Mendes Bezerra

Francisco Evangelista Jr

Valdeir Francisco de Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118083>

CAPÍTULO 4..... 37

INFORMATION THEORY BASED STOCHASTIC HETEROGENEOUS MULTISCALE

Ianyqui Falcão Costa

Liliane de Allan Fonseca

Ézio da Rocha Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118084>

CAPÍTULO 5..... 59

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA IDENTIFICAR O USO DE MÁSCARA NA PREVENÇÃO DA COVID-19

Roberson Carlos das Graças

Edyene Cely Amaro Oliveira

Guilherme Ribeiro Brandao

Igor Siqueira da Silva

Samara de Jesus Duarte

Samara Lana da Rocha

Hermes Francisco da Cruz Oliveira

Guilherme Henrique Chaves Batista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118085>

CAPÍTULO 6..... 67

ANÁLISE DE DESEMPENHO MECÂNICO DE PLACAS A PARTIR DE MÉTODOS APROXIMADOS

Gabriel de Bessa Spínola
Edmilson Lira Madureira
Eduardo Morais de Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118086>

CAPÍTULO 7..... 85

M-LEARNING E VIRTUAL REALITY NO ENSINO TÉCNICO DE AGROPECUÁRIA

Gabriel Pinheiro Compto
Jeconias Ferreira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118087>

CAPÍTULO 8..... 95

MODELLING AND ANALYSIS OF AEROBOAT JAHU

João B. de Aguiar
Júlio C.S. Sousa
José M. de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118088>

CAPÍTULO 9..... 113

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA - ANÁLISE DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE E CARACTERÍSTICAS DE INJEÇÃO DE HARMÔNICOS DOS SISTEMAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA TENSÃO

Nelson Clodoaldo de Jesus
João Roberto Cogo
Luiz Marlus Duarte
Jesus Daniel de Oliveira
Luis Fernando Ribeiro Ferreira
Éverson Júnior de Mendonça
Leandro Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118089>

CAPÍTULO 10..... 127

OTIMIZAÇÃO MULTI-LIMAR PARA SEGMENTAÇÃO DE MRI POR ALGORÍTIMO GENÉTICO

Tiago Santos Ferreira
Paulo Fernandes da Silva Júnior
Ewaldo Eder Carvalho Santana
Mauro Sérgio Silva Pinto
Jayne Muniz Fernandes
Ana Flávia Chaves Uchôa
Jarbas Pinto Monteiro Guedes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180810>

CAPÍTULO 11..... 138

ANÁLISE NUMÉRICA DA CAPACIDADE DE CARGA DE ÂNCORAS TORPEDO CONSIDERANDO EFEITOS DE SETUP

Guilherme Kronemberger Lopes

José Renato Mendes de Sousa

Gilberto Bruno Ellwanger

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180811>

CAPÍTULO 12..... 156

ANÁLISE NUMÉRICA DE PLACAS EM ESTRUTURAS AEROESPACIAIS POR DIFERENÇAS FINITAS

Júlio César Fiorin

Reyolando Manoel Lopes Rebello da Fonseca Brasil

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180812>

CAPÍTULO 13..... 172

NUMERICAL SIMULATION OF LABYRINTH SEALS FOR PULSED COMPRESSION REACTORS (PCR)

Hermann Enrique Alcázar Rojas

Briam Rudy Velasquez Coila

Arioston Araújo de Moraes Júnior

Leopoldo Oswaldo Alcázar Rojas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180813>

CAPÍTULO 14..... 183

PRÁTICAS E CONTROLE DA CORRUPÇÃO NO MERCADO SEGURADOR: UMA PROPOSTA DE DADOS PARA SISTEMAS DE CONTROLE E COMPLIANCE

Lucas Cristiano Ferreira Alves

Melissa Mourão Amaral

Liza Dantas Noguchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180814>

CAPÍTULO 15..... 198

PREDICTING EFFECTIVE CONSTITUTIVE CONSTANTS FOR WOVEN-FIBRE COMPOSITE MATERIALS

Jonas Tieppo da Rocha

Tales de Vargas Lisbôa

Rogério José Marczak

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180815>

CAPÍTULO 16..... 210

PREVENTING SPURIOUS ARTIFACTS WITH CONSISTENT INTERPOLATION OF PROPERTIES BETWEEN CELL CENTERS AND VERTICES IN TWO-DIMENSIONAL RECTILINEAR GRIDS

Alexandre Antonio de Oliveira Lopes

Flávio Pereira Nascimento

Francisco Ismael Pinillos Nieto
Túlio Ligneul Santos
Alberto Barbosa Júnior
Luca Pallozzi Lavorante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180816>

CAPÍTULO 17..... 230

REALIDADE VIRTUAL APLICADA COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO ENSINO

Simone Silva Frutuoso de Souza
Everton Welter Correia
Gabrielly Chiquezi Falcão
Leonardo Plaster Silva
Érica Baleroni Pacheco
Fábio Roberto Chavarette
Fernando Parra dos Anjos Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180817>

CAPÍTULO 18..... 245

RESULTADOS DE CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DA ENERGIA EM SISTEMAS COM COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS - ANÁLISE DO IMPACTO DE OUTROS AGENTES NA AMPLIFICAÇÃO DE HARMÔNICOS EM SISTEMA DE 500 kV

Nelson Clodoaldo de Jesus
João Roberto Cogo
Luis Fernando Ribeiro Ferreira
Luiz Marlus Duarte
Éverson Júnior de Mendonça
Leandro Martins Fernandes
Jesus Daniel de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180818>

CAPÍTULO 19..... 258

SIMPLIFIED NUMERICAL MODEL FOR ANALYSIS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS WITH PARTIAL INTERACTION

Samuel Louzada Simões
Tawany Aparecida de Carvalho
Ígor José Mendes Lemes
Rafael Cesário Barros
Ricardo Azoubel da Mota Silveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180819>

CAPÍTULO 20..... 266

SIMULAÇÃO DE UMA LONGARINA COMPÓSITA DE UMA AERONAVE ESPORTIVA LEVE

Felipe Silva Lima
Álvaro Barbosa da Rocha
Daniel Sarmento dos Santos

Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180820>

CAPÍTULO 21.....279

SISTEMA RFID PARA CONTROLE DE ATIVOS PÚBLICOS

João Felipe Fonseca Nascimento

Jislane Silva Santos de Menezes

Jean Louis Silva Santos

Jennysson D. dos Santos Júnior

Luccas Ribeiro Cruz

Jean Carlos Menezes Oliveira

João Marcos Andrade Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180821>

CAPÍTULO 22.....292

SISTEMAS ESTRUTURAIS CONVENCIONAIS E SISTEMAS DE LAJES LISAS EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO

Pablo Juan Lopes e Silva Santos

Carlos Henrique Leal Viana

Sávio Torres Melo

Rebeka Manuela Lobo Sousa

Tiago Monteiro de Carvalho

Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180822>

CAPÍTULO 23.....303

SOCIEDADE 5.0 CORRELACIONADA COM A INDÚSTRIA 4.0 E A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Pablo Fernando Lopes

