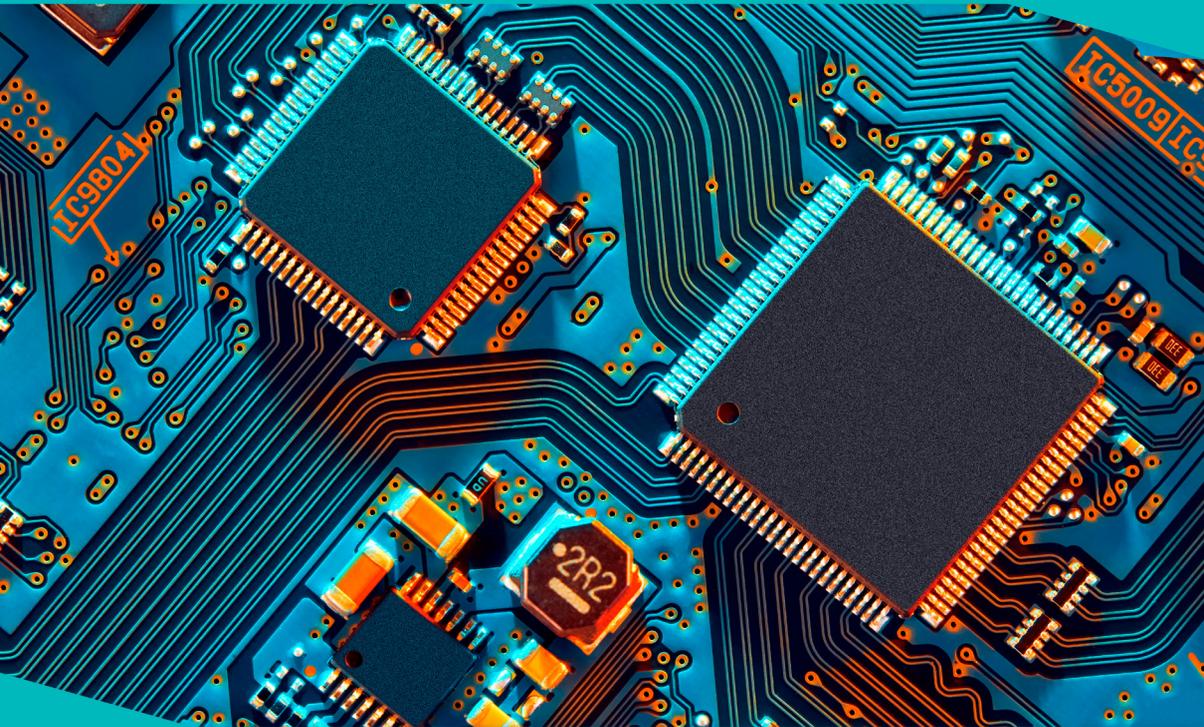


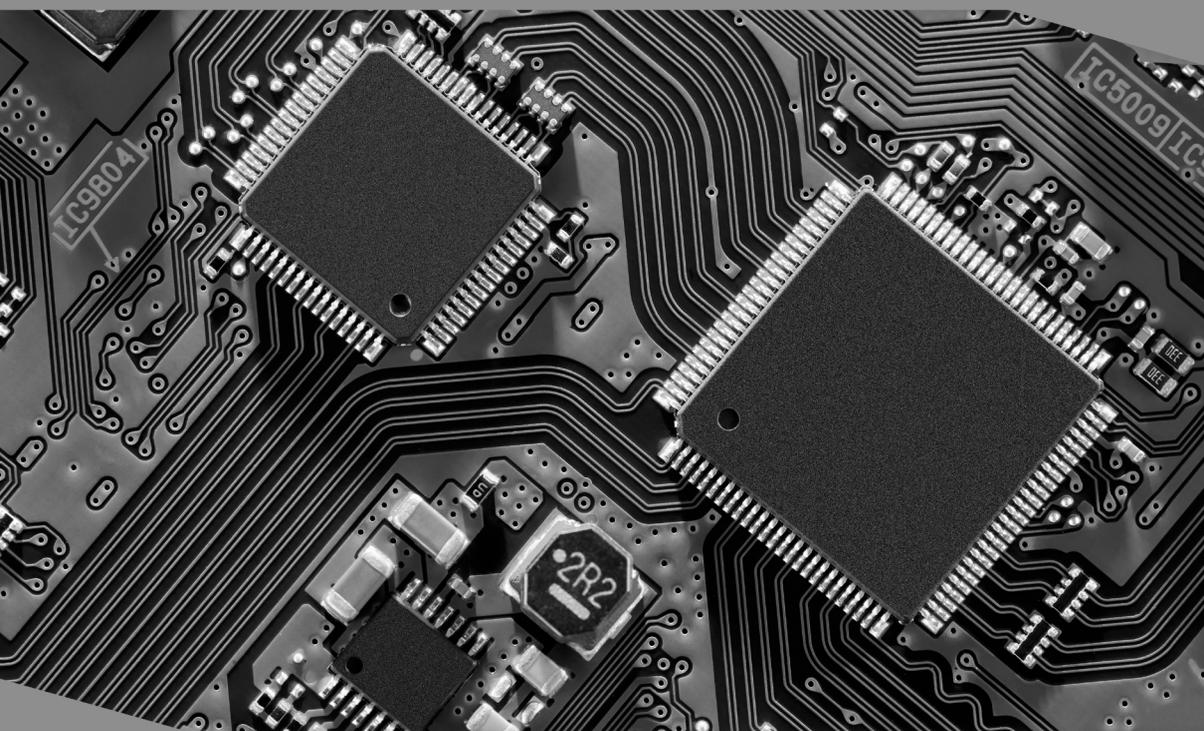
ENSINO, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NA ENGENHARIA ELETRÔNICA E COMPUTAÇÃO



Ernane Rosa Martins
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021

ENSINO, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NA ENGENHARIA ELETRÔNICA E COMPUTAÇÃO



Ernane Rosa Martins
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

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.



