



JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
RENNAN OTAVIO KANASHIRO  
(ORGANIZADORES)

# AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020



JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
RENNAN OTAVIO KANASHIRO  
(ORGANIZADORES)

# **AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3**

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 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, 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
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  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
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  
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. 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  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
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

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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  
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

### **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. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª 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  
Profª Drª 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  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian 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. Dr. 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. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A526 Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-389-7

DOI 10.22533/at.ed.897201709

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Kanashiro, Rennan Otavio.

CDD 620

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

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

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

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

Boa leitura!

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **PROPOSAL OF A CONCEPT FOR MODELING SMALL WIND TURBINES**

Heitor Andrade Porto

Arthur José Vieira Porto

Carlos Alberto Fortulan

**DOI 10.22533/at.ed.8972017091**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **PROPOSTA DE ALGORITMO PARA REGRAS DE CIRCULAÇÃO DE TRENS EM FERROVIA SINGELA COM PONTOS DE CRUZAMENTO EM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADA EM EVENTOS DISCRETOS OU AGENTES**

Rafael Buback Teixeira

Luiz Henrique Lima Faria

Afonso Celso Medina

Augusto Cesar Pereira

Frederico Augusto Coelho Vieira da Costa

Luiz Antonio Silveira Lopes

Ivan Ronei Herzog Mação Campos

Lucas Corteletti Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.8972017092**

### **CAPÍTULO 3..... 31**

#### **OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: FERRAMENTAS NA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Simone Aparecida Rocha

Thiago Gomes de Mattos

Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso

Eduardo Gonzaga da Silveira

**DOI 10.22533/at.ed.8972017093**

### **CAPÍTULO 4..... 47**

#### **ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE APROVEITAMENTO COM GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRÁULICO-FOTOVOLTAICO**

Marianna Aranda Lima

**DOI 10.22533/at.ed.8972017094**

### **CAPÍTULO 5..... 59**

#### **DIAMOND INTEGRATED COATING BY ELECTROPLATING PROCESS - AN OVERVIEW**

Regina Bertília Dantas de Medeiros

Janary Martins Figueiredo Filho

Meysam Mashhadikarimi

Uilame Umbelino Gomes

**DOI 10.22533/at.ed.8972017095**

### **CAPÍTULO 6..... 70**

#### **TECNOLOGIA ASSISTIVA: PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO PARA ESTÍMULO SENSORIAL**

## INTENSIVO

Mauro Fonseca Rodrigues  
Diane Johann  
Leonardo Rafael Willers  
Gracieli Cristina Scherer  
Kelly Gabriela Poersch

**DOI 10.22533/at.ed.8972017096**

## **CAPÍTULO 7..... 83**

### **OBTENÇÃO DE NANOFERRITA DE MANGANÊS PELO MÉTODO DE COMBUSTÃO EM SOLUÇÃO (SCS) PARA APLICAÇÃO EM BIONANOCOMPOSITO**

Ana Clara Ferreira de Sousa  
Débora Albuquerque Vieira  
Mireli Tomazi Fidelis  
Anderson Souza Silva  
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

**DOI 10.22533/at.ed.8972017097**

## **CAPÍTULO 8..... 94**

### **TRATAMENTO DE METAIS PESADOS PRESENTES EM RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS POR ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO EM MATRIZ DE CIMENTO**

Eder Saulo de Freitas Galindo  
André Luiz Fiquene de Brito

**DOI 10.22533/at.ed.8972017098**

## **CAPÍTULO 9..... 109**

### **ESTUDO DA COMPACTAÇÃO E SINTERIZAÇÃO DE PÓS CERÂMICOS DE ZnO (ÓXIDO DE ZINCO) OBTIDOS POR REAÇÃO DE COMBUSTÃO COM POTENCIAL PIEZOELÉTRICO**

Verônica Barbosa da Silva  
Débora Albuquerque Vieira  
José Bruno Silva Gomes  
Sara Paulina Noronha Lima  
Herbert Fonseca da Silva  
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

**DOI 10.22533/at.ed.8972017099**

## **CAPÍTULO 10..... 122**

### **INFLUÊNCIA DO USO DE AGENTE MODIFICADOR DE IMPACTO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO COPOLÍMERO RANDÔMICO DE POLIPROPILENO**

Jesus Rogério Damé Pereira  
Carmen Iara Walter Calcagno  
Ruth Marlene Campomanes Santana

**DOI 10.22533/at.ed.89720170910**

## **CAPÍTULO 11..... 134**

### **INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE SORBITOL E PROPILENOGLICOL NAS**

## CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DE FILMES DE QUITOSANA

Letícia Pereira Almeida

Francisco Fábio Oliveira de Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.89720170911**

## **CAPÍTULO 12..... 140**

### O QUE FAZER COM OS REEE DO CESC E CESC?

Fernando Wesley Pinheiro Brito

Railane dos Santos de Sousa

Ana Sávia Constâncio da Silva

Maria de Fátima Salgado

**DOI 10.22533/at.ed.89720170912**

## **CAPÍTULO 13..... 152**

### LEVANTAMENTO SOCIOAMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS PERTENCENTES AO COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SANTA TEREZA E SANTO ANTÔNIO

Walberisa Magalhães Gregório

Maria Cristina Bueno Coelho

Mauro Luiz Erpen

Maurilio Antônio Varavallo

Juliana Barilli

Asafe Santa Bárbara Gomes

Marcos Vinicius Giongo Alves

Marcos Vinícius Cardoso Silva

Yandro Santa Brigida Ataíde

**DOI 10.22533/at.ed.89720170913**

## **CAPÍTULO 14..... 160**

### REGRESSÃO MÚLTIPLA COMO INSTRUMENTO DE EXPLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VIOLÊNCIA NO BRASIL EM 2014

Afonso Fonseca Fernandes

Américo Matsuo Minori

Heber José de Moura

**DOI 10.22533/at.ed.89720170914**

## **SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 173**

## **ÍNDICE REMISSIVO..... 174**

## OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: FERRAMENTAS NA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

*Data de aceite: 01/09/2020*

*Data de submissão: 05/06/2020*

### **Simone Aparecida Rocha**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8583498795564823>

### **Thiago Gomes de Mattos**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9832733706852720>

### **Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/5174842920583671>

### **Eduardo Gonzaga da Silveira**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/2888501805559990>

**RESUMO:** Neste texto apresenta-se a aplicação de técnicas de otimização não linear Quasi-Newton, Elipsoidal e Genético Real Polarizado ao problema de localização de faltas em linhas de transmissão através da minimização de uma função mono-objetivo, definida em termos dos parâmetros da linha e do tipo de falta. A classificação da falta é realizada por uma rede neural artificial, a fim de determinar o tipo de curto-circuito. São utilizados dados simulados, gerados em um programa de transitórios eletromagnéticos e algumas faltas reais, ocorridas no sistema elétrico brasileiro. Como resultado, obtém-se a distância até o curto-circuito e a resistência de falta com erros médios de localização inferiores a 1% do comprimento da linha.