Thiago Silva Souza

Fernando Hadad Zaidan

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180823>

CAPÍTULO 24.....313

TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DE BARRAS QUEBRADAS EM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO SEM CARGA POR MEIO DA TRANSFORMADA WAVELET

Carlos Eduardo Nascimento

Cesar da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180824>

CAPÍTULO 25.....332

UNCERTAINTY QUANTIFICATION OF FRACTURE POTENTIAL AT CONCRETE-ROCK INTERFACE

Mariana de Alvarenga Silva

Francisco Evangelista Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180825>

CAPÍTULO 26	342
USANDO MINERAÇÃO DE DADOS PARA IDENTIFICAR FATORES MAIS IMPORTANTES DO ENEM DOS ÚLTIMOS 22 ANOS	
Jacinto José Franco	
Fernanda Luzia de Almeida Miranda	
Davi Stiegler	
Felipe Rodrigues Dantas	
Jacques Duílio Brancher	
Tiago do Carmo Nogueira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180826	
CAPÍTULO 27	355
ARTIFICIAL INTELLIGENCE USAGE FOR IDENTIFYING AUTOMOTIVE PRODUCTS	
Leandro Moreira Gonzaga	
Gustavo Maia de Almeida	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180827	
CAPÍTULO 28	366
UTILIZAÇÃO DE APLICATIVO PARA DISPOSITIVO MÓVEL PARA ADMINISTRAÇÃO DE MEDICAMENTOS	
Luísa de Castro Guterres	
Allan Rafael da Silva Lima	
Wender Antônio da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180828	
CAPÍTULO 29	399
VIBRATIONS ANALYSIS UNCOUPLED AND COUPLED FLUID-STRUCTURE BETWEEN SHELL AND ACOUSTIC CAVITY CYLINDRICAL FOR VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS	
Davidson de Oliveira França Júnior	
Lineu José Pedroso	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180829	
SOBRE O ORGANIZADOR	410
ÍNDICE REMISSIVO	411

CAPÍTULO 9

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA - ANÁLISE DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE E CARACTERÍSTICAS DE INJEÇÃO DE HARMÔNICOS DOS SISTEMAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA TENSÃO

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 25/06/2021

Nelson Clodoaldo de Jesus

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

João Roberto Cogo

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Luiz Marlus Duarte

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Jesus Daniel de Oliveira

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Luis Fernando Ribeiro Ferreira

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Éverson Júnior de Mendonça

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Leandro Martins Fernandes

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar uma avaliação da qualidade da energia elétrica em um sistema de geração de energia fotovoltaica. Serão apresentados os resultados obtidos nas campanhas de

medição no ponto de conexão em 138 kV, verificando o desempenho nas condições de pré e pós-operação. Resultados específicos das medições internas ao sistema de geração serão abordados, incluindo a subestação coletora em 138 e 34,5 kV e os inversores de frequência. Serão detalhados os comportamentos obtidos no monitoramento e a comparação dos resultados com os indicadores recomendados, bem como as principais características de desempenho e perfil harmônico do sistema elétrico.

PALAVRAS - CHAVE: Campanhas de Medição, Qualidade da Energia Elétrica, Geração Fotovoltaica, Harmônicos, Inter-Harmônicos.

MONITORING OF ENERGY QUALITY IN PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEMS - ANALYSIS OF VOLTAGE AND CURRENT MEASUREMENT CAMPAIGNS AND HARMONICS INJECTION CHARACTERISTICS OF LOW, MEDIUM AND HIGH VOLTAGE SYSTEMS

ABSTRACT: This work aims to present an evaluation of the quality of electrical energy in a photovoltaic energy generation system. The results obtained in the measurement campaigns at the connection point at 138 kV will be presented, verifying the performance in pre- and post-operation conditions. Specific results of measurements internal to the generation system will be addressed, including the collector substation at 138 and 34.5 kV and frequency inverters. The behaviors obtained in the monitoring and comparison of results with the recommended indicators will be detailed, as well as the main performance characteristics and

harmonic profile of the electrical system.

KEYWORDS: Measurement Campaigns, Electric Power Quality, Photovoltaic Generation, Harmonics, Inter-Harmonics.

1 | INTRODUÇÃO

A geração centralizada de energia fotovoltaica, composta por projetos de usinas de grande porte, assim como tantas outras aplicações da tecnologia solar fotovoltaica no Brasil, tem se consolidado cada vez mais como uma fonte renovável de geração de energia elétrica (QEE) com alto valor agregado à sociedade brasileira (8).

A conexão de sistemas de geração de energia renováveis se apresenta cada vez mais presente em sistemas elétricos de um modo geral, sendo necessário o atendimento aos requisitos técnicos e regulatórios. Neste sentido, estudos e medições de qualidade de energia se constituem importantes ferramentas relacionadas aos aspectos de dimensionamento e análise do desempenho operacional do sistema frente a sistemas intermitentes. Este trabalho descreve as considerações associadas ao monitoramento da qualidade de energia, incluindo o ponto de conexão com a subestação de fronteira e internamente, por meio de campanhas de medição das tensões e correntes, de modo a apresentar o real comportamento harmônico do sistema sem e com a operação do complexo fotovoltaico.

2 | CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

A avaliação dos indicadores em regime permanente foi realizada considerando um período de 7 (sete) dias consecutivos, adotando-se os limites estabelecidos pelo Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede e os requisitos apresentados nas Instruções para Realização de Estudos e Medições de QEE relacionados aos Acessos à Rede Básica ou nos Barramentos de Fronteira com a Rede Básica para Parques Eólicos, Solares, Consumidores Livres e Distribuidoras, do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), conforme (5) e (6).

Os aspectos considerados na avaliação dos resultados obtidos durante as medições em regime permanente e indicadores de QEE referem-se ao comportamento das tensões e correntes eficazes, harmônicos, desequilíbrios de tensão, flutuações de tensão e potências, em função da análise de cada monitoramento, conforme apresentado a seguir.

Os resultados destas medições foram utilizados para verificar o comportamento das grandezas elétricas e o desempenho do sistema por meio da análise comparativa dos resultados obtidos entre as medições e os valores limites recomendados (5), (3) (2). As correntes no lado de 138 [kV] do banco de autotransformadores TR, instalado na Subestação de conexão, também foram medidas em ambas as campanhas de medição, a

título de comparação.

A Figura 1 apresenta o diagrama unifilar simplificado indicando os pontos onde foram realizadas as medições de QEE, relacionadas à configuração adotada durante as campanhas de medições das correntes injetadas pelos inversores de frequências instalados no complexo de geração fotovoltaica.