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

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
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto 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
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

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

Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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. 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. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª 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. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
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
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
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
Prof^ª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Livia 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Ensino, pesquisa e desenvolvimento na engenharia eletrônica e computação

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Kimberlly Elisandra Gonçalves Carneiro
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E59 Ensino, pesquisa e desenvolvimento na engenharia eletrônica e computação / 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 978-65-5706-787-1

DOI 10.22533/at.ed.871211902

1. Engenharia eletrônica. 2. Computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.38

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.

APRESENTAÇÃO

A presente obra intitulada “Ensino, Pesquisa e Desenvolvimento na Engenharia Eletrônica e Computação” apresenta 15 capítulos, que abordam assuntos importantes sobre o panorama atual da Engenharia Eletrônica e Computação no Brasil, tais como: Algoritmo Genético, Cidades Inteligentes, Análise de Softwares; Desenvolvimento de Aplicativos para Dispositivos Móveis; Desenvolvimento de Jogos; Software de Supervisão Remota; Escalonamento de Processos; Inspeção de código; Processamento Digital de Imagens; Shadow IT; Sistema preditivo de ocorrência de falta em redes elétricas; Recursos Computacionais e Pensamento Computacional.

Deste modo, esta obra reúne debates e análises acerca de questões relevantes, tais como: um modelo matemático de uma rede de distribuição de vapor de processo; uso da Metodologia Ciclo de Vida de Dados Conectados; uma análise entre softwares de modelagem de antenas; a utilização de um aplicativo de comercialização para agricultores; análise do framework JavaFX, no contexto do ensino e aprendizagem de programação orientada a objetos; uso de software de supervisão remota para autenticar e monitorar exames independentemente da localização geográfica do aluno; a execução e os resultados obtidos de um teste de usabilidade feito no simulador SSP-Edu; aplicar e coletar dados com o intuito de identificar qual técnica possui uma melhor eficácia; utilização de técnicas de Processamento Digital de Imagens para calcular automaticamente as medidas antropométricas por um software; Robótica Educacional, utilizando o Pensamento Computacional para desencadear o processo de aprendizagem da programação; protótipo do aplicativo (app) Ergon, o qual permite o acesso às informações para conscientização ergonômica de empresas e trabalhadores; um sistema de apoio à tomada de decisão baseado em um processo automático de detecção prematura de falhas, que identifica um comportamento incipiente e prevê a falha iminente, possibilitando assim a identificação e análise mais rápida de possíveis falhas na rede; um pequeno laboratório simulando uma rede para compartilhamento de dados e internet residencial utilizando a tecnologia Power Line Communications (PLC); Pensamento Computacional como estratégia de apoio ao aprendizado das habilidades de contagem, correlação e ordenação.

Nesse sentido, esta obra apresenta enorme potencial para contribuir com análises e discussões aprofundadas sobre assuntos relevantes, podendo servir de referência para novas pesquisas e estudos. Agradecemos em especial aos autores dos capítulos, e desejamos aos leitores, inúmeras e relevantes reflexões sobre as temáticas abordadas.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A MODEL OF PROCESS STEAM NETWORK IN A STEEL PLANT WITH IDENTIFICATION OF PARAMETERS BY A GENETIC ALGORITHM

Gabriel Nazareth Guedes Alcoforado
Valter Barbosa de Oliveira Junior
Gustavo Maia de Almeida
Leandro Colombi Resendo
Marco Antonio de Souza Leite Cuadros

DOI 10.22533/at.ed.8712119021

CAPÍTULO 2..... 18

AGREGANDO SMARTNESS A UMA CIDADE / REGIÃO USANDO LOD

Daniel Minoru Amaro Takabaiashi
Lucélia de Souza
Josiane Michalak Hauagge Dall’Agnol
Gisane Aparecida Michelon
Sandro Rautenberg
José Leonardo Machado Paes
Matheus Minski dos Santos
Milena Bastos Ribas

DOI 10.22533/at.ed.8712119022

CAPÍTULO 3..... 32

ANÁLISE DE SOFTWARES DE MODELAGEM DE ANTENAS PARA CURSOS TÉCNICOS E DE ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

Ramon Mayor Martins

DOI 10.22533/at.ed.8712119023

CAPÍTULO 4..... 39

CONCEPÇÃO DE UMA PLATAFORMA MÓVEL PARA COMERCIALIZAÇÃO DE PRODUTOS PARA REDE DE COOPERAÇÃO SOLIDÁRIA DE MATO GROSSO

Alessandra Maieski
Elmo Batista de Faria
Josiel Maimone de Figueiredo
Irapuan Noce
Oscar Zalla Sampaio Neto

DOI 10.22533/at.ed.8712119024

CAPÍTULO 5..... 49

DESENVOLVIMENTO DE JOGOS COMO ESTRATÉGIA PARA APRENDIZAGEM DE PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

Rafael Lucas da Costa
Carlos Eduardo Ribeiro
Daniela de Freitas Guilhermino Trindade
José Reinaldo Merlin

DOI 10.22533/at.ed.8712119025

CAPÍTULO 6.....	61
EL RETO DE AUTENTICAR Y VIGILAR EXÁMENES A DISTANCIA: SUPERVISIÓN REMOTA A TRAVÉS DE SOFTWARE	
Jessica Fernández Garza Martha Eugenia Alemán Flores	
DOI 10.22533/at.ed.8712119026	
CAPÍTULO 7.....	70
ESTIMANDO A USABILIDADE DE UM SIMULADOR DE APOIO AO ENSINO E APRENDIZAGEM DE POLÍTICAS DE ESCALONAMENTO DE PROCESSOS: UM RELATO DE TESTES DE USUÁRIO	
Leo Natan Paschoal João Paulo Biazotto Myke Moraes de Oliveira Ana Caroline Fernandes Spengler	
DOI 10.22533/at.ed.8712119027	
CAPÍTULO 8.....	88
INSPEÇÃO DE SOFTWARE BASEADA EM LEITURA DE CÓDIGO APLICADA A UM SOFTWARE DE GERENCIAMENTO ODONTOLÓGICO	
Osmar Roncasalia Junior Carlos Eduardo Ribeiro José Reinaldo Merlin Daniela de Freitas Guilhermino Trindade	
DOI 10.22533/at.ed.8712119028	
CAPÍTULO 9.....	100
LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE OBTENÇÃO DE MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	
Milena Augusta de Oliveira Botelho Mauro Miazaki	
DOI 10.22533/at.ed.8712119029	
CAPÍTULO 10.....	107
O PENSAMENTO COMPUTACIONAL COMO ESTRATÉGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS HABILIDADES BÁSICAS PARA O ENSINO DE ROBÓTICA	
Andressa Kotz Marilei de Fátima Kovatli Ederson Luiz Locatelli	
DOI 10.22533/at.ed.87121190210	
CAPÍTULO 11.....	117
PROTÓTIPO DO APLICATIVO ERGON PARA INFORMAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO ERGONÔMICA	
Adakrishna Sampaio Saraiva Bitencourte Márcia Maria Pereira Rendeiro	
DOI 10.22533/at.ed.87121190211	

