



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
MARCELO HENRIQUE GRANZA  
(ORGANIZADORES)

# A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
MARCELO HENRIQUE GRANZA  
(ORGANIZADORES)

# A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

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

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

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

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
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

### **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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
 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  
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás  
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
 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. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P964 A produção do conhecimento na engenharia elétrica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 Inclui bibliografia  
 ISBN 978-65-86002-65-2  
 DOI 10.22533/at.ed.652202303

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Granza, Marcelo Henrique.  
 CDD 623.3

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

## APRESENTAÇÃO

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

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

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

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Marcelo Henrique Granza

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE TURBINAS EÓLICAS EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO MATLAB/SIMULINK NA APRENDIZAGEM DE SISTEMAS DE CONTROLE	
Marcos José dos Santos Junior Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza João Luiz Dallamuta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MEDIDORES DE ENERGIA NO CONTEXTO DE UM APLICATIVO DE AUTOLEITURA	
Arthur Costa Serra João Vitor Ferreira França Ricardo Costa da Silva Marques Wesley Kelson Ribeiro Figueredo Artur Bernardo Silva Reis Italo Francyles Santos da Silva Simara Vieira da Rocha Aristófanos Correa Silva Eliana Márcia Garros Monteiro Italo Fernandes Serra da Silva Marcia Izabel Alves da Silva José Messias dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
O CONCEITO DE CASA INTELIGENTE APLICADO A PAÍSES DESENVOLVIDOS E EMERGENTES: BENEFÍCIOS, BARREIRAS E GRAU DE ADESÃO	
Florença Moraes da Silva Rosana Aparecida Ferreira Nunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM GERAÇÃO, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Igor Ferreira Visconti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>49</b>
INSTRUMENTAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM ABRASÔMETRO TIPO RODA DE BORRACHA	
Périson Pavei Uggioni André Roberto de Sousa Anderson Daleffe Diego Tiburcio Fabre	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023035</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>58</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO FUZZY E ALGORITMOS DE APRENDIZADO PARA SEQUÊNCIA DE PARTIDA DE PLANTAS INDUSTRIAIS	
André da Silva Barcelos Fábio Muniz Mazzone	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023036</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>72</b>
SIMULAÇÃO DE SINTONIZAÇÃO DE AUTOMÁTICA PARA UM CONTROLADOR PID EM UMA PLANTA NÃO-LINEAR USANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Diogo Aparecido Cavalcante de Lima Hiago Araújo Silva Alexandre Carvalho Silva Maurício José Aureliano Júnior Alexandre Cardoso Edgard Afonso Lamounier Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023037</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>82</b>
CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE POSIÇÃO PARA UM ROBÔ PARALELO COM APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA CONFECCIONISTA	
Asafe dos Santos Silva Acarcio Gomes de Almeida Júnior Alexander Patrick Chaves de Sena João Manoel Freitas Souza José Lucas Moreira Cavalcanti de Abreu	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023038</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>95</b>
DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONTROLE HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE ALTA PRESSÃO	
Murilo Ferreria Vitor Alexsandro dos Santos Silveira Guilherme Matias Rodolfo César Costa Flesch	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6522023039</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>110</b>
UMA NOVA ABORDAGEM DE UM SIMULADOR VIRTUAL DE IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADO NA METODOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES INSERIDO NO CONTEXTO DE REDES NEURAIS	
Matheus Silva Pestana Orlando Donato Rocha Filho Danúbia Soares Pires	
<b>DOI 10.22533/at.ed.65220230310</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>124</b>
INFLUÊNCIA DO ERRO DE QUANTIZAÇÃO APLICADO NO CONTROLE DIGITAL DE VELOCIDADE DE UM MÓDULO SERVOMECANISMO DIDÁTICO	
Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza	

João Luiz Dallamuta

**DOI 10.22533/at.ed.65220230311**

**CAPÍTULO 12 ..... 135**

CRIAÇÃO DE UM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DE CONTROLE AVANÇADO DE PROCESSOS EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA

Edilberto Pereira Teixeira

Luciano Rangel Pinheiro Neto

**DOI 10.22533/at.ed.65220230312**

**CAPÍTULO 13 ..... 147**

ESTUDO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA VALIDAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROTEÇÃO

Pablo Rodrigues Lopes

Rui Bertho Junior

**DOI 10.22533/at.ed.65220230313**

**CAPÍTULO 14 ..... 159**

MODELAGEM INTELIGENTE NEBULOSA APLICADA À HIDROPONIA VIA SISTEMA EMBARCADO

Kayon Vinicius Lima Lopes

Danúbia Soares Pires

Orlando Donato Rocha Filho

**DOI 10.22533/at.ed.65220230314**

**CAPÍTULO 15 ..... 172**

MODELO DE NEURÔNIO MEMRISTIVO DE DIÓXIDO DE VANÁDIO COM CODIFICAÇÃO DE IMPULSOS PRBS-PWM

Rennan Santos de Araujo

Luiz Alberto Luz de Almeida

Felipe Sadami Oiwa da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.65220230315**