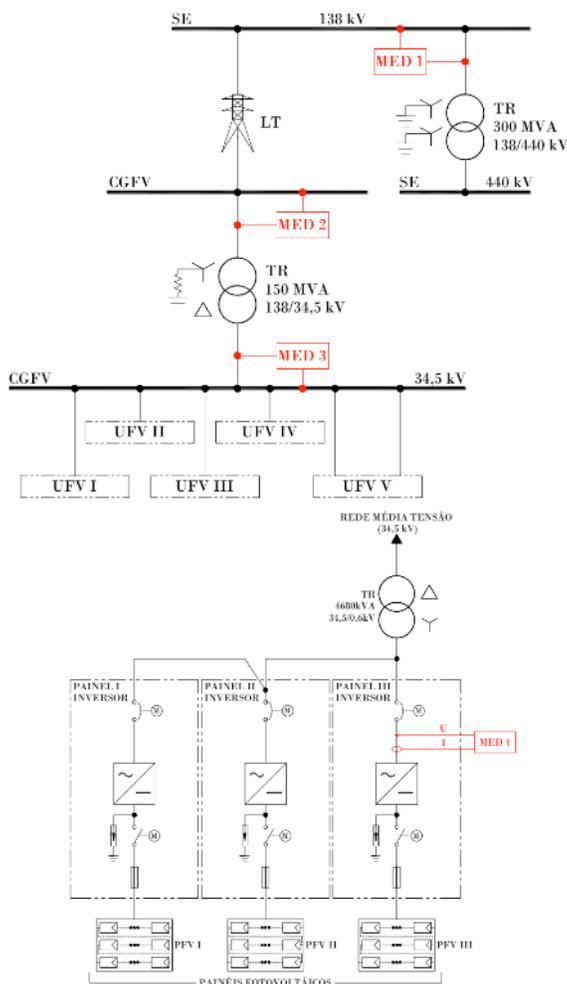


Figura 1 - Diagramas unifilares simplificados indicando os pontos de medição da QEE

O primeiro monitoramento foi realizado no ponto de acoplamento comum ao sistema interligado, utilizando os Transformadores de Potencial (TPs) e Transformadores de Corrente (TCs) associados ao “bay” de conexão de um banco de autotransformadores em 138 kV, com potência nominal de 300 MVA, no período compreendido entre as 14h de 08/12/2017 e 14h de 15/12/2017, portanto, antes da entrada em operação das usinas

fotovoltaicas.

As medições no ponto de acoplamento foram realizadas com o objetivo de verificar o comportamento dos indicadores em comparação aos valores recomendados (5). Após a instalação, comissionamento e entrada em operação de todas as 5 usinas do complexo fotovoltaico, realizou-se uma nova medição no intervalo entre as 08h de 23/04/2018 e 8h de 30/04/2018, adotando-se os mesmos ponto de conexão e medidor de qualidade da energia elétrica. Adicionalmente, serão apresentados os comportamentos das grandezas elétricas medidas internamente ao sistema de geração, incluindo a análise de harmônicos injetados pelos inversores de frequência utilizados na conversão de energia dos painéis fotovoltaicos. A Figura 2 ilustra o comportamento da potência demandada pela usina durante o mesmo período da segunda campanha de medição (pós-operação), observando-se, neste período de monitoramento, uma condição de geração de potência máxima com valor próximo a 130 MW.

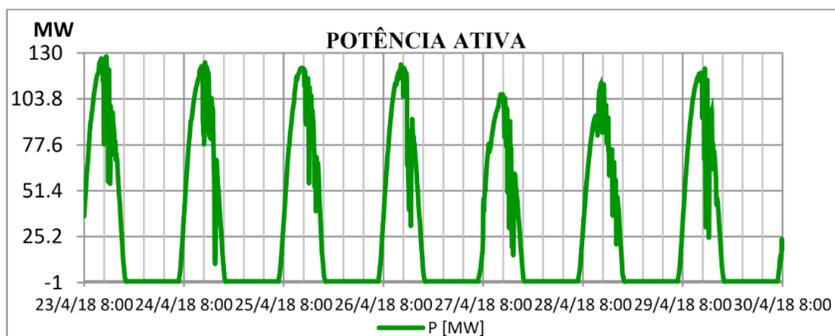


Figura 2 - Comportamento da potência ativa média gerada pela usina fotovoltaica

2.1 Medições na Subestação de Conexão com o Sistema Interligado (MED 1)

A Figura 3 mostra a comparação entre os indicadores relativos a Distorção Total de Tensão devido aos harmônicos, com ligeira redução observada na campanha de medição após a entrada em operação das 5 usinas fotovoltaicas. De qualquer modo, em ambos os casos os valores máximos dos indicadores permaneceram inferiores até mesmo ao limite individual de 1,5%, ou seja, apresentam-se totalmente adequados em relação à qualidade e conformidade das formas de onda das tensões do sistema. Na mesma Figura, apresentam-se os indicadores relacionados aos desequilíbrios das tensões, também com resultados adequados e valores bem inferiores aos limites recomendados.

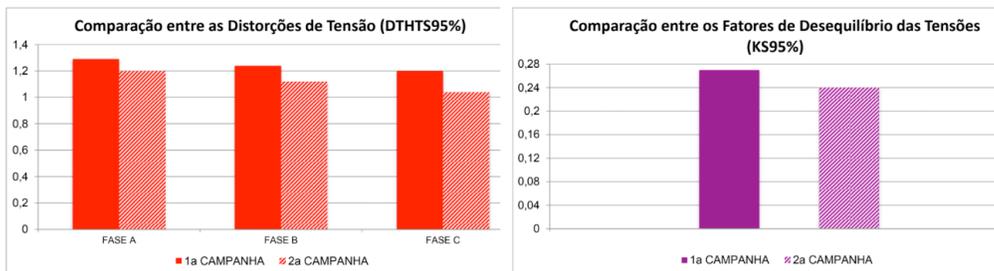


Figura 3 - Comparação entre os indicadores das distorções e desequilíbrios

Já em relação aos indicadores relacionados à flutuação de tensão quanto à cintilação luminosa (Flicker) de curta e longa duração (Pst e Plt), os valores permaneceram praticamente inalterados, conforme mostrado na Figura 4.

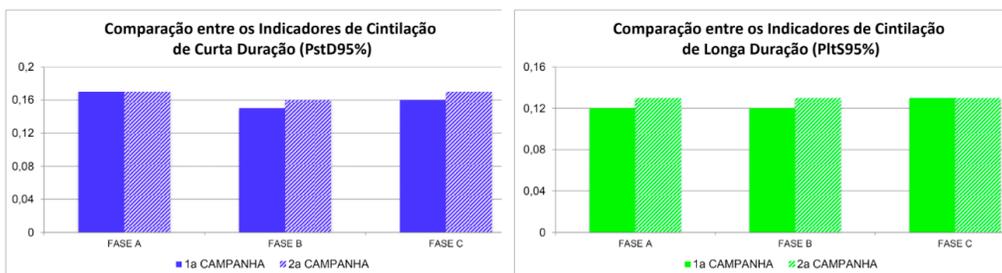


Figura 4 - Comparação entre os indicadores de flutuação de tensão

Como forma de demonstrar o comportamento harmônico das tensões do sistema, apresentam-se na Figura 5 as distorções das tensões durante as campanhas de medição, antes e após a entrada em operação do sistema de geração fotovoltaico, sendo que, em ambos os períodos das medições, as máximas distorções permaneceram inferiores a 1,4%, ou seja, inferiores aos limites recomendados (5).