CAPÍTULO 12.....	124
SHADOW IT COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL: UMA ABORDAGEM NO ENSINO SUPERIOR	
Wesley Barbosa Thereza	
Dárley Domingos de Almeida	
Paula Leticia Santos Lima	
Áurea Valéria Pereira da Silva	
Elton Ricelli Ferreira de Rezende	
André Flederico Pereira	
Uilliam Oliveira	
Fernando Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.87121190212	
CAPÍTULO 13.....	131
SISTEMA PREDITIVO PARA OCORRÊNCIA DE FALTAS BASEADO EM INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL	
Cristina Yurika Konatu Obata Adorni	
Jorge Moreira de Souza	
Marcos Vanine Portilho de Nader	
Giovanni Moura de Holanda	
DOI 10.22533/at.ed.87121190213	
CAPÍTULO 14.....	142
TRANSMISSÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA: UMA ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO EM RESIDÊNCIAS PARA COMPARTILHAMENTO DE INTERNET E OUTROS RECURSOS COMPUTACIONAIS	
Álvaro Gonçalves de Barros	
DOI 10.22533/at.ed.87121190214	
CAPÍTULO 15.....	154
UMA ABORDAGEM DO PENSAMENTO COMPUTACIONAL COMO APOIO AO APRENDIZADO DAS HABILIDADES DE CONTAGEM, CORRELAÇÃO E ORDENAÇÃO EM TEMPOS DE PANDEMIA	
Julio Cezar Romero	
DOI 10.22533/at.ed.87121190215	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	166
ÍNDICE REMISSIVO.....	167

CAPÍTULO 13

SISTEMA PREDITIVO PARA OCORRÊNCIA DE FALTAS BASEADO EM INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 10/12/2020

Cristina Yurika Konatu Obata Adorni

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas
Campinas - SP
<http://lattes.cnpq.br/9575448714095417>

Jorge Moreira de Souza

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas
Campinas - SP
<http://lattes.cnpq.br/2012600504138316>

Marcos Vanine Portilho de Nader

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas
Campinas - SP
<http://lattes.cnpq.br/7888547143130373>

Giovanni Moura de Holanda

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas
Campinas - SP
<http://lattes.cnpq.br/5163843859981532>

RESUMO: Neste capítulo é proposto um sistema preditivo de ocorrência de falta em redes elétricas que, através de diferentes técnicas matemáticas: i) processa as informações contidas nas oscilografias derivando indicadores de desempenho que auxiliam a gestão preditiva de faltas, e ii) utiliza a técnica de Análise dos Componentes Principais (*Principal Components Analysis* - PCA) para identificar aqueles de maior influência e suprimir aqueles altamente correlacionados. É um sistema de apoio à tomada de decisão baseado em um processo automático

de detecção prematura de falhas, que identifica um comportamento incipiente e prevê a falha iminente, possibilitando assim a identificação e análise mais rápida de possíveis falhas na rede.

PALAVRAS-CHAVE: Análise preditiva, falhas incipientes, inteligência computacional, oscilografia, Análise de Componentes Principais.

PREDITICTIVE SYSTEM FOR FAULT OCCURRENCE BASED ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE

ABSTRACT: In this chapter, a predictive system of fault occurrence in electrical grids is proposed, which, through different mathematical techniques: i) processes the information contained in the oscillographs, deriving performance indicators that support predictive management of faults, and ii) uses the Principal Components Analysis (PCA) technique to identify those with the greatest influence and suppress those highly correlated. It is a decision support system based on an automatic process of premature failure detection, which identifies incipient behavior and predicts imminent failures, thus enabling the faster identification and analysis of possible network failures.

KEYWORDS: Predictive analysis, incipient faults, computational intelligence, oscillography, Principal Components Analysis.

1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico e o uso massivo de dispositivos inteligentes nas redes elétricas atuais têm aperfeiçoado o

monitoramento remoto baseado em recursos computacionais e operação mais automatizada (HONG & LIU, 2019). Observa-se nessas redes uma rápida expansão dos ativos de monitoração, especificamente em termos sensores, tecnologias de comunicação e sistemas de supervisão e controle, como SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), levando a uma melhoria significativa na gestão da operação das redes de distribuição.

As subestações que atualmente compõem as redes de distribuição de energia elétrica, por exemplo, são compostas por inúmeros IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) que permitem extrair informações (HOR & CROSSLEY, 2005) relevantes sobre as condições de operação a que são submetidas.

Desse modo é possível gerar diversos indicadores de desempenho que, em conjunto, permitem supervisionar a operação da rede em tempo real no sentido de uma gestão preditiva em contraponto com a reativa utilizada tradicionalmente. O advento desses recursos tem viabilizado não apenas uma quantidade de dados inimaginada em momentos anteriores, mas complementar limitações dos processos de tomada de decisão baseados fundamentalmente na análise humana do desempenho dos ativos (FEREIDUNIAN et al., 2008), levando a processos integrados de interação humano-automação. Um dos aspectos de operação favorecidos com essa evolução tecnológica e analítica é o de observar e identificar a degradação dos elementos da rede e atuar sobre a possibilidade de falha decorrentes dessas condições – ver, por exemplo, (ADORNI et al., 2019).