**PALAVRAS CHAVE.** Otimização Não Linear, Rede Neurais Artificiais, Localização de Faltas em Linhas de Transmissão.

### NONLINEAR OPTIMIZATION AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: TOOLS IN FAULT LOCATION IN TRANSMISSION LINES

**ABSTRACT:** This text presents the application of nonlinear optimization techniques Quasi-Newton, Ellipsoidal and Real Genetic Biased to the fault localization problem in transmission lines through minimization of a monoobjective function, defined as line parameters and fault type. The classification of fault is done by an Artificial Neural Network, in order to determinate the type of short circuit. Simulated data created in a electromagnetic transients program and some real faults, occurred in Brazilian Electrical System, are used. As result the distance until

short circuit and fault resistance with medium errors of locations lower than 1% of line length are get.

**KEYWORDS.** Nonlinear Optimization, Artificial Neural Network, Fault Localization in Transmission Lines.

## 1 | INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão aéreas constituem importantes componentes de um Sistema Elétrico de Potência, destinando-se ao transporte de energia elétrica desde a sua geração até as redes de distribuição. Na ocorrência de um curto-circuito (falha) em uma linha de transmissão, o relé de proteção realiza a detecção, identificação e sinalização do evento, comandando os disjuntores de forma a retirar de serviço a linha em falta. Após sua atuação, são feitas tentativas de religamento automático visando colocar a linha novamente em funcionamento. Duas situações podem ocorrer: há o sucesso e a linha é reintegrada ao sistema ou as tentativas falham e a linha necessita ser desligada, fazendo-se necessária a execução dos trabalhos de reparo, no menor tempo possível e com níveis de confiabilidade adequados.

O presente estudo tem como objetivo aplicar técnicas de otimização não linear mono-objetivo ao problema de localização de faltas em linhas de transmissão, a partir de dados de tensão e corrente dos dois terminais da rede. Especificamente, a partir das funções objetivo descritivas do processo elaboradas por Silveira et al. (2017), visando-se minimizar as fontes de erro ao se fornecer o local da falta em relação a um dos terminais da linha, foram implementados programas computacionais contendo rotinas e técnicas matemáticas que possibilitam a utilização dos métodos Quasi-Newton de direção de busca e de um método de controle de populações fundamentado em Algoritmos Genéticos (AGs). Os resultados alcançados são comparados com os obtidos pelo Algoritmo Elipsoidal utilizado por Silveira et al. (2017).

## 2 | O SISTEMA ELÉTRICO

Considere um sistema elétrico representado pela na 1, modelado por uma linha de transmissão e fontes equivalentes no terminal emissor (SE-1) e no terminal receptor (SE-2). A amostragem das tensões e das correntes trifásicas nos terminais é obtida por um registrador digital de perturbações (RDP) ou por um relé de proteção, junto aos transformadores de potencial (TP) e corrente (TC).

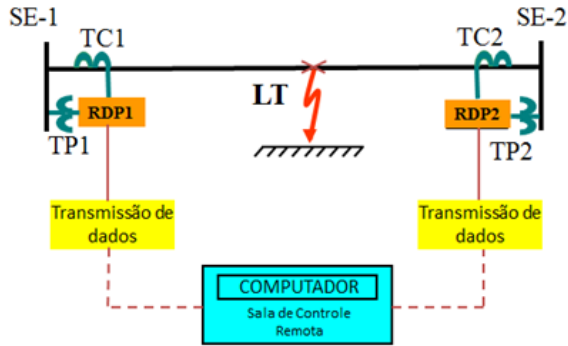


Figura 1 - Esquema de obtenção de dados.

Em cenários reais, ocorrido um evento de falta, os dados são transmitidos à sala de controle por um link de comunicação para que, remotamente, os engenheiros de proteção determinem o local do defeito e repassem às equipes de manutenção orientações para o restabelecimento da linha de transmissão.

Através do programa *Alternative Transients Program* (ATP) é possível realizar a simulação de casos de curto-circuito, conforme exemplificado na Figura 2. Os índices 1 e 2 são associados respectivamente às subestações 1 e 2 dos terminais da linha de transmissão, SE à fonte e  $Z_{eq}$  à impedância equivalente, 52 ao código representativo de um disjuntor, Line RL à impedância do terminal ao local do curto-circuito e  $R_{FALTA}$  à resistência de falta no local de curto-circuito.

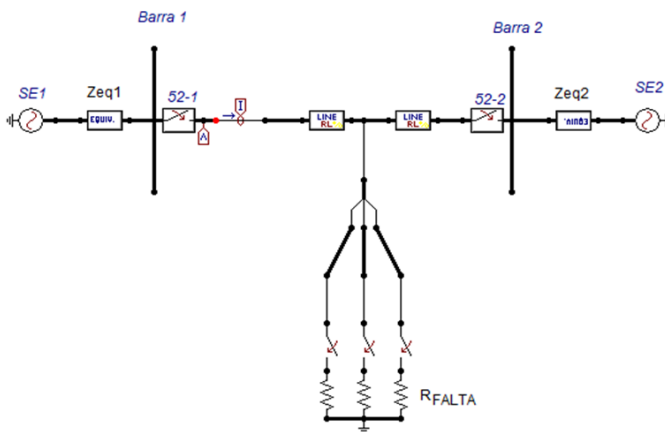


Figura 2 - Circuito do ATP para simulação de curto-circuito.