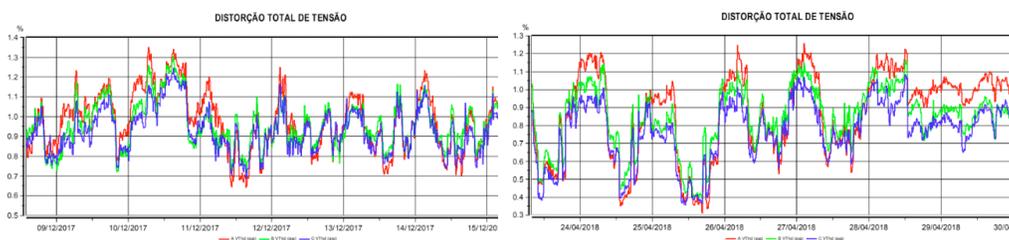


Figura 5 - Resultados das distorções das tensões nas campanhas de medição pré e pós-operação (AT)

A Figura 6 a seguir mostra a comparação por fase dos componentes harmônicos obtidos a partir dos percentis de 95% para cada ordem, na primeira (sem a operação da UFV) e na segunda campanha de medição de QEE (com a operação da UFV), mostrando novamente comportamentos similares em relação às distorções das tensões e componentes harmônicos individuais nos períodos analisados durante a realização das duas campanhas de medição de QEE. Os componentes preponderantes foram os de 3^a, 5^a e 7^a ordens, destacando-se ainda o componente de 48^a ordem, sendo registrado somente na segunda campanha de medição, ou seja, com a influência da conexão e operação do sistema de geração fotovoltaico.

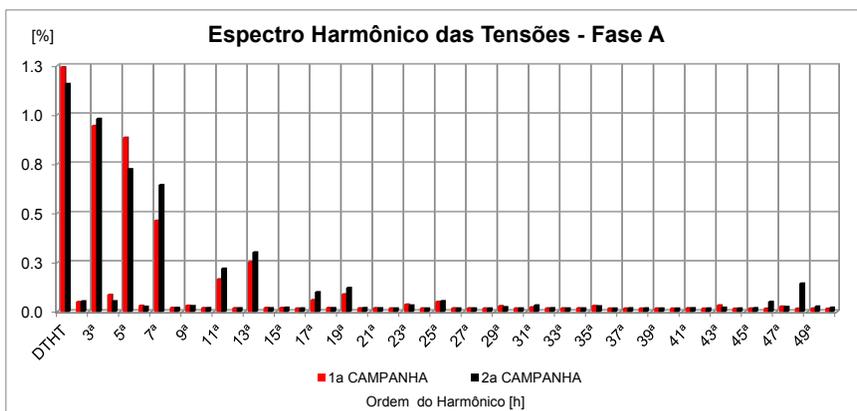


Figura 6 - Comparação entre os indicadores das distorções e componentes harmônicos das tensões da fase A

Outro parâmetro considerado nas medições foi as distorções das correntes medidas no mesmo ponto de análise, sendo inicialmente realizada uma comparação entre as distorções das correntes em pu da corrente máxima obtida em cada monitoramento (Total Demand Distortion - TDD) (3), (1), sendo que os valores máximos não apresentaram diferenças significativas, com valores máximos percentuais próximos a 4,5%. Por outro lado, a título de comparação, foram verificados os valores absolutos dos componentes harmônicos injetados (em A), sendo que na segunda campanha de medição ocorreu uma redução, conforme esclarece o gráfico da Figura 7.

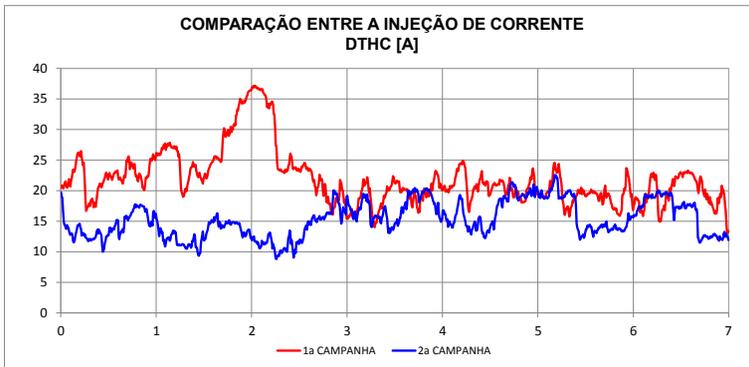


Figura 7 - Resultados das distorções das correntes nas campanhas de medição pré e pós-operação

2.2 Medições na Subestação Coletora da Usina Fotovoltaica

Este item apresenta uma análise das medições com base nos dados obtidos na subestação coletora, apresentando alguns resultados amostrais do comportamento das potências e distorções das tensões e correntes medidas na subestação interna do complexo formado pelas usinas fotovoltaicas. Deste modo, serão destacadas a seguir as potências, distorções e componentes harmônicos registrados nos lados de 138 kV e 34,5 kV.

2.2.1 Medições em 138 kV (MED 2)

As potências ativa e reativa obtidas durante a medição em 138 kV estão apresentadas na Figura 8, seguida conjuntamente com as respectivas distorções das tensões e correntes, comprovando novamente valores inferiores aos recomendados, cuja condição operativa não constava com a presença de quaisquer filtros de harmônicos.

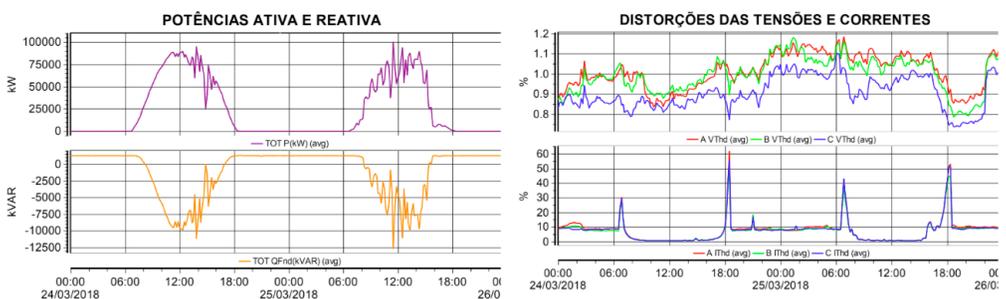


Figura 8 - Resultados das medições das potências e distorções na SE da Usina em 138 kV (AT)

As formas de ondas das tensões e correntes no lado de 138 kV durante os instantes coincidentes com os registros das maiores distorções das correntes (menor carregamento) e também para o instante de máximo carregamento estão apresentadas na Figura 9.