As falhas causadas por mau contato, deterioração da isolação, entre outros fatores, são chamadas de falhas incipientes (MOUSAVI & BUTLER-PURRY, 2010) que ocorrem de forma intermitente, podendo potencialmente levar a uma interrupção no fornecimento de energia elétrica. Em geral, as tecnologias de controle e proteção empregadas em sistemas de transmissão e distribuição são incapazes de detectar e identificar essas falhas prematuras. A detecção dessas falhas numa fase precoce ajuda a evitar interrupções inesperadas, que afetam diretamente a qualidade e a confiabilidade do fornecimento de energia com subsequente perda de receitas.

A análise das formas de onda contidas nas oscilografias¹ provenientes dos ativos de uma concessionária de energia elétrica, como os relés de proteção, possibilita quantificar diversos indicadores de desempenho que podem sinalizar situações de anormalidade. Tais situações podem então ser analisadas, permitindo antecipar possíveis cenários que levariam à interrupção no fornecimento de energia.

Neste capítulo, apresenta-se um sistema para a detecção de falhas incipientes: i) identificando e quantificando diversos indicadores derivados dos registros de oscilografia por meio de diferentes técnicas matemáticas (Transformada Wavelet, componentes simétricas, Teste de Laplace, etc.); ii) monitorando em tempo real esses indicadores, de modo a permitir a configuração de limites que, se ultrapassados, geram alertas para a operação;

¹ Informações sobre o uso de oscilografia para registros de perturbações na rede elétrica podem ser encontradas, por exemplo em (PEREIRA et al., 2009).

e iii) reduzindo o número de indicadores usando PCA (*Principal Components Analysis*) nos casos em que, para configurar um cenário de anormalidade, é necessário a análise de diversos indicadores simultaneamente para se achar um padrão de comportamento anterior à falta.

Os itens i e ii foram desenvolvidos no projeto P&D ANEEL para a Enel (ADORNI et al., 2017). A aplicação da PCA é uma contribuição posterior ao projeto de P&D que usa os indicadores de desempenho implementados (ADORNI et al., 2019).

A base do sistema é apresentada nas Seções 2 e 3. Nas Seções 4 e 5 trata-se de um estudo de caso (cabo Média Tensão, MT, partido) usando o sistema e a técnica PCA respectivamente.

2 | FUNDAMENTAÇÃO

A análise das formas de onda da tensão e da corrente registradas em oscilógrafos é uma das ferramentas mais importantes para a discriminação de eventos em redes elétricas (LAZZARETTI et al., 2013). Esse registro é importante em uma rede de distribuição inteligente, pois um processo automático de detecção pode possibilitar a identificação e análise mais rápida de falhas na rede, apoiando o processo de tomada de decisão por engenheiros de operação.

Por meio da análise multi-resolução, pode-se decompor uma forma de onda em diferentes níveis de resolução, via combinação de funções escalas e funções *wavelets* com seus respectivos coeficientes, de tal modo que quaisquer alterações na forma de onda podem ser detectadas e localizadas no tempo, devido às mudanças nas magnitudes desses coeficientes, proporcionando informações práticas sobre falhas incipientes, pré-falhas e outras operações irregulares.

Uma revisão abrangente sobre as aplicações de técnicas de processamento de sinais digitais, técnicas de inteligência artificial e técnicas de otimização utilizadas na classificação dos distúrbios associados à qualidade de energia é apresentada em (KHOKHAR et al., 2013). É salientado que na literatura, encontram-se diferentes técnicas de processamento de sinais digitais para fins de extração de características que levem às classificações acima citadas: Transformada de Fourier Discreta (TFD); Transformada de Fourier Rápida (TFR); Transformada Wavelet (TW); Transformada Stockwell (TS); Transformada Gabor (TG); Função de Distribuição Wigner (FDW) e híbridos dessas técnicas.

Assim, é possível derivar diversos indicadores quantitativos aplicando essas técnicas de processamento de sinais nos registros de oscilografia. A partir desses registros, são realizados vários cálculos com a aplicação de técnicas, tais como TW e TFR, para definir e implementar os indicadores de desempenho que são a base para o mecanismo de identificação de anomalias do sistema proposto.

No caso da análise dos sistemas trifásicos da rede elétrica, um método que pode ser

aplicado é o desenvolvido por Fortescue (1918), que se trata do método de coordenadas simétricas aplicado à solução de redes polifásicas. De acordo com esse método, um sistema trifásico desequilibrado pode ser decomposto em três sistemas equilibrados, de sequência positiva (+), negativa (-) e zero (0). No exemplo apresentado mais adiante, utilizamos a sequência zero e a negativa.

No sistema de sequência zero, são usados três fasores de mesmo módulo e com ângulos de fase iguais, de forma que a defasagem entre fasores é zero. No sistema de sequência negativa, os três fasores equilibrados tem módulos iguais e são defasados de 120°, de modo a apresentar sequência de fase inversa ao sistema original.

3 I INDICADORES DE DESEMPENHO

A abordagem proposta é a de monitoração baseada em indicadores que são extraídos a partir dos registros de oscilografia. O sistema proposto calcula todos os indicadores apresentados na Tabela I, permitindo a visualização desses indicadores, além do registro de oscilografia que deu origem a esses indicadores.