**CAPÍTULO 16 ..... 187**

MODELO MISO NEBULOSO COM ESTRUTURA MAMDANI APLICADO À ANÁLISE E CONTROLE DE VAZÃO HÍDRICA

Lorena Maria Figueiredo Albuquerque

Kayon Vinicius Lima Lopes

Orlando Donato Rocha Filho

Danúbia Soares Pires

**DOI 10.22533/at.ed.65220230316**

**CAPÍTULO 17 ..... 199**

SISTEMA ESPECIALISTA PARA AVALIAÇÃO DE ENGENHARIA COGNITIVA EM *SERIOUS GAMES*

Mateus Gomes Binatti

Marcos Venícios Conceição de Araújo

Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo

**DOI 10.22533/at.ed.65220230317**

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>209</b>
FILTRO DE KALMAN BASEADO EM MODELO FUZZY TAKAGI – SUGENO VIA ANÁLISE ESPECTRAL DE DADOS EXPERIMENTAIS	
Daiana Caroline dos Santos Gomes Ginalber Luiz de Oliveira Serra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.65220230318</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>224</b>
CONSTRUÇÃO, DESIGN DE CONTROLE E CONTROLE DE TRAJETÓRIA POR BLUETOOTH DE UM ROBÔ AUTO EQUILIBRANTE	
Giulio Cesare Mastrocinque Santo Claudio Garcia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.65220230319</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>240</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>241</b>

## ESTUDO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA VALIDAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROTEÇÃO

Data de aceite: 17/03/2020

Data de Submissão: 02/12/2019

**Pablo Rodrigues Lopes**

Universidade Federal do Piauí

Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/4144564441619838>

**Rui Bertho Junior**

Universidade Federal do Piauí

Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/3393376601554142>

**RESUMO:** Neste trabalho são apresentadas as principais plataformas em hardware utilizadas por pesquisadores na validação de algoritmos de proteção. Também é discutida a possibilidade de uso do *Raspberry Pi 3B+* para esse fim. Sua performance em tempo real é avaliada através de testes de latência e atrasos, além da execução de uma rede neural. Os resultados mostram que é possível alcançar não somente uma boa previsibilidade no tempo de execução dos algoritmos, mas também um tempo de execução compatível com a proteção de sistemas de energia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hardware; Raspberry Pi 3; Relés; Sistemas de Proteção; Sistemas de Tempo Real.

### STUDY OF ALTERNATIVE TECHNOLOGIES FOR POWER PROTECTION ALGORITHMS VALIDATION

**ABSTRACT:** This paper presents the main hardware platforms used by researchers for power protection algorithms validation. It is also discussed the possibility of using a Raspberry Pi 3B+ for this task. Its performance is evaluated by testing its latency and jitter, and also running a neural network. The results show that it acquires not only good predictability, but also runs algorithms in a acceptable time for power system protection.

**KEYWORDS:** Hardware; Protection Systems; Raspberry Pi 3; Real-time Systems; Relays.

### 1 | INTRODUÇÃO

A proteção de sistemas de potência desempenha um papel vital na entrega de energia elétrica aos seus usuários de forma segura e confiável. Recentes mudanças na rede elétrica como a geração distribuída e o grande número de cargas não lineares, as quais inserem no sistema de potência sinais harmônico dos mais variados, o leva a operar em seus limites de estabilidade e segurança (KUFFEL; FORSYTH; PETERS, 2016). Com isso, a proteção deve sempre se manter

atualizada para lidar com esses novos desafios. Várias pesquisas envolvendo novas técnicas de proteção vem sendo desenvolvidas e suas funcionalidades comprovadas. Contudo, essa validação de conceito geralmente só ocorre em ambientes simulados. Logo, de modo a se obter resultados comparáveis com relés digitais comerciais, uma variedade de plataformas em hardware vem sendo utilizadas para testar esses algoritmos em tempo real.

Sistemas em tempo real são sistemas sujeitos a severas restrições de tempo. Eles devem ser capazes de receber informações, processá-las, e retornar com uma resposta ou ação suficientemente rápida para interagir com o ambiente dentro de um limite de tempo pré-determinado (AXER et al., 2014). No caso de sistemas de proteção, essa é uma característica extremamente importante, uma vez que, na ocorrência de uma falta, ele deve operar no tempo no qual foi configurado e realizar todas as tarefas necessárias para extinguir a falha e isolar o elemento do sistema elétrico afetado por ela o mais rápido possível, sendo que as medidas devem ser as mais precisas possíveis.

Este artigo apresenta opções viáveis para validação de algoritmos de proteção, não as restringindo aos ambientes simulados. As plataformas em hardware mais comumente utilizadas por pesquisadores para essa tarefa são: *FPGA's*, Plataformas protótipo e microcontroladores (WANG; DINAHAHI, 2016; MONARO et al., 2012; MARTINS, 2017). Também será discutido a possibilidade de se usar o minicomputador de placa única *Raspberry Pi* da *Raspberry Foundation* como uma plataforma para testar tais algoritmos. Seu desempenho será avaliado através de testes de latência e atraso, além do tempo de processamento de algoritmos complexos.