Os parâmetros de uma linha de transmissão real de 74,4 km e 345 kV e os dados das fontes equivalentes terminais, utilizada por Silveira et al. (2017), foram inseridos no ATP para a composição do banco de dados simulados e encontram-se listados na Tabela 1.

Elemento	Sequência Positiva		Sequência Zero	
	$r_1 (\Omega)$	$x_1 (\Omega)$	$r_0 (\Omega)$	$x_0 (\Omega)$
Linha	2,69	27,97	26,94	106,58
Fonte Local	4,0007	34,110	4,0692	33,603
Fonte Remota	6,3318	53,845	2,7307	39,363

Tabela 1 - Parâmetros da linha e fontes equivalentes para as faltas simuladas.

### 3 I ETAPAS DO PROCESSO

A ocorrência de uma falta em uma linha de transmissão representa um fenômeno de difícil previsão, caracterizado pelo instante em que ocorreu, a classificação do tipo de falta, a indicação do local onde ocorreu e a resistência de falta.

#### 3.1 O pré-processamento de dados

Após a definição do sistema elétrico a ser utilizado e a simulação de casos de curto-circuito, prossegue-se com a leitura dos dados de entrada das tensões e correntes dos terminais da linha. Em seguida, para a separação do banco de dados correspondente aos períodos pré-falta e de falta, ocorre a detecção do instante da falta, passando-se ao pré-condicionamento dos sinais de tensão e corrente, para retirada das frequências mais elevadas, através de uma filtragem digital passa-baixa. Após esta etapa é feita uma interpolação dos dados de entrada, possibilitando a adequação da frequência de amostragem ao valor desejado de 16 pontos por ciclo da frequência fundamental (60 Hz no caso do Brasil). Para estimação dos fasores associados à frequência fundamental, foi utilizado o método de mínimos quadrados, como descrito por Phadke e Thorp (1988).

#### 3.2 Detecção da falta

Na localização de faltas é importante que se detecte o instante no qual a falta tem início nas ondas de tensão e corrente, obtendo-se dois conjuntos de dados bem definidos dos períodos pré-falta e de falta. Diferentes técnicas podem ser aplicadas para a detecção. Autores como Saravanababu et al. (2013) e Costa (2014), utilizam a Transformada Wavelet e o Teorema de Parseval, conforme Figura 3.

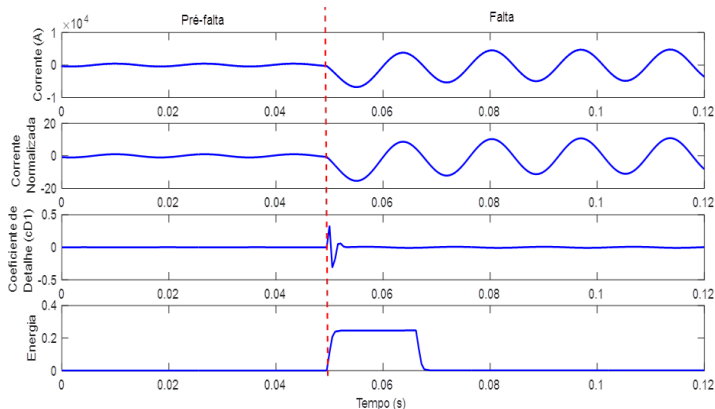


Figura 3 - Detecção do instante de falta.

## 4 | CLASSIFICAÇÃO DA FALTA

Esta etapa tem a função de determinar o tipo de curto-circuito ocorrido e as fases envolvidas. Na Figura 4 detalham-se os possíveis tipos de faltas investigadas, onde o local da falta (F), a distância (d) do terminal (S) e a resistência no local da falta ( $R_f$ ) são apresentadas.

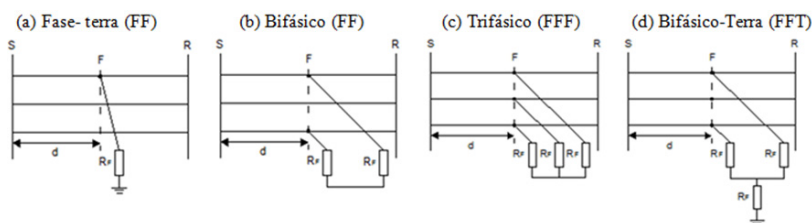


Figura 4 - Modelos de curto-circuito.

Para a classificação das faltas simuladas, aplica-se uma RNA treinada com valores das variáveis de um dos terminais da linha de transmissão. Dentre as diferentes topologias possíveis para a estruturação de uma RNA, optou-se pela rede *Multilayer Perceptron* (MLP) com aprendizado supervisionado *Backpropagation* e algoritmo de Treinamento *Levenberg-Marquardt*. As características da rede foram determinadas de forma experimental. A função de ativação escolhida foi a tangente-sigmoide. Conforme indicação da Figura 5, a RNA foi implementada com 2 camadas ocultas de 16 e 12 neurônios e a saída de 4 neurônios. As médias dos módulos dos fasores das tensões  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$  e das correntes  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$  são empregadas como banco de dados de entrada nas etapas de classificação e localização da falta.

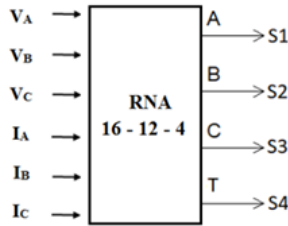


Figura 5 - Estrutura da RNA para classificação de faltas.

O processo de obtenção dos valores de tensão e corrente para uma das fases é exemplificado na Figura 6.

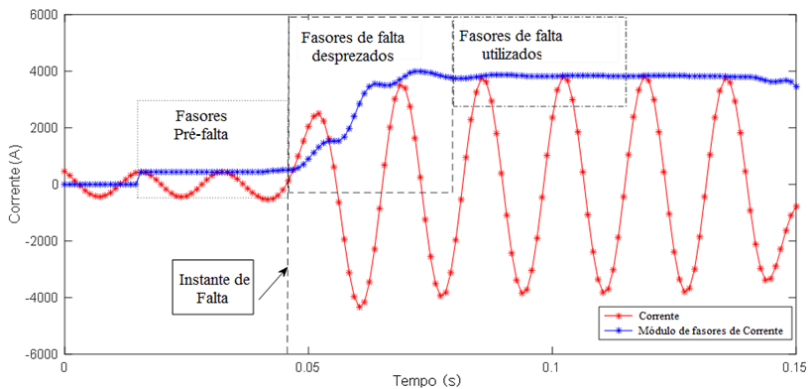


Figura 6 - Processo de seleção dos fasores.