INDICADOR	FÓRMULA DE ACESSO	PARÂMETROS
Distorção Individual da Tensão (<i>DIT_h%</i>)	$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100$	V_h - módulo da tensão de ordem h ; V_1 é o módulo da tensão de ordem 1 e h é a ordem harmônica individual, sendo $h=2$ até $h=16$ para 32 amostras/ciclo e $h=2$ até $h=8$ para 16 amostras/ciclo.
Distorção Total da Tensão (<i>DTT%</i>)	$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} V_h^2}}{V_1} \cdot 100$	h - ordens harmônicas de 2 até $hmax$, sendo $hmax=16$ para 32 amostras/ciclo e $hmax=8$ para 16 amostras/ciclo.
Distorção Tensão Pares (<i>DTT_p%</i>)	$DTT_p\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hp} V_h^2}}{V_1} \cdot 100$	h - ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3, sendo $h=2, 4, 8, 10, 14$ e 16 para 32 amostras/ciclo e $h=2, 4$ e 8 para 16 amostras/ciclo hp - máxima ordem harmônica par, não múltipla de 3, sendo $hp=16$ para 32 amostras/ciclo e $hp=8$ para 16 amostras/ciclo.
Distorção Tensão Ímpares (<i>DTT_i%</i>)	$DTT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{hi} V_h^2}}{V_1} \cdot 100$	h - ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3, sendo $h=5, 7, 11$ e 13 para 32 amostras/ciclo e $h=5$ e 7 para 16 amostras/ciclo hi - máxima ordem harmônica ímpar, não múltipla de 3, sendo $hi=13$ para 32 amostras/ciclo e $hi=7$ para 16 amostras/ciclo.
Distorção Tensão Múltiplo de 3 (<i>DTT₃%</i>)	$DTT_3\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h3} V_h^2}}{V_1} \cdot 100$	h - são todas as ordens harmônicas múltiplas de 3, sendo $h=3, 6, 9, 12$ e 15 para 32 amostras/ciclo e $h=3$ e 6 para 16 amostras/ciclo $h3$ - máxima ordem harmônica, múltipla de 3, sendo $h3=15$ para 32 amostras/ciclo e $h3=6$ para 16 amostras/ciclo.

INDICADOR	FÓRMULA DE ACESSO	PARÂMETROS
Fator de Desequilíbrio da Tensão (FDT%)	$FDT\% = 100 \cdot \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$	$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2}$ e V_{ab} , V_{bc} e V_{ca} os módulos das tensões de linha.
Distorção Individual da Corrente (DIIh%)	$DIIh\% = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100$	I_h - módulo da corrente de ordem h ; I_1 - módulo da corrente de ordem 1 h - ordem harmônica individual, sendo $h=2$ até $h=16$ para 32 amostras/ciclo e $h=2$ até $h=8$ para 16 amostras/ciclo.
Distorção Total da Corrente (DTI%)	$DTI\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} I_h^2}}{I_1} \cdot 100$	h - ordens harmônicas de 2 até $hmax$ $hmax=16$ para 32 amostras/ciclo e $hmax=8$ para 16 amostras/ciclo.
Distorção Corrente Pares (DTIp%)	$DTIp\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hp} I_h^2}}{I_1} \cdot 100$	h - ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3, sendo $h=2, 4, 8, 10, 14$ e 16 para 32 amostras/ciclo e $h=2, 4$ e 8 para 16 amostras/ciclo hp é a máxima ordem harmônica par, não múltipla de 3, sendo $hp=16$ para 32 amostras/ciclo e $hp=8$ para 16 amostras/ciclo.
Distorção Corrente Ímpares (DTIi%)	$DTIi\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{hi} I_h^2}}{I_1} \cdot 100$	h - ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3, sendo $h=5, 7, 11$ e 13 para 32 amostras/ciclo e $h=5$ e 7 para 16 amostras/ciclo hi - máxima ordem harmônica ímpar, não múltipla de 3, sendo $hi=13$ para 32 amostras/ciclo e $hi=7$ para 16 amostras/ciclo.
Distorção Corrente Múltiplo de 3 (DTI3%)	$DTI3\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h3} I_h^2}}{I_1} \cdot 100$	h - ordens harmônicas múltiplas de 3, sendo $h=3, 6, 9, 12$ e 15 para 32 amostras/ciclo e $h=3$ e 6 para 16 amostras/ciclo $h3$ - máxima ordem harmônica múltipla de 3, sendo $h3=15$ para 32 amostras/ciclo e $h3=6$ para 16 amostras/ciclo
Fator de Desequilíbrio da Corrente (FDI%)	$FDI\% = 100 \cdot \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$	$\beta = \frac{I_a^4 + I_b^4 + I_c^4}{(I_a^2 + I_b^2 + I_c^2)^2}$ I_a , I_b e I_c os módulos das correntes de linha.
Energia do Sinal (Es)	$Es = \sum_{n=1}^{amax} (a_n)^2$	a_n corresponde a cada amostra da oscilografia (I_a , I_b , I_c ou V_a , V_b , V_c) $amax$ - é o número máximo de amostras, sendo 512 para 32 amostras/ciclo ($32 \cdot 16$ ciclos) ou 256 para 16 amostras/ciclo ($16 \cdot 16$ ciclos).
Energia do cD1 com borda (Ee)	$Ee = \sum_{n=1}^{ncD1max} (acD1_n)^2$	$acD1_n$ corresponde a cada coeficiente de detalhe da primeira decomposição da aplicação de TW (I_a , I_b , I_c ou V_a , V_b , V_c) e $acD1max$ - número máximo de coeficientes de detalhes da primeira decomposição da TW, incluindo as bordas, sendo igual a 259 para 32 amostras/ciclo ou 131 para 16 amostras/ciclo.

INDICADOR	FÓRMULA DE ACESSO	PARÂMETROS
Relação de energia do cD1 com borda (<i>Re</i>)	$Re = \frac{Ee}{Es} \cdot 100$	<i>Ee</i> - energia do sinal da primeira decomposição do sinal <i>Es</i> - energia do sinal (<i>I_a</i> , <i>I_b</i> , <i>I_c</i> ou <i>V_a</i> , <i>V_b</i> , <i>V_c</i>).
Valor eficaz (<i>Veficaz</i>)	$Veficaz = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{cmax} (a_n)^2}{cmax}}$	<i>a_n</i> - cada amostra do sinal da oscilografia (<i>I_a</i> , <i>I_b</i> , <i>I_c</i> ou <i>V_a</i> , <i>V_b</i> , <i>V_c</i>) <i>cmax</i> - número máximo de amostras por ciclo, sendo de 32 ou 16 amostras.
Impedância (<i>Imp</i>)	$Imp = \frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1}$	\hat{V}_1 - fasor da tensão fundamental e \hat{I}_1 - fasor da corrente fundamental, ambos por fase.
Resistência (<i>Res</i>)	$Res = Imp_{mod} \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{Imp_{ang}}{180}\right)$	<i>Imp_{mod}</i> e <i>Imp_{ang}</i> - módulo e o ângulo da impedância (<i>Imp</i>).
Reatância (<i>Rea</i>)	$Rea = Imp_{mod} \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{Imp_{ang}}{180}\right)$	<i>Imp_{mod}</i> e <i>Imp_{ang}</i> - módulo e o ângulo da impedância (<i>Imp</i>).