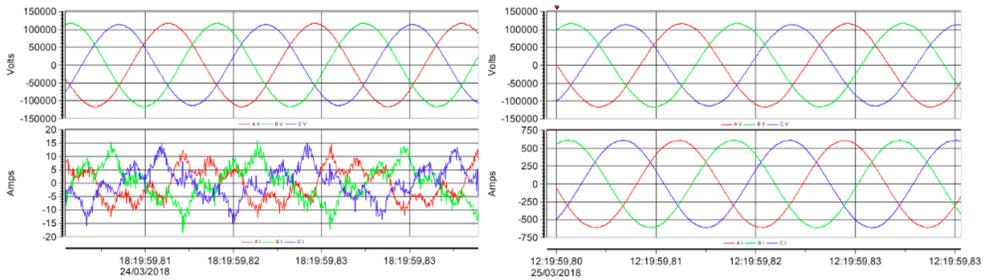


Figura 9 - Formas de onda das tensões e correntes em 138 kV nas condições de mínimo e máximo carregamento

As distorções e os espectros harmônicos associados às formas de onda apresentadas anteriormente estão destacados em seguida. Observa-se que enquanto as distorções das tensões se mantêm praticamente constantes, na medida em que as correntes de operação aumentam, as respectivas distorções são reduzidas significativamente, conforme pode se verificar com o auxílio da Figura 10.

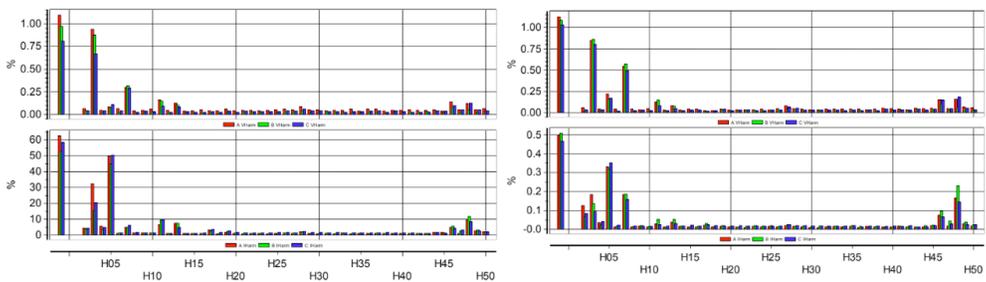


Figura 10 - Espectros harmônicos das tensões e correntes em 138 kV (mínimo e máximo carregamento)

2.2.2 Medições em 34,5 kV (MED 3)

De forma complementar para outra condição de operação do sistema, as potências e distorções devido aos harmônicos, registradas durante uma medição no lado de 34,5 kV da subestação coletora, estão ilustradas na Figura 11. A Figura 12 mostra as formas de ondas das tensões e correntes para dois instantes de operação, coincidindo com o ponto de maior distorção das correntes e, em seguida, equivalente à máxima geração de energia neste período do monitoramento.

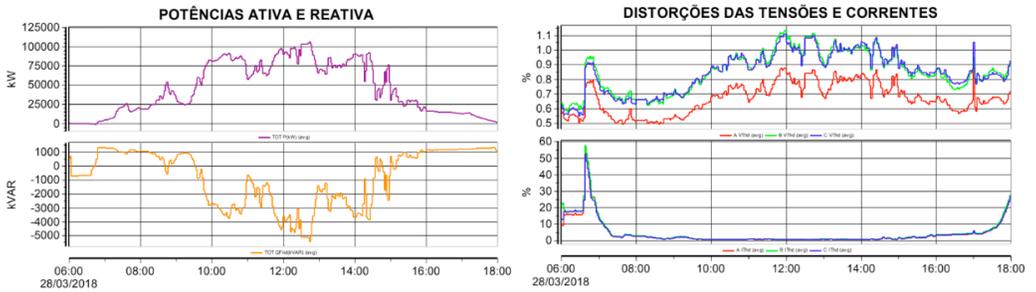


Figura 11 - Resultados das medições das potências e distorções na SE da Usina em 34,5 kV (MT)

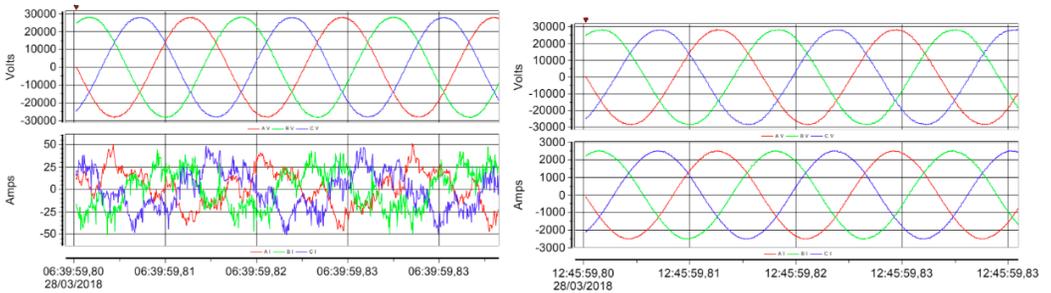


Figura 12 - Formas de onda das tensões e correntes em 34,5 kV nas condições de mínimo e máximo carregamento

Analisando-se os espectros harmônicos no lado de 34,5 kV verificam-se resultados com comportamentos similares aos obtidos no lado de 138 kV, sendo as distorções das tensões mantidas com valores inferiores a 1,5 %, além das variações das distorções das correntes em função da potência demandada. Os componentes harmônicos mais significativos registrados nas tensões foram os componentes de 48^a, 5^a, 46^a e 7^a ordens. Já para as respectivas correntes, os componentes mais importantes registrados foram os de 5^a, 3^a e 48^a ordens.

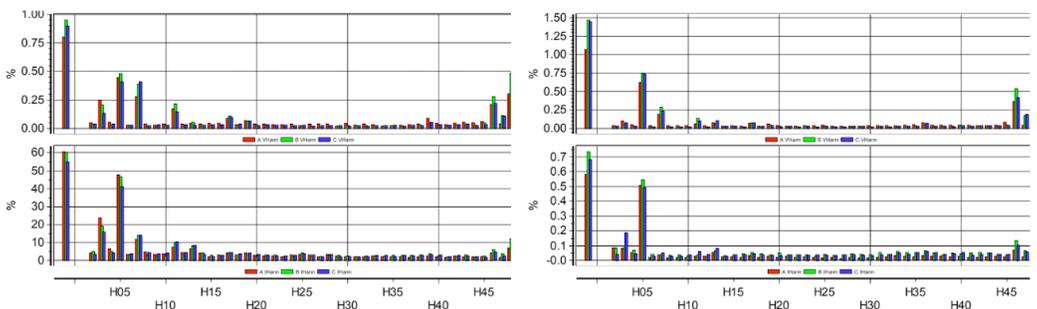


Figura 13 - Espectros harmônicos das tensões e correntes em 34,5 kV (mínimo e máximo carregamento)

2.2.3 Medições nos inversores de frequência das centrais de geração fotovoltaicas em 600 V (MED 4)

Foram realizadas diversas medições nos inversores de frequência instalados nas centrais de geração fotovoltaicas para as campanhas de medição das correntes, sendo realizadas amostras em pelo menos duas unidades em cada usina. Durante estas medições os inversores foram programados para atuarem com controle em modo de potência, variando-se cada patamar em 10%, por 10 minutos consecutivos desde a potência nula (P0) até a máxima de operação (Pmáx) (2). A Figura 14 apresenta os comportamentos registrados para as distorções das tensões e correntes no respectivo intervalo do monitoramento, bem como os resultados das potências ativas obtidas na saída de um dos inversores conectado em 600 V.