Combinando recursos do ATP e do MatLab, foram gerados 504 cenários de falta para o treinamento e outros 110 casos para a validação da rede, conforme Tabela 2.

		Caracterização dos Casos	Número de Casos
<b>Treinamento</b>	Local de Falta (km)	FT - FFT - FF - FFF A cada 10% da linha	FT e FFT $2 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 8 = 432$
	Resistência de Falta ( $\Omega$ )	FT - FFT: 0 - 7 - 14 - 21 - 28 - 35 - 42 - 49 FF - FFT: 0 - 5	FF e FFF $4 \cdot 9 \cdot 2 = 72$

Validação	Local de Falta (km)	FT - FFT - FF - FFF 11 - 26 - 40 - 59 - 68	FT e FFT 2·3·5·3 = 90
	Resistência de Falta (Ω)	FT - FFT: 10 - 30 - 45 FF - FFF: 3	FF: 3·5·1 = 15 FFF: 1·5·1 = 5
<b>Número de cenários</b>			<b>Treinamento: 504</b> <b>Validação: 110</b>

Tabela 2 - Variáveis de composição dos cenários de falta.

Para a validação da etapa de classificação, convencionou-se que as saídas (S) observadas no intervalo de 0 a 0,5 indicaram uma situação normal e os valores entre 0,5 a 1,0 uma situação de falta. Na Tabela 3 são apresentadas, para alguns casos simulados e 2 casos reais, as respostas esperadas e as saídas obtidas na rede neural em função do tipo de falta na etapa de validação. Houve acerto de todos os eventos, o que demonstra a capacidade de generalização da metodologia desenvolvida.

Falta S1		Previsão				Saída			
		S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
<b>Simuladas</b>	AT	1	0	0	1	1,0000	0,0001	0,0000	1,0020
	AB	1	1	0	0	1,0000	1,0000	0,0000	0,0179
	ABT	1	1	0	1	1,0000	1,0000	0,0000	0,9990
	ABC	1	1	1	0	1,0000	1,0000	1,0000	-0,0001
<b>Reais</b>	AT	1	0	0	1	1,0000	0,0000	0,0000	1,0001
	BT	0	1	0	1	0,0003	0,9999	0,0000	0,9986

Tabela 3 - Saídas da rede neural em função do tipo de falta.

A localização de faltas e determinação da resistência de falta ocorrem após a etapa de classificação, podendo ser obtidas a partir da minimização de uma das funções objetivo apresentadas por Silveira et al. (2017).

## 5 | O PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

Seja  $x \in \mathbb{R}^n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , um vetor com  $n$  elementos reais. Um problema de otimização consiste em minimizar a função objetivo  $f: D_f \subset \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  sobre todos os vetores  $x$  pertencentes à região factível  $D_f$ . As diferentes técnicas de minimização procuram identificar uma solução particular  $x^* \in D_f \subset \mathbb{R}^n$  tal que para todo  $x \in D_f$ ,  $f(x^*) \leq f(x)$ . Neste contexto, o problema de localização de faltas relaciona-se com a solução do problema de otimização mono-objetivo da função  $f = f(x, R_i)$ , expresso por  $\min f(x, R_i)$ , sendo  $x$  o local da falta e  $R_i$  a resistência no local do curto-circuito. Neste trabalho são apresentados métodos

baseados na direção de busca, na exclusão de regiões e em dinâmicas populacionais.

### 5.3 Métodos de Direção de Busca

Os métodos de direção de busca procuram minimizar uma função objetivo não linear a partir dos valores da função e de suas derivadas de primeira e/ou segunda ordem. A cada iteração é necessário avaliar o valor do gradiente e/ou da hessiana da função no ponto. Nestes métodos, o cálculo de derivadas pode ser realizado numericamente por diferenças finitas e a forma de aproximação pode ser mantida fixa ou pode ser melhorada durante o processo, com a utilização de informações coletadas em iterações anteriores.

Os métodos Quasi-Newton geram, para problemas de otimização não-linear, uma aproximação da derivada segunda da função objetivo, nos casos sem restrições, e da derivada segunda do lagrangeano, nos casos com restrições. Podem ser utilizados quando a matriz hessiana da função objetivo não está disponível ou seu cálculo é proibitivo. Por estes métodos procura-se estimar recursivamente o cálculo da inversa da hessiana da função objetivo, a partir de informações de primeira ordem.

Neste trabalho, para aproximação da hessiana da função objetivo, utilizou-se entre os métodos descritos por Luenberger (2008), a combinação do método de correção do posto da matriz hessiana proposto por Davidson (CDFP) com o método de correção desenvolvido por Broyden - Fletcher - Goldfarb - Shanno (CBFGS), indicada pelas Equações 01 a 04. Nelas, o vetor representa a diferença entre o vetor gradiente da função objetivo na posição atual e na posição anterior; o vetor  $v$  representa a diferença entre a posição atual e a anterior, o coeficiente  $\gamma$  representa o peso de CDFP e de CBFGS e  $H$  representa a aproximação para a hessiana da função objetivo.

$$CDFP = \frac{v * v'}{v' * r} - \frac{H * r * r' * H}{r' * H * r} \quad (01)$$

$$CBFGS = \left( \frac{r' * v + r' * H * r}{r' * v} \right) * \left( \frac{v * v'}{v' * r} \right) - \frac{(v * r' * H + H * r * v')}{(r' * v)} \quad (02)$$

$$Cbroyden = \gamma * CDFP + (1 - \gamma) * CBFGS \quad (03)$$

$$H = H + Cbroyden \quad (04)$$

### 5.4 Método de Exclusão de Regiões

Esses métodos utilizam técnicas de exclusão de regiões como estratégia para a solução de problemas de otimização não linear. A ideia intuitiva do algoritmo do método Elipsoidal, como utilizado por Silveira et al. (2017), consiste em cercar a solução ótima com elipsoides. A partir de um elipsoide inicial, que contenha o mínimo a ser alcançado, são

feitos cortes, gerando sempre elipsoides menores, até que, de acordo com o critério de parada estabelecido, seja obtido o elipsoide de menor volume sobre o ponto ótimo, dado pelo centro deste elipsoide.