Tabela I – Indicadores de desempenho

O sistema permite, a critério do Operador, selecionar um (ou mais) indicador(es) para gerar a notificação, definindo-se assim um conjunto de indicadores em monitoração. Quando algum indicador desse conjunto ultrapassa um determinado limite, tem-se a sinalização de uma anormalidade, que permanecerá ativa até que o indicador volte a ficar abaixo do respectivo limiar, interrompendo-se a indicação da anormalidade. Além disso, fica registrada a data/hora tanto do início como do fim da anormalidade, de forma a ser gerado um histórico de anormalidades.

A determinação dos limites deve ser baseada no histórico de um período de funcionamento normal. O sistema permite a configuração dos limiares pelo Operador que pode ajustá-los em função das observações do comportamento da rede.

Para a monitoração, apenas são processadas as coletas periódicas (a cada 5 min.), pois os registros de eventos de perturbação por si só já indicam alguma situação de anormalidade de estado do relé ou resultado de uma atuação automática ou manual do relé. Considera-se como exceção o evento “ER Trigger”, pois é analisada a sua taxa de ocorrência.

Quando identificada alguma anormalidade em um determinado alimentador, é mostrado o registro de anormalidade correspondente com uma indicação de alerta, sendo possível visualizar os demais indicadores na forma de um gráfico dos últimos registros (por exemplo, das últimas 3 horas). A lista dessas coletas também é mostrada destacando os eventos de perturbação, a fim de permitir a visualização da oscilografia, a partir de uma data/hora dessa lista. A ideia dessa forma de visualização é permitir ao Operador observar vários indicadores ao mesmo tempo e assim avaliar a situação do alimentador naquele

momento. A visualização também está disponível na forma de um histórico, ao selecionar uma determinada data/hora e o respectivo período desejado.

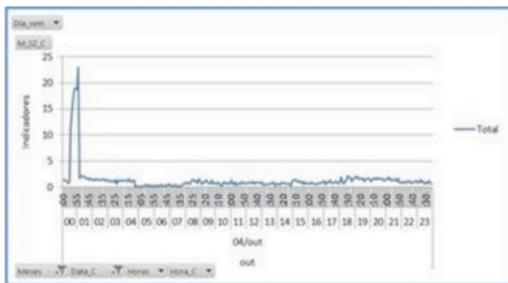
4 | ANÁLISE DE OCORRÊNCIA DE CONDUTOR PARTIDO

No estudo de caso descrito a seguir, visou-se a detecção de uma anomalia antes da ocorrência da falha, no caso “circuito aberto”, ocorrido em 04/10/2016 no circuito 02 de Xavantes (XAV_C02).

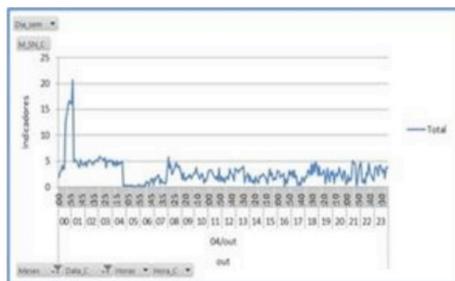
No dia 04/10/2016 ocorreu no circuito XAV_C02 uma falha referente a “CONDUTOR MT PARTIDO”, com geração às 4h 45min e conclusão às 7h 50min. Tal falha provocou um abertura no relé, que pela monitoração do indicador Valor Eficaz da Corrente (VE_C), seria sinalizado como anormalidade “circuito aberto” às 4h 45min e retorno à normalidade às 6h 25min. No entanto, antes da anormalidade “circuito aberto”, houve uma instabilidade que seria sinalizada como anormalidade à 0h 30min e volta à normalidade à 1h 10min para os indicadores: i) Sequência Zero da Corrente (SZ_C), ii) Sequência Negativa da Corrente (SN_C) e iii) Fator de Desequilíbrio da Corrente (FD_C) como mostrado nas FIGURAS 1(a) a 1(d). Os indicadores SZ_C e SN_C normalmente são pequenos, próximos de zero indicando o equilíbrio entre as fases que pode ser verificado pelo indicador FD_C.



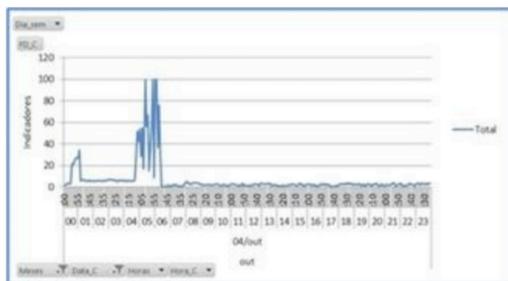
1(a) – VE_C



1(b) – SZ_C



1(c) – SN_C



1(d) – FD_C

FIGURA 1 - INDICADORES DE ANORMALIDADE

A monitoração dos indicadores de desempenho permite a geração de alertas que no exemplo seriam gerados pelos picos de desequilíbrio de corrente. Os alertas poderiam sugerir ao operador a investigação do problema antes da ocorrência.

Essa monitoração torna-se impossível se o objetivo for analisar, por exemplo, a Distorção Total de Corrente (DTI) conjuntamente com os harmônicos que para 32 amostras/ciclo engloba 54 indicadores. Nesse ponto uma metodologia de análise é necessária além de ferramentas como PCA para reduzir o número de indicadores e gerar novo conjunto que espelhe uma certa porcentagem da variação.