## 2 | SISTEMAS EM TEMPO REAL

O termo “tempo real” pode ter vários significados dependendo do contexto em que se encontra. No que concerne este artigo, um sistema em tempo real deve possuir como principais características (AXER et al., 2014):

- Determinismo - O sistema responde a um determinado evento (entrada do sistema) sempre da mesma maneira;
- Previsibilidade – As tarefas que o sistema desempenha devem ocorrer em uma janela de tempo específica;
- Boa Performance - Os principais parâmetros de qualidade de um sistema em tempo real são baixa latência (tempo que uma informação leva para ir de um ponto ao outro do sistema), baixíssimo *jitter* (atraso na entrega da informação) e alta taxa de transferência de dados.

Tais características não são entregues por Sistemas Operacionais (SO's) de

propósito geral, como Windows e muitas variações do Linux, uma vez que tais sistemas são focados em ótima performance geral, flexibilidade e compatibilidade com as mais variadas plataformas físicas, ao invés de realizar tarefas específicas em tempo restrito (AXER et al., 2014). Assim, sistemas de proteção, que exigem tempos de resposta precisos, necessitam de um SO que opere em tempo real e um hardware capaz de entregar tal resposta. Isso os classifica como um sistema em tempo real crítico: todas as tarefas do sistema devem ocorrer em um tempo preciso e o atraso de uma delas faz com que todo o sistema falhe (AXER et al., 2014).

Dos sistemas em tempo real utilizados atualmente, a maior parte é derivada de sistemas Linux, uma vez que esse é um SO de código aberto e com ampla documentação. Para adicionar ao Linux as características em tempo real já mencionadas, muitos desses ambientes alteram a forma como o *kernel* funciona. O *kernel* é o núcleo do SO Linux, sendo um dos primeiros a inicializar, além de ser responsável por se comunicar com periféricos, processar dados para a CPU e lidar com as requisições do software (AXER et al., 2014).

Cada ambiente em tempo real reconfigura o *kernel* a sua maneira. Alguns deles são:

- *Preempt RT – Patch* (conjunto de instruções que alteram um programa ou SO) criado para o Sistema Operacional Linux, o qual configura o kernel do Linux para ser mais preemptivo (capacidade de interromper uma tarefa por outras de maior prioridade) (MCKENNEY, 2015);
- *Xenomai* - Co-kernel que trabalha em conjunto com o kernel não-preemptivo do Linux. As tarefas em tempo real são direcionadas para o co-kernel, lidando com as tarefas relacionadas ao kernel não-preemptivo como baixa prioridade (XENOMAI, 2019);
- *RTAI* - Solução dual-kernel alternativa (RTAI – THE REALTIME APPLICATION INTERFACE FOR LINUX, 2018).

A escolha sobre qual ambiente usar depende da compatibilidade com o hardware a ser utilizado e da restrição de tempo a qual uma aplicação está sujeita.

### 3 | HARDWARES PARA TESTES EM TEMPO REAL

Estabelecidas os parâmetros para sistemas em tempo real, os hardwares a serem utilizados para teste dos algoritmos de proteção devem atender aos requisitos exigidos por tais sistemas, de modo a entregarem uma resposta próxima à exigida por sistemas de proteção reais. Dentre as plataformas físicas mais comumente usadas nesses testes, temos: FPGA's, plataformas protótipo e microcontroladores.

### 3.1 FPGA'S

*FPGA's* são hardwares programáveis, formados por pequenos blocos lógicos, largamente utilizados no processamento de sinais digitais. Eles possuem características desejáveis para uso em proteção digital, como: execução mútua de tarefas, devido a sua arquitetura inerentemente paralela; baixa latência quando interfaceado com outros dispositivos, e alta velocidade de processamento, sendo capazes de rodar redes neurais complexas (ORDOÑES; PENTEADO; DA SILVA, 2005).

Alguns dos trabalhos desenvolvidos com esse hardware são apresentados a seguir.

Wang e Dinavahi (2016) desenvolveram um relé digital multifuncional implementado em uma Virtex-7 da Xilinx®. As funções implementadas, com seu respectivo código ANSI, foram:

- Direcional de Sobrecorrente (67);
- Distância (21);
- Sobre/Subtensão (59/27);
- Frequência (81);

Tais funções foram testadas em sistemas de potência simulados computacionalmente e em tempo real. Utilizando somente 39% do hardware disponível na placa, o relé desenvolvido demonstrou desempenho próximo ao de relés digitais comerciais, com a vantagem de consumir menos energia.

Mitra e Chattopadhyay (2019) elaboraram uma proteção de sobrecorrente adaptativa que considera a potência injetada na rede de distribuição por geração distribuída no ajuste do relé digital. Para validar sua metodologia, foi utilizada uma FPGA Cyclone IV, na qual o algoritmo foi embarcado. O sistema de potência utilizado foi simulado no ambiente do Simulink do Matlab®. O algoritmo proposto cumpriu seu objetivo e seu tempo de atuação é próximo a de relés comerciais no que se refere à sobrecorrente.