O algoritmo Elipsoidal é descrito por Bland (1981). As fórmulas recursivas indicadas nas Equações 05, 06 e 07 geram uma sequência de pontos  $x_k$ , que representam o centro de cada elipsoide gerado. A dimensão do ponto inicial é representada por  $n$ ,  $Q$  é refere-se à matriz da elipse que cerca, a cada iteração, o ponto ótimo a ser obtido e o vetor  $g_k$  indica é o subgradiente da restrição mais violada. No caso de  $x_k$  estar na região factível,  $g_k$  o subgradiente da função objetivo  $f(x_k)$  naquele ponto.

$$x_{k+1} = x_k - \beta_1 \frac{Q_k g_k}{(g_k^T Q_k g_k)^{1/2}} \quad (05)$$

$$Q_{k+1} = \beta_2 \left( Q_k - \frac{\beta_3 (Q_k g_k)(Q_k g_k)^T}{g_k^T Q_k g_k} \right) \quad (06)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n+1}, \quad \beta_2 = \frac{n^2}{n^2-1}, \quad \beta_3 = \frac{2}{n+1} \quad (07)$$

## 5.5 Método de Populações

São métodos computacionais inspirados na evolução natural das espécies. No formato básico consistem em criar uma população que é um conjunto de pontos (indivíduos) pertencentes ao espaço de parâmetros, uma função para avaliação da função objetivo nesses pontos e outra função que determina a transição entre uma população atual e a futura. A evolução da população ao longo das iterações conduz o conjunto de indivíduos para uma região próxima do ponto ótimo.

No presente estudo, optou-se pela utilização do AGRP conforme descrito por Takahashi (2003), onde cada parâmetro de otimização é representado por uma variável real e o conjunto de parâmetros é armazenado em um vetor que representa um indivíduo. Para cada coordenada do vetor de parâmetros existe uma faixa admissível, dentro da qual estarão localizados os respectivos componentes de todos os indivíduos. No início do algoritmo geram-se aleatoriamente um conjunto de indivíduos. Na sequência, para a geração da população sobrevivente são realizadas as operações de cruzamento, mutação, avaliação e seleção/elitização. A avaliação de cada indivíduo resulta num valor denominado fitness ou adequabilidade que, neste trabalho, é dado pelo menor valor da função objetivo. Quanto melhor o fitness de um indivíduo, maior a chance dele permanecer na população sobrevivente. O algoritmo é finalizado ao atingir a condição de parada estabelecida.

## 5.6 Métodos de Otimização Não Linear para a Localização da Falta e Determinação da Resistência de Falta

A localização de faltas, objetivo central deste estudo, ocorre após as etapas de detecção e de classificação e foi realizada utilizando-se três técnicas de otimização mono-objetivo. Com a indicação do tipo de falta ocorrido, seleciona-se uma das funções objetivo de Silveira et al. (2017) para a aplicação de um método de minimização. Como resultado obtém-se a distância até o ponto de ocorrência do curto-circuito e a resistência de falta. As funções objetivo  $f(x, R_f)$  propostas possuem como variáveis o local da falta e a resistência de falta, têm como parâmetros as correntes e tensões dos terminais da linha de transmissão e dependem dos diversos tipos de faltas existentes.

Como exemplo para a obtenção de uma das funções objetivo em uma linha de transmissão trifásica, considera-se uma falta AT, representada esquematicamente no diagrama da Figura 7. Os subscritos 0, 1 e 2 indicam, respectivamente, as grandezas de sequência zero, positiva e negativa;  $Z$  a impedância longitudinal unitária em  $\Omega/\text{km}$  da linha;  $x$  a distância do terminal S ao local de falta;  $\ell$  a extensão total da linha de transmissão;  $I_S$ ,  $I_R$ ,  $V_S$  e  $V_R$  as respectivas correntes e tensões nos terminais S e R.

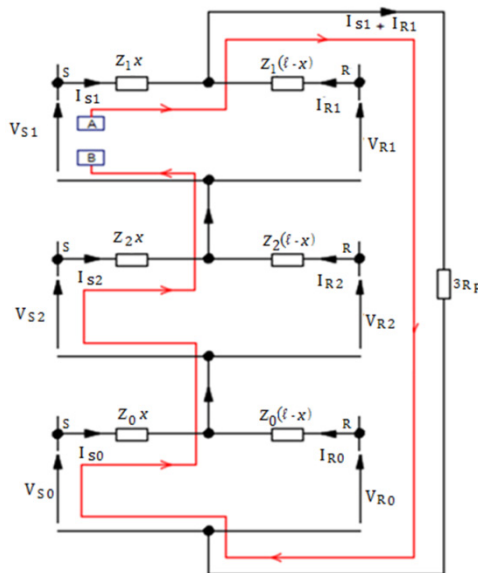


Figura 7 - Circuito para uma falta AT.

Aplicando-se a lei de Kirchhoff para as tensões do ponto A até o ponto B tem-se as Equações de 8 a 15.

$$V_{S0} + V_{S1} + V_{S2} - xZ_1(I_{S1} + I_{S2}) - xZ_0I_{S0} - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) = 0 \quad (08)$$

$$V_{S0} + V_{S1} + V_{S2} - xZ_1(I_{S0} + I_{S1} + I_{S2}) - xI_{S0}(Z_0 - Z_1) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) = 0 \quad (09)$$

$$V_{S0} + V_{S1} + V_{S2} = V_S \quad (10)$$

$$I_{S0} + I_{S1} + I_{S2} = I_S \quad (11)$$

$$V_S - xZ_1 \left( I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_{S0} \right) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) = 0 \quad (12)$$

Como  $V_s^M$  e  $V_s^C$  representam as tensões medida e calculada em S

$$V_s^M - V_s^C = 0 \quad (13)$$

$$V_s^C = xZ_1 \left( I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_{S0} \right) + 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) \quad (14)$$