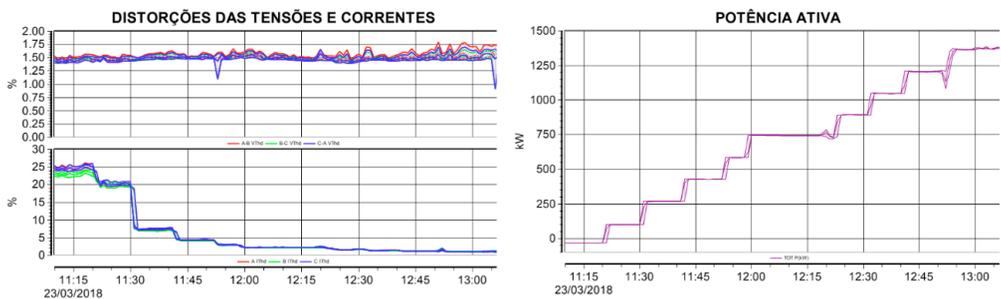


Figura 14 - Resultados das medições das distorções com controle da potência ativa do inversor (BT)

De modo a comparar o perfil harmônico das tensões e correntes para alguns patamares das potências dos inversores, a Figura 15 ilustra as formas de onda para referências de potência nula (P0) e 20% da nominal (P20).

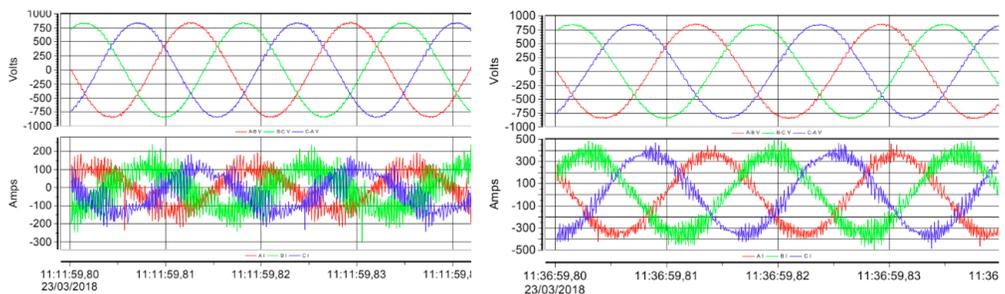


Figura 15 - Formas de onda das tensões e correntes com $P = 0\%$ e $P=20\%$ da nominal

A decomposição das formas de onda para uma potência nula de operação (11:11:59.80) indica a presença de componentes harmônicos mais significativos tanto para

as tensões quanto para as correntes, como sendo os harmônicos de 48a e 46a ordem, respectivamente.

Para as faixas de potências de referência (P0 e P20) os componentes harmônicos das tensões não sofrem alterações, mas para as respectivas correntes, ocorre uma redução significativa no valor da distorção total, mantendo-se os mesmos harmônicos individuais preponderantes, conforme ilustra a Figura 16.

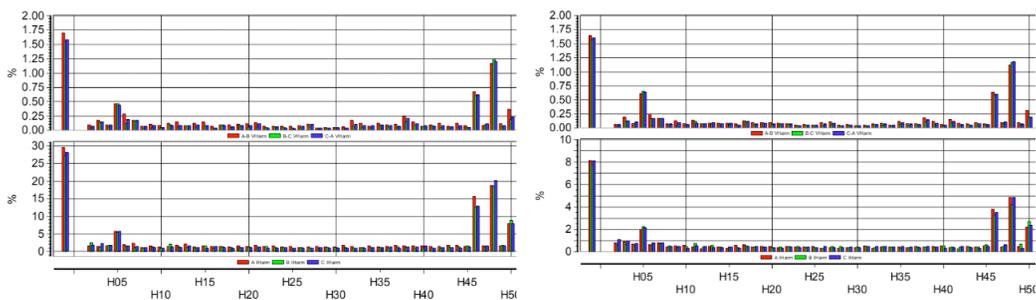


Figura 16 - Espectros harmônicos das tensões e correntes com P = 0% e P=20% da nominal

A Figura 17 apresenta as formas de onda das tensões e correntes obtidas para potências de referência de 50% (P50) e de 100% do valor nominal (P100). Com base na Figura 18, destaca-se, novamente, que os valores médios dos espectros harmônicos das tensões não sofrem alterações substanciais, mas, com o aumento do carregamento, as distorções das correntes são fortemente reduzidas, alterando inclusive os componentes característicos, pois para as condições de operação com as máximas correntes, o componente típico de 5ª ordem supera o componente de 48ª ordem, presente nas tensões do sistema, especialmente quando da operação com correntes equivalentes a carregamentos reduzidos.

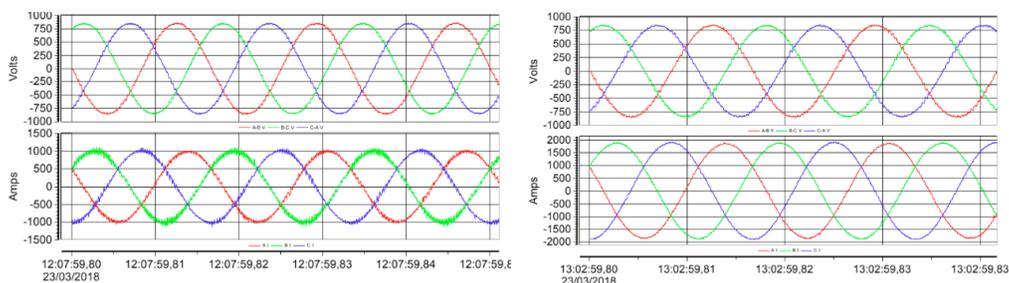


Figura 17 - Formas de onda das tensões e correntes com P = 50% da nominal (P50) e P=Máx (P100)

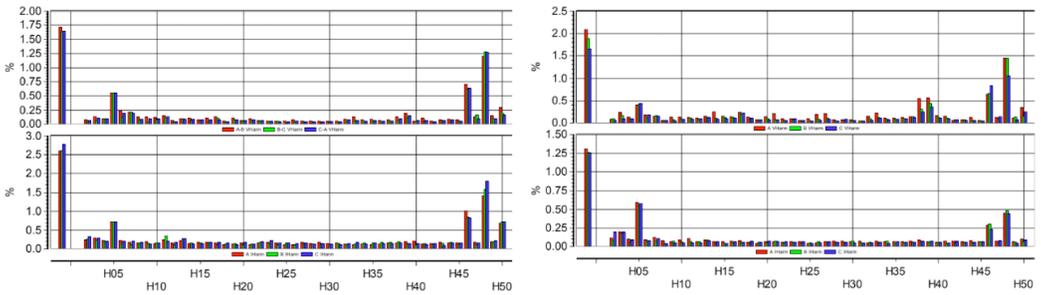


Figura 18 - Espectros harmônicos das tensões e correntes com P = 50% da nominal (P50) e P=Máx (P100)

De modo comparativo entre as amostras aquisitivas nas cinco usinas de geração fotovoltaica, a Figura 19 mostra os resultados das distorções das correntes para cada componente individual, considerando os valores equivalentes ao percentis de 95%, tomando-se com base as médias quadráticas das amostras obtidas nas campanhas de medição das correntes dos inversores, com valor em pu da base nominal, com resultados inferiores aos normalizados (3), (1).