### 3.2 Plataformas Protótipo

Ao se referir a “plataformas protótipo”, este artigo faz menção a hardwares que não possuem um uso específico, mas possuem blocos lógicos fixos, ao contrário de *FPGA's*. Tais plataformas foram adaptadas para executarem algoritmos de proteção, como foi feito pelos trabalhos a seguir.

Monaro et al. (2012) utilizaram o PC104 da PC/104 Consortium, a qual é utilizada em aplicações industriais, como plataforma de desenvolvimento de sua biblioteca *OpenRelay*, a qual contém desde funções de aquisição de sinais,

medição e transformações matemáticas, até funções básicas de proteção. O Linux foi utilizado como sistema operacional, com a extensão *RTAI* para lhe prover características em tempo real. Para testar a eficiência do sistema montado, proteções básicas de geradores foram implementadas: proteção diferencial (87G), proteção de sobrecorrente de fase instantânea (50) e proteção de sobrecorrente de neutro temporizada (51G-N). Em comparação com um relé comercial, constatou-se que ele possui tempos de atuação aceitáveis, validando a plataforma desenvolvida.

Pellini et al. (2013) criaram um *Intelligent Electronic Device* (IED) para proteção e automação, formado por um minicomputador IBM x86 industrial em conjunto com uma placa de aquisição de sinais. Como conexão para o sistema de potência, a plataforma possui 16 transformadores de instrumentação, sendo oito para tensão e oito para corrente, além de 16 entradas digitais, 16 saídas digitais e protocolos de comunicação IEC 61850, tornando-o um relé customizável. Novamente, seu SO é o Linux, mas o *patch* utilizado para desempenhar funções em tempo real é o Xenomai. Apesar de ter sido desenvolvido inicialmente para atuar como um religador automático, esta plataforma foi utilizada por Dantas, Pellini e Manassero Junior (2018) para testar um algoritmo de proteção diferencial no domínio do tempo, o qual foi validado pela plataforma.

### 3.3 Microcontroladores

Microcontroladores são circuitos integrados, geralmente formados por processador, memória e periféricos programáveis de entrada e saída (ORDONES; PENTEADO; DA SILVA, 2005). Eles são muito utilizados no controle dos mais variados periféricos e na automação de ambientes (ORDONES; PENTEADO; DA SILVA, 2005).

Alguns desses sistemas embarcados foram utilizados para validar algoritmos de proteção, como apresentado em Martins (2017). Ele faz uso da placa de desenvolvimento MSP432P401R da Texas Instruments para amostrar sinais e codificar os algoritmos de proteção. Esse sistema funciona em conjunto com o RTDS, o qual simula uma rede elétrica em tempo real. A validação da plataforma foi realizada pela codificação e teste de um algoritmo de religamento monopolar adaptativo rápido desenvolvido por Dias (2015). O algoritmo foi executado com sucesso, validando o sistema criado.

Feng, Qi e Pan (2017) desenvolveram um algoritmo para localização de faltas em linhas de transmissão em corrente contínua (CC). Para validar seu algoritmo, foi utilizado um BeagleBone Black, o qual possui dois módulos para aquisição de sinais em tempo real. Uma rede CC foi modelada em um Opal-RT, de modo a mensurar o tempo de resposta do algoritmo codificado no BeagleBone. O tempo necessário para

a localização da falta foi, em média, 0,5 ms, o que comprovou a eficácia não só do algoritmo, como também da plataforma em hardware.

## 4 | RASPBERRY PI E VALIDAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROTEÇÃO

Dentre os hardwares apresentados na seção anterior, percebe-se que a maioria deles requer um conhecimento específico de sua arquitetura, bem como o uso de linguagens de programação em baixo nível para codificá-los. Além disso, o custo de aquisição de muitas dessas plataformas é relativamente alto. Logo, utilizar um hardware de baixo custo e que possua um SO que permita a programação em alto nível é uma proposta atrativa para se implementar uma plataforma de validação de algoritmos de proteção.

### 4.1 Informações básicas sobre o Raspberry Pi

Criado pela *Raspberry Pi Foundation*, o *Raspberry Pi* é uma plataforma educacional usada no ensino de computação básica nas escolas (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2019). Contudo, sua versatilidade, portabilidade e custo reduzido o popularizaram entre vários campos da ciência, sendo muito utilizado em pesquisas acadêmicas e projetos computacionais relativos à Internet das Coisas (AQEEL, 2018). A Figura 1 ilustra a sua versão mais recente: o *Raspberry Pi 3B+* (RP3B+).