Tomando-se o quadrado do módulo desta última equação:

$$F(x, R_F) = Re \left( \left( V_S - xZ_1 \left( I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_{S0} \right) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) \right) \right)^2 + Im \left( V_S - xZ_1 \left( I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_{S0} \right) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) \right)^2 \quad (15)$$

Na Tabela 4 são apresentadas as funções objetivo de duas variáveis  $f(x, R_F)$  segundo o tipo de falta, conforme apresentado por Silveira et al. (2017). Essas funções expressam a soma das quedas de tensão no circuito fechado em falta que, de acordo com a lei de Kirchhoff, se anulam para o local da falta e o valor da resistência de falta, ou seja,  $f(x, R_F) = 0$

Falta	f (x,RF)
AT, BT, CT	$ V_S - xZ_1 \left( I_S + \left( \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \right) I_{S0} \right) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) ^2$
AB, BC, CA	$ V_{S1} - V_{S2} - xZ_1(I_{S1} + I_{S2}) - 2R_F(I_{S1} + I_{R1}) ^2$
ABT, BCT, CAT	$ V_{S1} - V_{S0} - xZ_1I_{S1} + xZ_0I_{S0} + 3R_F(I_{S0} + I_{R0}) ^2$
ABC	$ V_{S1} - xZ_1I_{S1} - R_F(I_{S1} + I_{R1}) ^2$

Tabela 4 - Funções objetivo.



No método AGRP, aplicado ao problema de localização de faltas em linhas de transmissão, um indivíduo corresponde ao ponto  $(x, R_f)$ , representando respectivamente o local e a resistência de falta. A cada geração, os indivíduos fornecem um conjunto de soluções da função objetivo e, após passarem por cruzamento, mutação, avaliação e seleção em função da minimização de  $f(x, R_f)$  contribuem para a determinação de uma nova população mais adaptada ao problema de localização de falta.

## 6 | RESULTADOS OBTIDOS

Após a detecção e classificação da falta, os algoritmos Quasi-Newton, Elipsoidal e AGRP foram implementados e aplicados para a localização de faltas e identificação da resistência de falta de sinais simulados e reais da linha.

O gráfico da função objetivo de um evento de falta AT, ocorrida a 45 km, com resistência de falta de  $20 \Omega$  é apresentado na Figura 8.

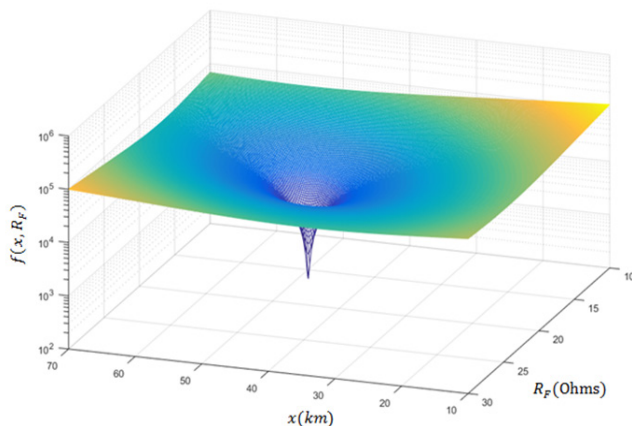


Figura 8 - Função objetivo: Falta AT (45 km -  $20 \Omega$ ).

### 6.1 Casos Simulados

Considerando-se faltas do tipo AT, geradas a cada 10% do comprimento total da linha de 74,4 km utilizada para a simulação, a execução dos algoritmos implementados forneceram os locais de falta especificados na Tabela 5.

Simulado	Quasi-Newton	Elipsoidal	AGRP	Simulado	Quasi-Newton	Elipsoidal	AGRP
7,44	7,4424	7,4442	7,4425	44,64	44,6523	44,6581	44,6523
14,88	14,8846	14,8876	14,8846	52,08	52,0841	52,0838	52,0840

22,32	22,3253	22,3260	22,3251	59,52	59,5054	59,5109	59,5054
29,76	29,7674	29,7683	29,7674	66,96	66,9365	66,9516	66,9365
37,20	37,2065	37,2094	37,2065				

Tabela 5 - Locais de falta na linha de transmissão.

Para uma falta ocorrida a 40% do terminal emissor da linha de transmissão (29,76 km), com resistência de falta de 20  $\Omega$ , os resultados gráficos das buscas encontram-se representados na Figura 9.

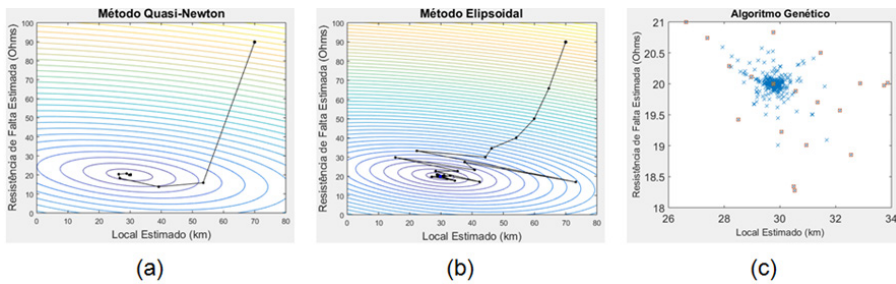


Figura 9 - Local e resistência de falta.

A aleatoriedade dos resultados é uma característica de métodos populacionais. Assim, para cada uma das nove simulações de curto-circuito do AGRP foram realizadas 30 execuções. O resultado gráfico referente à última geração da execução do método para as 9 simulações de curto-circuito são registrados na Figura 10 (a). As variações do local e da resistência de falta da simulação exemplificada na Figura 9 (c) são apresentadas na Figura 10 (b).