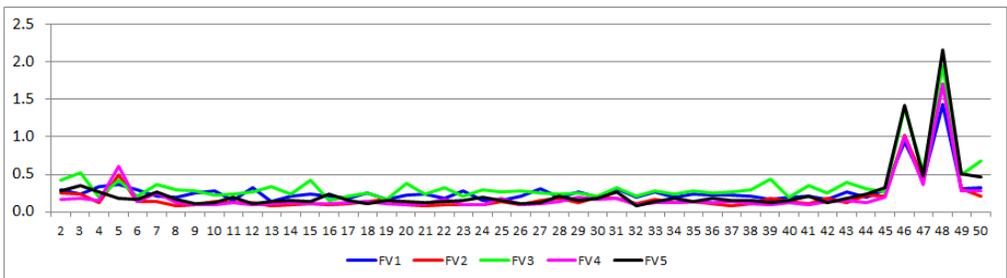


Figura 19 - Análise comparativa das distorções individuais das correntes entre cinco inversores de frequência

Finalmente, foi demonstrado que durante a realização do monitoramento da QEE, foram também observadas variações intermitentes nas formas de onda e distorções, com oscilações periódicas, incluindo a presença de inter-harmônicos de altas frequências, superiores a 50ª ordem, ou seja, além dos componentes preponderantes, próximos a 2,88 kHz, foram detectadas componentes com frequências próximas a 6 kHz, sendo então classificados como supra harmônicos em sua faixa inicial (7), (4). Portanto, estes componentes estão diretamente relacionados com as frequências de chaveamentos dos inversores, sendo que, em função do conjunto de diversos inversores, operando de forma independente e não sincronizada, tem-se uma modulação nas formas de onda das tensões equivalentes do sistema, em função das variações e da influência de componentes de altas frequências devido aos chaveamentos do tipo PWM. A Figura 20 mostra o espectro total

das correntes, obtido em determinado instante da medição e o registro de componentes inter-harmônicos de frequências elevadas.

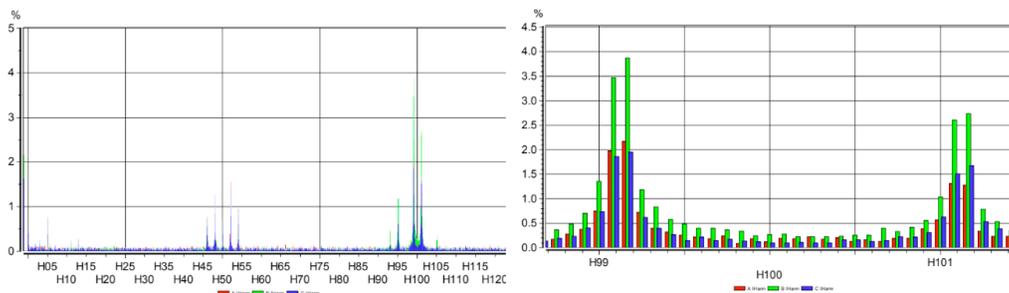


Figura 20 - Espectros harmônicos das correntes (*full spectra*) e detalhes dos inter-harmônicos de altas frequências

3 I CONCLUSÕES

Foram realizadas campanhas de medição das tensões no ponto de conexão com o sistema elétrico para as condições sem e com a operação do complexo de geração fotovoltaica, não sendo verificados impactos negativos ou quaisquer tipos de degradação da qualidade de energia. Portanto, o sistema se encontra plenamente apto à operação, estando em conformidade com os padrões e limites recomendados. Neste particular, durante as etapas das campanhas de medição, o sistema em análise não apresentava qualquer tipo de filtros de harmônicos no lado de média ou alta tensão. Resultados adequados também foram consolidados internamente, seja em termos das tensões em 138, 34,5 ou 0,6 kV, com tensões plenamente adequadas.

Para as campanhas de medição das correntes dos inversores, foram avaliados diversos equipamentos, resultando em dados representativos à análise do sistema e injeção de harmônicos. Além dos harmônicos característicos, ressalta-se a forte presença de componentes de altas frequências (48a e 46a ordens) nas tensões do sistema e, principalmente, para as correntes de operação sob condições equivalentes de baixos carregamentos.

Análises semelhantes e demais verificações detalhadas quanto aos possíveis impactos das distorções devem ser conduzidas e investigadas, visando à caracterização e comparação do perfil harmônico das tensões e correntes, bem como dos indicadores de QEE em sistemas fotovoltaicos, destacando-se a influência de componentes harmônicos de altas frequências, inter-harmônicos, além de variações cíclicas nas distorções e formas de onda, conforme observado durante o monitoramento deste sistema de geração com base na energia fotovoltaica.

REFERÊNCIAS

- (1) IEC 61000-3-6 - **Eletrmagnetic Compatibility (EMC) - Part 3: Limits, Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems.**
- (2) IEC 61400-21 - **Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines.**
- (3) IEEE **Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems** - IEEE STD 519-2014, IEEE Power and Energy Society - March 27, 2014.
- (4) Munoz, A.M.; Bollen, M.; Garrido, J.; **Solar PV Inverter Supraharmonics Reduction With Random PWM**; (<https://www.researchgate.net/publication/316612648>), 27/02/2018.
- (5) Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) - **Gerenciamento dos Indicadores de Qualidade da Energia Elétrica da Rede Básica - Submódulo 2.8** - Revisão 2016.12 - Data de Vigência 01/01/17.
- (6) Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) - **Instruções para Realização de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Acessos à Rede Básica ou nos Barramentos de Fronteira com a Rede Básica para Parques Eólicos, Solares, Consumidores Livres e Distribuidoras** - ONS NT 009/2016 - Revisão 02, de março de 2018.
- (7) Roger C. Dugan; Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty - **Electrical Power Systems Quality, Mcgraw-Hill**; Second edition; 2003.
- (8) Villalva, M.G.; Gazoli, J.R.; **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à Rede**, 1ª Edição, Editora Érica, São Paulo, 2012.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo 9, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 127, 172, 211, 320, 323, 324, 343, 350, 355, 370