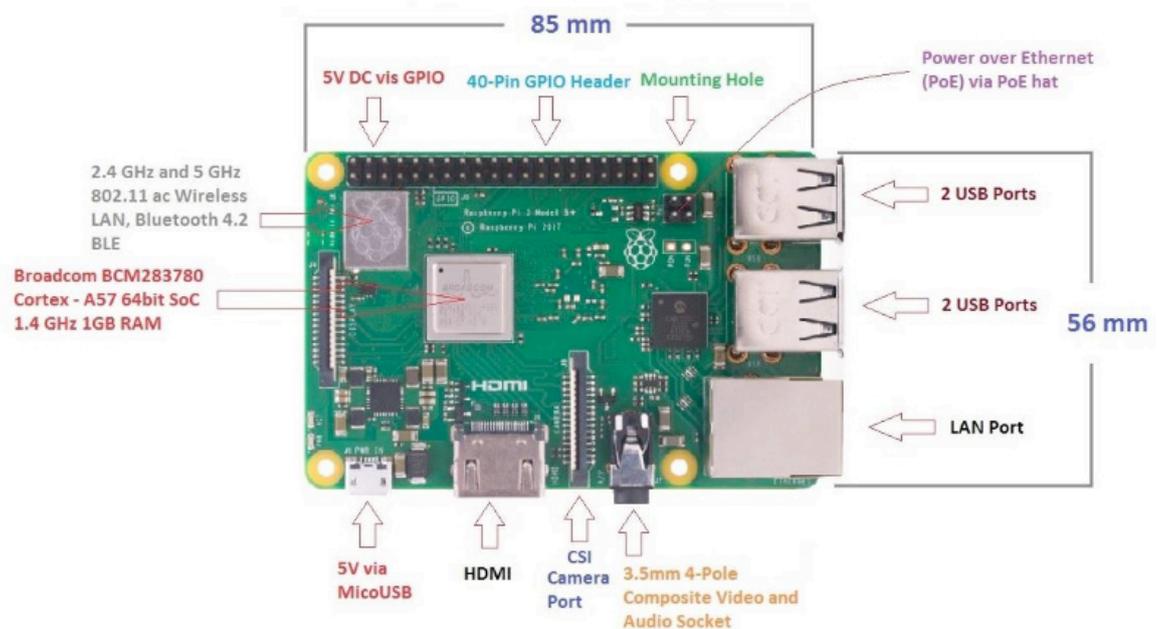


Figura 1 - Detalhes do hardware do Raspberry Pi modelo 3B+ (AQEEL, 2018).

Quanto ao SO, o sistema especificamente feito pela *Raspberry Pi Foundation* para o *Raspberry Pi* é o *Raspbian*, sendo este um SO de propósito geral. Porém, há várias distribuições Linux para o *Raspberry Pi* para as mais diversas finalidades.

Embora o uso do *Raspberry Pi* como plataforma de teste para algoritmos de

proteção não tenha sido encontrado na literatura, suas características inerentes o candidatam como uma plataforma viável para tal tarefa. Dentre elas, têm-se:

- **CPU** - Processador quad-core ARMv8-A, 64 bits e 1,4 GHz, o qual é mais potente que muitas das plataformas apresentadas na seção anterior;
- **GPIO** - Seus pinos que podem se comunicar com os mais diversos periféricos. Um exemplo seria um conversor A/D de alta resolução e múltiplos canais, através de uma comunicação serial;
- **SO** - Programação em alto nível.

## 4.2 Raspberry Pi e sistemas de potência

O *Raspberry Pi* já foi utilizado como elemento de automação, simulação e análise de sistemas de potência e seus elementos. Alguns desses trabalhos são citados a seguir.

John et al. (2017) realizaram a automação de uma subestação de 11 kV com o *Raspberry Pi*, sendo que ele atua como um Controlador Lógico Programável (CLP) com uma interface amigável e de fácil entendimento. Através de uma comunicação serial RS 485/USB com os diversos transdutores (tensão, corrente, potência, etc.) e estabelecendo uma relação mestre/escravo com eles, mostrou-se que a subestação não só opera de forma eficiente como também seus dados podem ser acessados remotamente.

Walter, Fakh e Grüttner (2013) utilizaram o *Raspberry Pi* como um simulador de um esquema de controle eletromecânico em tempo real, o qual se comunica com o ambiente Simulink do Matlab® no qual o motor e sensores são modelados. O Xenomai foi utilizado como *patch* para o tempo real nesse projeto. Todos os cálculos relativos à modelagem do motor, leitura dos sensores e atualização dos atuadores foi realizada em uma média 89  $\mu$ s, sendo que o tempo máximo para a realização de todas essas tarefas era de 100  $\mu$ s, o que validou o sistema de controle.

Leccese et al. (2016) desenvolveram um analisador de qualidade de energia de baixo custo com o *Raspberry Pi*. O sistema foi testado em algumas cidades italianas, a fim de averiguar a rede elétrica do país. Os resultados mostraram que o desempenho do sistema proposto é equiparável aos analisadores de energia que já se encontram instalados pelo país e pode se comunicar com eles facilmente. Todos os dados medidos são enviados a um servidor central, o qual pode ser acessado tanto localmente quanto remotamente.

## 4.3 Avaliação da resposta em tempo real do Raspberry Pi

De acordo com Molloy (2016), o *Raspberry Pi* não foi desenvolvido para operações em tempo real ou que requeiram alta precisão. Por exemplo, caso uma

amostra deva ser coletada pelo sistema e nesse instante o *kernel* estiver ocupado com outra tarefa, esta não pode ser interrompida, prejudicando assim a precisão do sistema. Contudo, há *patches* disponibilizados pelas comunidades online do *Raspberry Pi* que modificam o *kernel* do SO *Raspbian*, a fim de lhe dar características preemptivas. Dentre os ambientes citados na Seção 2, tanto o *Preempt RT* quanto *Xenomai* possuem versões disponíveis para o *Raspberry Pi*.