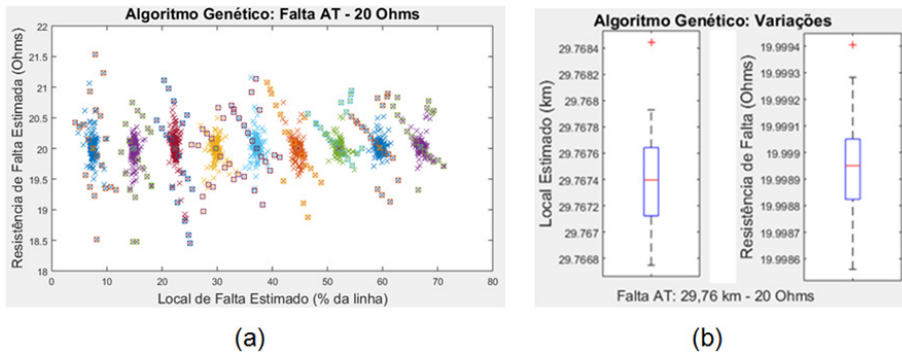


Figura 10 - AGRP: Dados simulados.

Na Figura 11 (a) e (b) apresentam-se respectivamente os resultados e erros obtidos pelos métodos de otimização para faltas AT simuladas pelo ATP a cada 10% do comprimento da linha de transmissão, com resistências de falta de 20  $\Omega$ .

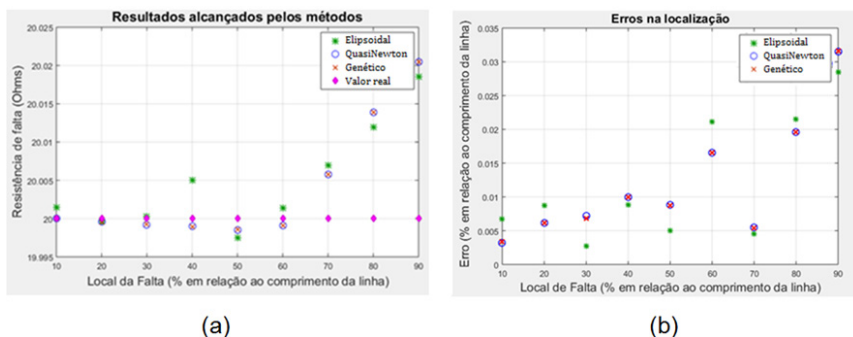


Figura 11 – Resultados e erros dos métodos: casos simulados para falta AT – 20  $\Omega$ .

## 6.2 Casos Reais

Os programas de localização foram aplicados a casos reais de curto-circuito do sistema elétrico brasileiro. O método clássico de localização de faltas em linhas de transmissão, de Johns e Jamali (1990), também foi implementado e utilizado como referência para a comparação dos resultados apresentados na Tabela 6.

Falta	AT ocorrida a 60 km				BT ocorrida a 54 km			
Causa	Descarga atmosférica				Descarga atmosférica			
Método	Johns	Quasi-Newton	Elipsoidal	AGRP	Johns	Quasi-Newton	Elipsoidal	AGRP
Local (km)	64,4	65,38	65,38	65,38	54,3	54,39	54,38	54,39
Erro (%)	5,9	7,22	7,22	7,22	0,40	0,52	0,51	0,52
Resistência ( $\Omega$ )	---	4,26	4,26	4,26	---	4,93	4,94	4,94

Tabela 6 - Estimativas para casos reais.

As variações apresentadas na obtenção da resistência e do local estimado para as faltas reais AT e BT são apresentadas na Figura 12.

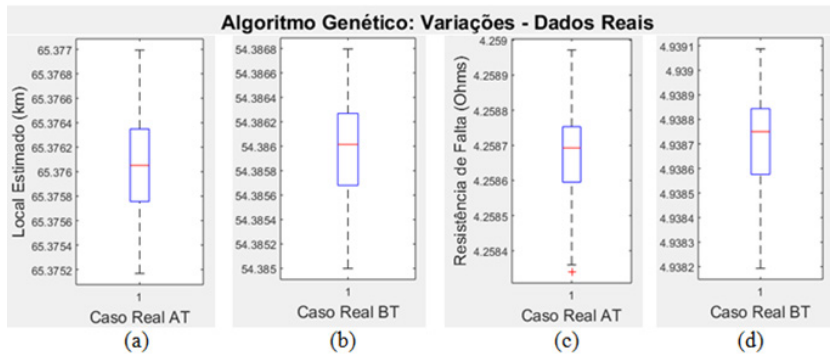


Figura 12 - Variação do local e da resistência de falta: Algoritmo AGRP.

## 71 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados métodos capazes de classificar e localizar faltas em linhas de transmissão, fornecendo também a resistência de falta em situações de curto-circuito. A classificação foi implementada através de RNAs, com a utilização de dados de um terminal da linha de transmissão. As entradas foram obtidas a partir dos módulos dos fasores de tensão e corrente do evento analisado. Observou-se que houve classificação correta para os casos reais testados, mesmo com a rede sendo treinada com arquivos de falta de uma linha de transmissão simulada no ATP.

Para a localização, utilizaram-se técnicas de otimização mono-objetivo aplicadas às funções objetivo, que são diferenciáveis, convexas e unimodais. Dos métodos apresentados, os de Quasi-Newton e Elipsoidal são determinísticos, sendo suficiente uma única execução para a obtenção dos resultados de busca e utilizam as derivadas da função objetivo e o método AGRP é estocástico, alcançando o resultado esperado com um número razoável de iterações. Para estes métodos procurou-se obter o ponto mínimo de uma função objetivo de duas variáveis.

Os métodos de Quasi-Newton, como todo método de direção de busca, realizou buscas locais, dependendo fortemente do cálculo da derivada e/ou da hessiana da função objetivo nos pontos obtidos a cada iteração. Estes métodos, quando aplicados em funções convexas, convergem para o mínimo local que, nestes casos, também representa o mínimo global, situação verificada para as funções objetivo utilizadas. Caso não fossem convexas, seria incorreto afirmar que o mínimo local também seria o mínimo global.

No método Elipsoidal, a exclusão de regiões ocorre a partir do subgradiente. Não há uma dependência direta das derivadas da função objetivo, contudo faz-se necessário que a mesma seja convexa ou quasi-convexa e unimodal, o que se verificou com as funções propostas. Estas condições, se não atendidas, conduziram o algoritmo a uma situação imprevisível.