5 | APLICAÇÃO DE TÉCNICAS NA ANÁLISE DE VÁRIOS INDICADORES

A detecção de falhas incipientes implica em identificar a progressiva degradação da rede por meio de um ou mais quantificadores que sinalizem e sintetizem a possibilidade de ruptura que pode gerar uma falta ou uma medida fora de especificação.

A sintetização deve permitir a análise visual ou quantitativa por meio de poucos Índices de Degradação, IDs, seja i) pela redução de indicadores com alta correlação entre eles ou ii) por meio de uma forma compacta de apresentação.

PCA (DUNTEMAN, 1989) é uma técnica estatística usada para redução de variáveis, no nosso caso, os indicadores de desempenho. Transforma linearmente um conjunto de indicadores em um conjunto bem menor de componentes principais não correlacionados que expressam a maior parte das informações contidas no conjunto original. O objetivo é reduzir a dimensionalidade do conjunto a ser analisado, permitindo maior compreensão do fenômeno pelo analista (menor número de CPs) e menor custo computacional. As ferramentas de análise de dados em linguagem de programação R (WICKHAM & GROLEMUND, 2017; CHAMBERS, 208) e Python (MCKINNEY, 2013) incorporam essa técnica. As variáveis são normalizadas (média igual a zero, desvio padrão igual a 1) para uniformizar os valores entre elas, relação que pode ser de mais de uma ordem e grandeza.

O estudo de caso é o mesmo da Seção 4, detecção de uma anomalia antes da ocorrência da falha de “circuito aberto” ocorrido em 4/10/2016.

O objetivo é mostrar o potencial de capacidade preditiva a partir da análise de múltiplos indicadores. É um estudo preliminar, pois se baseia em apenas uma ocorrência.

São analisados os indicadores de distorção total de corrente, DTIs, e os respectivos harmônicos para as três fases, totalizando 54 indicadores abrangendo também o dia anterior, 3/10, e o posterior, 5/10. São 344 registros antes da falha (a cada 5 minutos) e 497 depois. O mesmo processo pode ser aplicado aos diversos indicadores.

A aplicação da técnica PCA com índice de correlação maior que 80% reduz para 19 os Componentes Principais (CP) que devem ser analisados. As FIGURAS 2(a) e 2(b) mostram os componentes principais antes e depois da ocorrência.

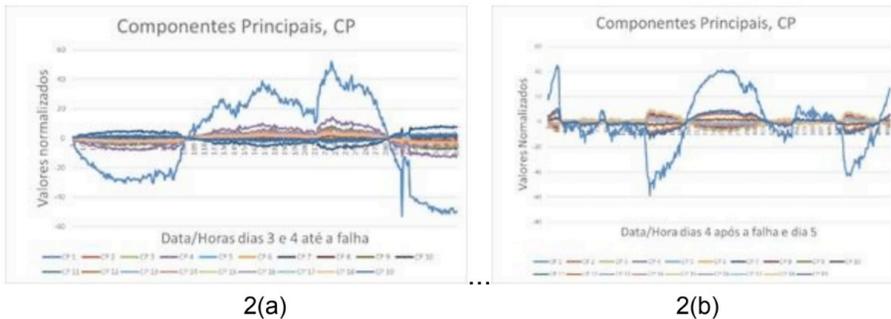


FIGURA 2 – Componentes Principais dos 54 indicadores de distorção de corrente

Nesse caso a visualização do padrão de comportamento pode ser representada pelos valores máximo e mínimo, como nas FIGURAS 3(a) e 3(b).



FIGURA 3 – Máximo e Mínimo dos CPs da distorção de corrente

Pela figura nota-se um padrão de comportamento após a correção da ocorrência no período de 8h às 22h que não é observado antes da falha, no dia 3.

Essa é uma forma de procura de padrão que poderia ser usada caso houvesse outras ocorrências de cabo partido. No exemplo, 54 indicadores de distorção de corrente são sintetizados em duas variáveis depois de encontrados os componentes principais. Outros indicadores poderiam ser analisados da mesma forma na procura daquele que melhor sintetizasse o fenômeno.

6 | CONCLUSÃO

O presente capítulo apresenta o sistema desenvolvido em (ADORNI et al., 2017) e a continuação das pesquisas reportadas em (ADORNI et al., 2019) com o objetivo de prever possíveis falhas incipientes por meio de diversos indicadores derivados dos registros de oscilografia. Os Indicadores de Desempenho são agrupados por tensão, corrente e

indicadores Wavelet. A técnica de Análise dos Componentes Principais é usada para reduzir o número de componentes a serem analisados, suprimindo aqueles que apresentam alta correlação, mas captando mais que 80% da variância dos indicadores.

O exemplo de utilização do sistema na predição de distúrbios como “condutor partido” mostra o potencial desse tipo de abordagem. No entanto, para ser validada, seria necessária a avaliação da porcentagem de acerto, o que só é possível com uma significativa base de dados de ocorrências.

REFERÊNCIAS

ADORNI, C. Y. K. O.; PASSOS, L. F. N.; MACHADO, B. B.; MURARI, C. A. F.; JUNIOR, M. A. M, Modelo de um sistema preditivo de ocorrência de falta, **Anais XXIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE**, Curitiba, 2017.

ADORNI, C.Y.K.O.; SOUZA, J.M.; NADER, M.V.; HOLANDA, G.M. Modelos de Inteligência Computacional aplicados à previsão de ocorrência de falta. **Anais XXV SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, Belo Horizonte, 2019.

CHAMBERS, J.M. **Software for data analysis – programming with R**. New York: Springer, 2008.

DUNTEMAN, G.H. **Principal Components Analysis**. SAGE University Paper, 69, 1989.

FEREIDUNIAN, A.; LESANI, H.; LUCAS, C.; LETHONEN. A framework for implementation of adaptive autonomy for Intelligent Electronic Devices. **Journal of Applied Sciences**, vol. 8, n. 20, p. 3721-3726, 2008.