De modo a verificar as características em tempo real do RP3B+, optou-se por instalar o *patch Preempt RT*, uma vez que o seu uso é mais simples do que *Xenomai*, o qual possui uma extensa documentação e comandos próprios. Foram utilizadas as instruções disponibilizadas por Tam (2018) para instalar o *Preempt RT* no RP3B+.

A avaliação da resposta em tempo real do RP3B+ é feita em duas etapas. Na primeira, sua latência é medida, enquanto que na segunda é medido o tempo de processamento de uma rede neural simples.

#### 4.3.1 Medição de Latência

O primeiro teste consiste em medir a latência no RP3B+ no caso de uma interrupção (sinal emitido ao processador pelo hardware ou software sobre um evento que precisa de sua atenção imediata, sendo esta uma tarefa de alta prioridade) em software aconteça. Foram inseridos atrasos aleatórios entre 1 e 1100  $\mu\text{s}$  para averiguar seus efeitos na latência. Quanto as interrupções em hardware, estas foram realizadas ao conectar eletricamente os pinos 15 e 16 da GPIO do RP3B+, sendo o pino 15 o transmissor e o pino 16 o receptor. Os resultados são apresentados na Tabela 1. O RP3B+ foi mantido em operação por uma hora, a fim de avaliar os efeitos do uso contínuo da plataforma nos valores de latência (foram geradas mais de dois milhões de interrupções). O código utilizado para realizar essas medidas foi disponibilizado por Roberts (2018).

	Latência ( $\mu\text{s}$ )		
	Média	Máxima	Mínima
<b>Atrasos de até 50 <math>\mu\text{s}</math></b>	1,07	31	1
<b>Atrasos acima de 50 <math>\mu\text{s}</math></b>	1,12	27	1
<b>Entre pinos</b>	1,15	27	1
Variância ( $\mu\text{s}^2$ )			
<b>Atrasos de até 50 <math>\mu\text{s}</math></b>	1,27		
<b>Atrasos acima de 50 <math>\mu\text{s}</math></b>	1,46		
<b>Entre pinos</b>	1,04		

Tabela 1 – Resultados de latência para o RP3B+

Pela Tabela 1, percebe-se que nenhuma latência foi menor que  $1 \mu\text{s}$ , uma vez que o contador utilizado foi o do próprio RP3B+, cuja resolução é de  $1 \mu\text{s}$ . Nota-se também que a média das medições de latência, tanto em hardware quanto em software, foram em torno de  $1 \mu\text{s}$ . O valor de variância também reflete a alta previsibilidade que o *Preempt RT* causa no RP3B+. Mesmo nos piores casos de latência, ainda assim valores baixos.

#### 4.3.2 Processamento de algoritmos complexos

Outro ponto relevante na performance em tempo real de uma plataforma é quantidade de tempo que é dedicado na execução de um algoritmo. No caso de algoritmos de proteção, este deve realizar todas as operações necessárias entre o tempo de aquisição das amostras de tensão e corrente da rede elétrica. No caso do RP3B+, foi implementada uma rede neural básica, disponibilizado por Winkle (2018), a qual faz a classificação dos dados das flores Iris. Essa rede, após treinada, gera um arquivo *.data*, a qual contem as informações da rede. Ela é formada por quatro neurônios na camada de entrada: comprimento e largura da sépala e comprimento e largura da pétala; uma camada oculta, com quatro neurônios e peso Bias -1, e uma camada de saída com três neurônios. As possíveis saídas dessa rede são: Iris Setosa, Iris Versicolor e Iris Virgínica.

Novamente, o RP3B+ foi mantido em operação por uma hora de modo a registrar as variações no tempo de execução desse algoritmo. A média de tempo de execução dessa rede neural foi de 14 ms, sendo o valor mínimo 12,8 ms e o valor máximo 17,08 ms. O elevado tempo registrado ocorreu devido ao tempo necessário na leitura do arquivo de memória para então executar a rede. Para contornar esse problema, a rede foi programada diretamente em um arquivo *.c* e seu tempo de execução foi novamente medido. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

	Processamento ( $\mu\text{s}$ )		
	Média	Máxima	Mínima
<b>Lendo memória</b>	14323	17088	12820
<b>Sem leitura de memória</b>	104	1150	72
Variância ( $\mu\text{s}^2$ )			
<b>Lendo memória</b>	2,32		
<b>Sem leitura de memória</b>	2,13		

Tabela 2 – Resultados de processamento para o RP3B+

Recomenda-se que Relés digitais de proteção possuam uma taxa de amostragem de 960 amostras por segundo, o que implica em um tempo de execução

para algoritmos de cerca de 1 ms (Santos, s. d.). Com base nos resultados da Tabela 2, não só o tempo de execução atingiu valores aceitáveis como ainda manteve a previsibilidade, devido à baixa variância.