Algoritmos de seleção 9, 342, 343, 347, 348, 353

ANSYS 9, 172, 173, 176, 177, 178, 180, 181, 204, 208, 266, 267, 272, 273, 399, 401

Aplicativo 9, 16, 65, 88, 89, 90, 92, 93, 273, 366, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 381, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395

Aprendizado 9, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 87, 230, 232, 233, 235, 240, 242, 244, 281, 290

Artificial Intelligence 16, 60, 354, 355

B

Blender 231, 236, 237

C

Classificação 9, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 384

Computational Vision 355, 356

Comunicação 9, 85, 94, 95, 194, 230, 231, 232, 242, 243, 281, 283, 286, 304, 306, 307, 367, 384, 395

Coronavírus 59, 60, 65

Covid-19 11, 59, 60, 62, 65

D

Desempenho 9, 12, 11, 12, 13, 14, 19, 23, 62, 67, 113, 114, 173, 186, 257, 267, 310, 342, 343, 345, 346, 350, 352, 353, 354, 367, 370, 373, 374, 389

Diagnóstico 15, 127, 313, 314, 316, 317, 318, 328, 329, 371

Diagramas 115, 283, 284, 371, 372

Dispositivo Móvel 10, 16, 366, 368, 370, 371

E

Educação 24, 85, 86, 87, 88, 93, 94, 230, 232, 233, 235, 240, 241, 242, 243, 244, 279, 292, 303, 313, 342, 351, 353, 354, 369, 410

Enem 16, 342, 343, 344, 345, 347, 348, 350, 351, 353, 354

Energia Elétrica 9, 113, 114, 116, 126, 245, 257, 314

Ensino 9, 12, 14, 85, 86, 87, 89, 90, 92, 93, 95, 230, 231, 232, 233, 235, 236, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 281, 292, 342, 343, 351, 352, 353, 354

Equações 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 33, 34, 37, 95, 399

Estruturação de dados 194

F

Finite Differences 38, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 163, 165, 169, 170, 171

Fracture Mechanics 332, 334, 341

G

Genetic Algorithm 128, 129, 130, 132, 133, 136, 137, 172, 180

Geração Fotovoltaica 12, 113, 115, 124, 125

I

Image Processing 128, 130, 136, 356, 364

Indústria 4.0 9, 15, 303, 304, 305, 306, 308, 309, 310, 312

Informação 9, 37, 85, 86, 92, 94, 188, 195, 196, 230, 231, 232, 233, 242, 243, 280, 281, 282, 283, 304, 308, 319, 351, 366, 367, 368, 371, 395, 396, 410

Inteligência Artificial 11, 59, 304, 307, 308, 355, 356

Interface 51, 144, 146, 150, 152, 232, 235, 236, 239, 283, 284, 286, 332, 333, 334, 341, 369, 372, 376, 384, 385, 386, 397

Interpolation 13, 1, 4, 101, 102, 103, 178, 210, 215, 216, 217, 218, 221, 227

L

Labyrinth Seals 13, 172, 174, 176, 179, 181, 182

M

Máscara 9, 11, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66

MASK R-CNN 9, 355, 356, 359, 360, 361, 362, 364, 365

Method 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 38, 44, 55, 57, 67, 68, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 82, 83, 107, 112, 128, 129, 130, 131, 136, 141, 145, 156, 157, 158, 163, 169, 170, 171, 174, 175, 177, 178, 180, 181, 198, 199, 208, 210, 211, 215, 216, 217, 226, 227, 228, 229, 258, 259, 260, 264, 313, 336, 357, 399, 401, 409

Metodologias Ativas 231, 232, 244

Mineração de dados 343, 344, 345, 354

M-Learning 9, 12, 85, 86, 87, 88, 89, 92, 93, 94

Modelagem 17, 18, 211, 236, 237, 271, 284, 312, 371, 372, 374, 375

Modelo distribuído 9, 11, 11, 14, 22

Modelo Numérico 259, 271

Monitoramento 9, 10, 12, 60, 66, 113, 114, 115, 116, 118, 120, 122, 124, 125, 246, 248, 253, 279, 280, 283, 285, 290, 313, 314, 328, 366, 367, 368, 395

Motor de Indução 15, 313, 314, 316, 318, 319, 321

P

Probabilidade 24, 31, 32, 34, 185, 332, 375

Protótipo 9, 234, 240, 241, 242, 283, 285, 286, 289, 366, 368, 371, 372, 374, 394

Pulsed compression reactor 172, 173, 175, 181, 182

R

Realidade Virtual 9, 14, 94, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 239, 240, 241, 242, 243, 244

Rectilinear grids 13, 210, 212, 218, 227

Redes Neurais Artificiais 60, 62, 355, 364

RFID 15, 279, 280, 282, 283, 285, 286, 287, 288, 290, 291

S

Setup 13, 138, 139, 140, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155

Sistema 9, 12, 14, 15, 11, 15, 18, 64, 88, 90, 91, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 123, 124, 125, 126, 172, 184, 185, 186, 194, 195, 196, 231, 233, 234, 245, 246, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 272, 279, 280, 283, 284, 285, 286, 287, 289, 290, 291, 292, 293, 297, 299, 300, 306, 307, 312, 356, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 374, 375, 376, 381, 382, 384, 385, 386

Sistema de controle 194, 290

Sistema Estrutural 272, 292, 293, 297, 299, 300

Smartphone 90, 91, 94, 376

Sociedade 5.0 9, 15, 303, 304, 305, 306, 308, 309, 310

Sociedade Criativa 303, 304, 306, 308, 309

Software 9, 28, 67, 74, 137, 138, 139, 156, 157, 163, 176, 177, 200, 209, 231, 236, 266, 267, 282, 284, 287, 291, 292, 293, 298, 321, 323, 324, 325, 328, 344, 347, 371, 372, 375, 376, 386, 396, 397, 398, 399, 401

T

Tecnologia 9, 24, 85, 86, 87, 91, 93, 94, 114, 230, 231, 232, 239, 240, 241, 242, 244, 267, 279, 280, 281, 282, 283, 290, 292, 301, 302, 304, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 313, 332, 342, 366, 367, 368, 396, 410

TICs na Educação 85, 93

Torpedo anchors 138, 139, 140, 148, 150, 152, 155

Transformação Digital 9, 15, 303, 304, 305, 307, 308, 309, 310, 311

U

Uncertainty Quantification 15, 332, 336, 341

Usabilidade 9, 234, 366, 368, 372, 374, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393,

394, 395, 396, 397, 398

V

Virtual 9, 12, 14, 85, 86, 87, 88, 89, 93, 94, 100, 101, 209, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 309, 402

Virtual Reality 9, 12, 85, 86, 87, 88, 231, 243, 244

W

Web 10, 35, 279, 280, 283, 286, 287, 290, 304, 344, 386, 396

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 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 DE COMPUTAÇÃO 2

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