FORTESCUE, C.L. Method of symmetrical coordinates applied to the solution of polyphase networks. **Proc. 34th Annual Convention of the American Institute of Electrical Engineers**, Atlantic City, p. 1027–1140, 1918.

HONG, J.; LIU, C.-C. Intelligent Electronic Devices with Collaborative Intrusion Detection Systems. **IEEE Transactions on Smart Grid**, vol. 10, n. 1, p. 271 – 281, 2019.

HOR, C.-L.; CROSSLEY, P.A. Knowledge Extraction from Intelligent Electronic Devices. In: Peters, J.F.; Skowron, A. (Eds.). **Transactions on Rough Sets III**, LNCS 3400. Berlin Heidelberg: Springer, 2005.

KHOKHAR, S.; MOHD ZIN, A.A.; MOKHTAR, A.S.; MAIZA ISMAIL N.A.; ZAREEN, N. Automatic Classification of Power Quality Disturbances: A Review. **2013 IEEE Student Conference on Research and Development (SCoReD)**, 2013.

LAZZARETTI, A.E.; FERREIRA, V.H.; VIEIRA NETO, H.; TOLEDO; L.F.R.B.; PINTO, C.L.S. A New Approach for Event Detection in Smart Distribution Oscillograph Recorders. **IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA)**, 2013.

MCKINNEY, W. **Python for data analysis**. Sebastopol: O’Reilly, 2013.

MOUSAVI, M.J.; BUTLER-PURRY, K.L. Detecting Incipient Faults via Numerical Modeling and Statistical Change Detection. **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 25, n.3, p. 1275-1283, 2010.

PEREIRA, C.; TOLEDO, I.V.; YUJI, R.; ZUCATTO, M.; RODRIGUES, W.; SILVEIRA, E. G. et al. OSCILO – Sistema de gerenciamento automático de registros oscilográficos. **Anais XX SNPTEE** Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife, 2009.

WICKHAM H., GROLEMUND G., **R for Data Science**. O'REILLY, 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ad hoc 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98

Algoritmo genético 1, 2

Análise de componentes 131

Análise preditiva 131

Antenas 32, 33, 34, 37, 38

Antropometria 100, 101, 103, 105

Aplicativo móvel 44, 117, 119, 121, 123

Automatização 100, 102

C

Checklist 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98

Cidades inteligentes 18, 19, 20, 25, 30

Código 33, 47, 54, 56, 59, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 97, 98, 111, 112, 113, 160

Compartilhamento 19, 20, 142, 143, 146, 148, 149, 150, 152

Computação 18, 20, 35, 39, 47, 53, 57, 60, 70, 71, 72, 76, 78, 82, 86, 91, 100, 105, 107, 108, 109, 110, 112, 115, 125, 127, 129, 154, 155, 156, 157, 159, 165, 166

Comunicação de dados 142, 144

Conscientização 117, 118, 119, 120, 121, 122

Consórcio W3C 19, 23

Contagem 154, 158, 160, 164

Correlação 138, 140, 154, 160

D

Dados abertos conectados 19, 20, 21, 22, 25, 30

Dispositivo móvel 39, 44

Distribuição de vapor 1, 2

E

Educação 39, 59, 60, 62, 86, 101, 103, 106, 109, 116, 122, 124, 125, 126, 128, 129, 130, 155, 157, 163, 164, 165, 166

Ensino 19, 20, 25, 49, 50, 51, 52, 59, 60, 70, 72, 78, 86, 107, 109, 111, 115, 116, 124, 126, 127, 129, 154, 157, 158, 159, 163, 164, 165

Ensino superior 19, 20, 25, 124, 126, 129

Ergonomia 117, 118, 119, 120, 122, 123

Escalonamento 70, 71, 72, 73, 74, 80, 81, 84, 85

F

Falhas incipientes 131, 132, 133, 138, 139

Framework 21, 23, 27, 44, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 140

I

Informática 71, 78, 86, 116, 119, 121, 124, 126, 129, 130, 165, 166

Inteligência computacional 131, 140

Internet 19, 20, 23, 64, 76, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152

J

JavaFX 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59

Jogos 49, 51, 52, 59, 104, 115, 157

M

Medição 100, 104, 105

Modelamento 2, 33

O

Ordenação 154

Orientação a objetos 49, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60

P

Pensamento computacional 107, 108, 109, 110, 112, 113, 115, 116, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 163, 164, 165

Plataforma web 39, 40

Processo 1, 2, 26, 33, 41, 42, 44, 50, 59, 60, 70, 71, 72, 74, 75, 79, 80, 81, 89, 90, 102, 105, 107, 110, 126, 128, 131, 133, 138, 144, 155, 156, 164

Programação 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 59, 60, 90, 92, 107, 109, 113, 114, 115, 116, 128, 138, 157, 166

R

Recuperação de energia 2

Rede elétrica 132, 133, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153

Robótica 107, 108, 109, 112, 113, 114, 115, 116

S

Shadow IT 124, 125, 126, 128, 129, 130

Simulação 17, 32, 33, 72, 74, 75, 79, 80, 81, 83, 108, 149

Software 12, 17, 21, 32, 34, 35, 36, 37, 41, 42, 43, 44, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 71, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 113, 114, 115, 116, 124, 125, 127, 128, 129, 140, 150, 166

T

Tecnologia da informação 124, 125, 166

Telecomunicações 32, 37, 38, 126, 143, 145

Teste 70, 74, 76, 77, 78, 82, 83, 84, 85, 119, 132, 143, 149, 150, 151

Treinamento 92, 101, 117, 118, 122

U

Usabilidade 70, 73, 76, 77, 78, 82, 83, 84, 85, 121, 127

W

Web 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 30, 31, 33, 39, 40, 41, 44, 45, 63, 86

ENSINO, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NA ENGENHARIA ELETRÔNICA E COMPUTAÇÃO

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Ernane Rosa Martins
(Organizador)


Ano 2021

ENSINO, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NA ENGENHARIA ELETRÔNICA E COMPUTAÇÃO

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Ernane Rosa Martins
(Organizador)


Ano 2021