## 5 | CONCLUSÃO

Este artigo apresentou as plataformas em hardware mais utilizadas por pesquisadores na validação de algoritmos de proteção. Embora eficientes, sua utilização requer um alto conhecimento técnico de seu hardware e seu custo de aquisição é geralmente elevado. Com isso, torna-se atrativo investigar outras plataformas mais acessíveis e que possam realizar essa tarefa tão bem quanto às usuais.

Foram apresentadas algumas pesquisas envolvendo o *Raspberry Pi* e suas possíveis aplicações dentro de sistemas de potência. Então, um teste foi realizado para mensurar sua performance em tempo real. Utilizando o *patch Preempt RT*, nota-se que há melhoras na previsibilidade do *Raspberry Pi*, além de baixos valores de latência e rápida reação a interrupções. Ao executar uma rede neural, foi possível manter essa previsibilidade e ainda executar o algoritmo em um tempo aceitável para sistemas de proteção.

Portanto, o *Raspberry Pi* se revela como uma viável plataforma para validação de algoritmos de proteção, com a capacidade de contemplar desde a aquisição de dados, amostragem, até medição e execução de funções básicas de proteção. Seu desempenho ainda pode ser ainda maior utilizando-se de algoritmos otimizados. Outro ponto de melhora seria o uso de um SO ou até um *patch* para tempo real diferentes.

## REFERÊNCIAS

Aqeel, A. **Introduction to Raspberry Pi 3 B+**. The Engineering Projects. 2018. Disponível em: <<https://www.theengineeringprojects.com/2018/07/introduction-to-raspberry-pi-3-b-plus.html>>. Acessado em: 05/05/2019.

Axer, P. et al. **Building timing predictable embedded systems**. ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), v. 13, n. 4, p. 82(1) – 82(37), 2014. Disponível em: <[http://dl.acm.org/ft\\_gateway.cfm?id=2560033&type=pdf](http://dl.acm.org/ft_gateway.cfm?id=2560033&type=pdf)>. Acessado em: 05/05/2019.

Dantas, D.T., Pellini, E.L. and Manassero Junior, G. **Energy and reactive power differential protection hardware-in-the-loop validation for transformer application**. The Journal of Engineering, v. 15, p. 1160 – 1164, 2018. Disponível em: <https://digital-library.theiet.org/deliver/fulltext/joe/2018/15/JOE.2018.0223.pdf;jsessionid=eb19k3luqk22.x-iet-live-01?itemId=/content/journals/10.1049/joe.2018.0223&mimeType=pdf&isFastTrackArticle=> >. Acessado em: 05/05/2019.

Dias, O. F. da R. **Implementação do religamento monopolar adaptativo rápido baseado na assinatura harmônica de tensão no simulador digital em tempo real (RTDS)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp>.

br/handle/REPOSIP/259596>. Acessado em: 05/05/2019.

Feng, X.; Qi, L.; Pan, J. **A novel fault location method and algorithm for DC distribution protection**. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 53, n. 3, p. 1834 – 1840, 2017. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/document/7847317>>. Acessado em: 05/05/2019.

John. A. et al. **Automation of 11 kv substation using raspberry pi**. International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), p. 1 – 5, 2017. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8074264>>. Acessado em: 05/05/2019.

Kuffel, R.; Forsyth, P.; Peters, C. et al. **The Role and Importance of Real Time Digital Simulation in the Development and Testing of Power System Control and Protection Equipment**. IFAC-PapersOnLine, v. 49, n. 27, p. 178 – 182, 2016. Disponível em: < [https://design.ros2.org/articles/realtime\\_background.html](https://design.ros2.org/articles/realtime_background.html)>. Acessado em: 05/05/2019.

Leccese, F. et al. **A new power quality instrument based on raspberry-pi**. Electronics, v. 5, n. 4, p. 64, 2016. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2079-9292/5/4/64/htm>>. Acessado em: 05/05/2019.

Martins, C. A. P. **Desenvolvimento de hardware para aquisição de sinais e processamento de algoritmos de proteção e controle**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 2017. Disponível em: < <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/331452>>. Acessado em: 05/05/2019.

McKenney, P. **A realtime preemption overview**. LWN.net. 2015. Disponível em: < <https://lwn.net/Articles/146861/>>. Acessado em: 05/05/2019.

Mitra, S.; Chattopadhyay, P. **Design and implementation of flexible Numerical Overcurrent Relay on FPGA**. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 104, p. 797 – 806, 2019. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061518307816>>. Acessado em: 05/05/2019.

Molloy, D. **Exploring raspberry pi: interfacing to the real world with embedded linux**. Indianapolis (Ind.): Wiley, 2016.

Monaro, R.M. et al. **Sistema integrado para desenvolvimento e execução em tempo real de algoritmos de proteção de sistemas elétricos**. SBA: controle & automação, v. 23, n. 2, p. 202 – 215, 2012. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ca/v23n2/v23n2a07.pdf>>. Acessado em: 05/05/2019.

Ordoñez, E.D.M.; Penteadó, C.G; Da Silva, A.C.R. **Microcontroladores e FPGAs: aplicações em automação**. Novatec Editora, 2015.