Para a convergência, os métodos populacionais não utilizam informações que envolvam derivadas da função objetivo. Trabalham com codificação de parâmetros e indicam soluções ótimas a partir de um conjunto de soluções, necessitando de análises estatísticas para o estudo da convergência do método. São indicados para o tratamento de funções e restrições de difícil modelagem e classificação matemática, não garantindo a obtenção da otimalidade local. O AGRP, aplicado à função proposta, convergiu para o mínimo local esperado.

Em relação ao aspecto prático do estudo, a linha de transmissão foi simulada com dados de uma linha existente no sistema elétrico brasileiro e arquivos reais de curto-circuito da mesma linha foram aplicados aos algoritmos Quasi-Newton, Elipsoidal e o AGRP, considerando-se a função objetivo selecionada, de acordo com o tipo de falta. Em todas as situações simuladas de estudo os resultados alcançados pelos algoritmos mostraram-se rápidos e estáveis, com erros inferiores a 1,0% do comprimento da linha. Os mesmos, quando aplicados ao caso real testado, forneceram erros próximos dos apresentados pelo algoritmo clássico de Johns, o que sinaliza a possibilidade de utilização em situações práticas.

## REFERÊNCIAS

BLAND, R.G.; GOLDFARB, D.; TODD, M. J. (1981). **Feature Article - The Ellipsoid Method: A Survey**. *Operations Research*, [s.l.], v. 29, n. 6, p.1039 - 1091. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS).

Costa, F.B. (2014). Fault-induced transient detection based on real-time analysis of the wavelet coefficient energy. **IEEE Transactions On Power Delivery**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.140 - 153. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Johns, A.T.; Jamali, S. (1990). Accurate fault location technique for power transmission lines. **IEEE Proceedings C Generation, Transmission And Distribution**, [s.l.], v. 137, n. 6, p.395 - 402. Institution of Engineering and Technology (IET).

Luenberger, D.G., Ye, Y. (2008). **Linear and nonlinear programming**, New York, NY: *Springer*.

Phadke, A. G., Thorp, J. S. (1998). **Computer Relaying for Power System**, Research Studies Press, New York.

Saravanababu, K., Balakrishnan, P. e Sathiyasekar, K. Transmission line faults detection, classification, and location using Discrete Wavelet Transform. **International Conference On Power, Energy And Control (icpec)**, [s.l.], fev. 2013. IEEE.

Silveira, E. G., Paula, H. R., Rocha, S.A. e Pereira, C. S. (2017). Hybrid fault diagnosis algorithms for transmission lines. **Electrical Engineering**, [s.l.], v. 100, n. 3, p.1689 - 1699. Springer Nature.

Takahashi, R.H.C., Vasconcelos, J.A., Ramirez, J.A. e Krahenbuhl, L.(2003). A multiobjective methodology for evaluating genetic operators. **IEEE Transactions On Magnetics**, [s.l.], v. 39, n. 3, p.1321 - 1324. (IEEE).

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmo 1, 14, 15, 21, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 35, 38, 39, 45, 46, 70, 74, 76, 77

### B

Bacia Hidrográfica 52, 152, 153, 154, 156, 158, 159

Brasil 14, 34, 47, 49, 57, 58, 72, 81, 86, 97, 142, 150, 160, 161, 162, 171

### C

CESC 140, 141

CESCD 140, 141

Cimento 94, 95, 96, 97, 98, 103, 106, 108

Combustão 83, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 120

Compactação 96, 109, 110, 111, 113, 114, 117, 118, 119, 120

Concept 1, 3, 8, 48

### D

Desenvolvimento 15, 16, 17, 47, 48, 50, 53, 71, 80, 84, 95, 97, 109, 142, 143, 150, 152, 156, 159

Dimensionamento 47, 48, 50, 51, 53, 57

Dispositivo 70, 71, 77, 81, 92, 143, 146

### E

Estímulo Sensorial 70, 71, 82

### F

Ferramentas 31, 59, 67, 147

Ferrovia 14, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29

Filmes 134, 135, 136, 137, 138, 139

Fotovoltaico 47, 48, 50, 51, 53, 57

### G

Geração 21, 32, 39, 42, 43, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 95, 149, 150

### L

Linhas de Transmissão 31, 32, 42, 44, 45, 48

### M

Manganês 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91

Materiais 59, 72, 73, 79, 83, 85, 86, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 103, 106, 109, 110, 111,

120, 123, 124, 127, 130, 133, 135, 141, 143, 147, 149, 162, 173

Metais Pesados 94, 95, 96, 99, 100, 103, 106, 107, 108, 141, 142

Modeling 1, 3, 6, 8, 11, 29, 30

Municípios 152, 154, 156, 158

## **N**

Nanoferrita 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91

## **O**

Óxido de Zinco 109, 110, 111, 112, 114, 116, 118, 120

## **P**

Piezoelétricos 111, 150

Polipropileno 122, 123, 124, 128, 129, 130, 132, 133

Pontos de Cruzamento 14, 15, 16

Process 6, 10, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 71, 84, 108, 110

Projeto 1, 50, 51, 53, 54, 57, 70, 73, 78, 80, 81, 97, 140, 141, 142, 147, 148, 149, 151, 157, 158

Propilenoglicol 134, 135, 138

Propriedades 83, 84, 85, 91, 96, 109, 110, 111, 120, 122, 123, 124, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 150, 158

Protótipo 70, 71, 76, 78, 79, 81, 150

## **R**

Redes Neurais 31

REEE 140, 141, 142, 143, 150, 151

Regressão 98, 160, 161, 162, 163, 168, 170, 172

Resíduos Sólidos 94, 95, 97, 106, 142, 158

## **S**

Simulação 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 42, 43, 81

Sinterização 92, 109, 110, 111, 114, 117, 118, 119, 120

Socioambiental 152

Solidificação 94, 95, 97, 99, 103, 106, 108

Sorbitol 131, 133, 134, 135, 138

## **T**

Tecnologia Assistiva 70, 71, 72, 81

Tratamento 46, 70, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 92, 94, 95, 97, 109, 114, 163

Turbines 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12





## **V**

Violência 160, 161, 162, 171, 172

## **W**

Wind 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13



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

# **AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3**

  
**Ano 2020**

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

# **AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3**

  
**Ano 2020**