Pellini, E.L. et al. **Custom distribution feeder recloser IED with high impedance protection function**. International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, v. 22, p. 1 – 4, 2013. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/document/6683613>>. Acessado em: 05/05/2019.

Raspberry pi foundation. 2019. **Raspberry pi 3 model b+**. Disponível em: < <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>>. Acessado em: 05/05/2019.

Roberts, T. **Solution: Dedicating one core to a real-time process**. Raspberry pi forums. Disponível em: < <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=228727>>. Acessado em: 05/05/2019.

RTAI - the realtime application interface for Linux. 2018. Disponível em: < <https://www.rtai.org/>>. Acessado em: 05/05/2019.

Santos, F. **4 relés**. Passei direto. [s.d]. Disponível em: < <https://www.passeidireto.com/arquivo/37145472/4-reles/9>>. Acessado em: 05/05/2019.

Tam, H. **Preempt-rt patched kernel 4.9.80 for raspberry pi 2, 3 (include 3b+)**. Github. 2018. Disponível em: <<https://github.com/thanhtam-h/rpi23-4.9.80-rt>>. Acessado em: 05/05/2019.

Xenomai. 2019. Disponível em: <<https://xenomai.org/>>. Acessado em: 05/05/2019.

Walter, J.; Fakhri, M.; Grüttner, K. Hardware-Based Real-Time Simulation on the Raspberry Pi. Workshop on High performance and Real-time Embedded Systems, [S. l.], 2013. Disponível em: <[https://pdfs.semanticscholar.org/52dd/916ea279d21a0d4335f80e181314a975fa70.pdf?\\_ga=2.200705198.1482294817.1567108814-132626642.1531676532](https://pdfs.semanticscholar.org/52dd/916ea279d21a0d4335f80e181314a975fa70.pdf?_ga=2.200705198.1482294817.1567108814-132626642.1531676532)>. Acessado em: 05/05/2019.

Wang, Y.; Dinavahi, V. Real-time digital multi-function protection system on reconfigurable hardware. IET Generation, Transmission & Distribution, v. 10, n. 10, p. 2295 – 2305, 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7503562>>. Acessado em: 05/05/2019.

Winkle, L. V. Simple neural network library in ANSI C. Github. 2018. Disponível em: <<https://github.com/codeplea/genann>>. Acessado em: 05/05/2019.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Abrasômetro 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Adesão 23, 31, 32

Ajuste automático 72, 190

Algoritmo genético 36, 37, 42, 47, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 80, 81

Aprendizado de máquina 12

Aprendizagem de máquinas 58, 176

Arquitetura paralela 83, 84

Autoleitura 11, 12, 13, 14, 21

Automação 49, 51, 53, 56, 59, 60, 81, 95, 109, 124, 133, 135, 137, 151, 153, 157, 161, 170, 187, 198

Avaliação experimental 96, 109

### B

Barreiras 23, 32, 33

### C

Calorímetro de alta pressão 96

Casas inteligentes 23, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33

Consumo de energia 12, 13, 14

Controlador fuzzy 135, 142, 143, 145, 146

Controlador PI 1, 99, 124, 131

Controlador PID 72, 74, 75, 79, 81

Controle de processos 135, 136

Controle híbrido 95, 97, 99, 102, 105, 107, 108

Controle PID 74, 78, 83

### E

Energia eólica 1, 2, 4

Erro de quantização 124, 125, 126, 127, 133, 134

Estabilidade transitória 36

### F

Fuzzy 58, 59, 61, 63, 69, 70, 123, 135, 136, 138, 142, 143, 144, 145, 146, 159, 160, 170, 171, 187, 188, 194, 198, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 216, 222, 223, 225, 239

### G

Gás natural 58, 59, 69, 70

### H

HOG 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

## I

Identificação de sistemas 36, 38, 39, 47, 48, 116, 124, 128, 134, 209

## L

Ladder 135, 136, 144, 145

Lógica fuzzy 59, 61, 63, 135, 138, 170, 207

LSS 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

## M

Máquinas de ensaio 49, 51

Modelagem de carga 36, 37, 38, 39, 46

Modelos matemáticos 1, 3, 10, 38, 39, 128, 135

## P

Países desenvolvidos 23, 24, 26, 28, 29

Países emergentes 23, 27, 28, 29, 31

Processamento de imagens 12, 21

Protótipo 73, 79, 82, 83, 84, 86, 93, 148, 149, 150, 167, 168, 189, 196

## R

Reconhecimento 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 110, 112, 113, 123, 174, 176, 179, 203, 204, 210

Refrigeração com dióxido de carbono 96

Robô delta 83, 93, 94

## S

Servomecanismo 124, 125, 126, 127, 128, 131, 132, 133, 134

Sistema de posicionamento 83

Supervisor 52, 54, 55, 82, 85, 88, 135, 145

Svm 12, 14, 17, 19, 21, 22

## T

Tomada de decisão inteligente 58

Turbina eólica 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10

## V

Válvulas automáticas industriais 95, 96

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**