



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 di 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

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

CAPÍTULO 1	1
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023031	
CAPÍTULO 2	11
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 Aristófanés Correa Silva Eliana Márcia Garros Monteiro Italo Fernandes Serra da Silva Marcia Izabel Alves da Silva José Messias dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.6522023032	
CAPÍTULO 3	23
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023033	
CAPÍTULO 4	36
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM GERAÇÃO, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Igor Ferreira Visconti	
DOI 10.22533/at.ed.6522023034	
CAPÍTULO 5	49
INSTRUMENTAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM ABRASÔMETRO TIPO RODA DE BORRACHA	
Périson Pavei Uggioni André Roberto de Sousa Anderson Daleffe Diego Tiburcio Fabre	
DOI 10.22533/at.ed.6522023035	

CAPÍTULO 6	58
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO FUZZY E ALGORITMOS DE APRENDIZADO PARA SEQUÊNCIA DE PARTIDA DE PLANTAS INDUSTRIAIS	
André da Silva Barcelos Fábio Muniz Mazzone	
DOI 10.22533/at.ed.6522023036	
CAPÍTULO 7	72
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023037	
CAPÍTULO 8	82
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023038	
CAPÍTULO 9	95
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	
DOI 10.22533/at.ed.6522023039	
CAPÍTULO 10	110
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	
DOI 10.22533/at.ed.65220230310	
CAPÍTULO 11	124
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

CAPÍTULO 18	209
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	
DOI 10.22533/at.ed.65220230318	
CAPÍTULO 19	224
CONSTRUÇÃO, DESIGN DE CONTROLE E CONTROLE DE TRAJETÓRIA POR BLUETOOTH DE UM ROBÔ AUTO EQUILIBRANTE	
Giulio Cesare Mastrocinque Santo Claudio Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.65220230319	
SOBRE OS ORGANIZADORES	240
ÍNDICE REMISSIVO	241

RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MEDIDORES DE ENERGIA NO CONTEXTO DE UM APLICATIVO DE AUTOLEITURA

Data de aceite: 17/03/2020

Arthur Costa Serra

Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São
Luís, MA, Brasil
E-mail: arthursrr@nca.ufma.br

João Vitor Ferreira França

Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São
Luís, MA, Brasil
E-mail: jvitorfranca@nca.ufma.br

Ricardo Costa da Silva Marques

Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São
Luís, MA, Brasil
E-mail: ricardo.marques@nca.ufma.br

Wesley Kelson Ribeiro Figueredo

Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São
Luís, MA, Brasil
E-mail: wesley.kelson@nca.ufma.br

Artur Bernardo Silva Reis

Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São
Luís, MA, Brasil
E-mail: arthurberna@nca.ufma.br

Italo Francyles Santos da Silva

Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São

Luís, MA, Brasil

E-mail: francyles@nca.ufma.br

Simara Vieira da Rocha

Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São
Luís, MA, Brasil
E-mail: simara.rocha@nca.ufma.br

Aristófanés Correa Silva

Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São
Luís, MA, Brasil
E-mail: ari@nca.ufma.br

Eliana Márcia Garros Monteiro

Equatorial Energia - São Luís, MA, Brasil
E-mail: eliana.monteiro@cemar-ma.com.br

Italo Fernandes Serra da Silva

Equatorial Energia - São Luís, MA, Brasil
E-mail: italo.silva@cemar-ma.com.br

Marcia Izabel Alves da Silva

Equatorial Energia - São Luís, MA, Brasil
E-mail: marcia.silva@cemar-ma.com.br

José Messias dos Santos

Equatorial Energia - São Luís, MA, Brasil
E-mail: jose.messias@cemar-ma.com.br

* Este trabalho contou com o apoio do projeto Autoleitura, nanciado pelo grupo Equatorial Energia, no âmbito do Programa de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) No PD-00037-0032/2018.

RESUMO: Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), perdas não-técnicas

são aquelas relacionadas a furtos de energia e impedimento de acesso às unidades consumidoras. Uma alternativa viável e de menor custo para a redução dessas falhas seria a leitura realizada pelo próprio consumidor, denominada de autoleitura. Esse processo engloba o uso de plataformas digitais, por meio das quais o consumidor registraria e enviaria as informações de consumo. Uma etapa primordial desse processo é o reconhecimento automático de dígitos em medidores por meio de imagens. Este trabalho propõe um método computacional para a realização dessa tarefa. São utilizados os descritores de característica Histogram of Oriented Gradients (HOG) e Local Self-similarity (LSS) de forma combinada e o classificador Máquina de Vetores de Suporte (SVM). O método alcança acurácia de 97,90% e 96,72%, respectivamente, para o reconhecimento de dígitos em medidores digitais e analógicos.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo de Energia, Autoleitura, Reconhecimento, Processamento de imagens, Aprendizado de Máquina, HOG, LSS, SVM.

ABSTRACT: According to Brazilian Electricity Regulatory Agency (ANEEL), non-technical losses are those related to energy theft and access impediment to consumer units. A feasible and low cost alternative for reducing these failures would be the reading done by customers which is called self-reading. This process includes the use of digital platforms and the customer would register and send consumption information. A primordial step of this process is the digits automatic recognition in energy meters through images. This work proposes a computational method to perform this task. Histogram of Oriented Gradients (HOG) and Local Self-similarity (LSS) descriptors are combined and used with Support Vector Machine (SVM) classifier. The proposed method obtains accuracy of 97.90% and 96.72% respectively for digits recognition in digital and analogical energy meters.

KEYWORDS: Energy Consumption, Self-reading, Recognition, Image Processing, Machine Learning, HOG, LSS, SVM

1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, o consumo de energia elétrica tem crescido bastante nos últimos anos. De acordo com estudos realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo nacional de energia elétrica atingiu, em 2018, cerca de 472.200 GWh (*gigawatts*). O consumo residencial corresponde a 28% deste valor (ANEEL, 2019). Isso é justificado, por exemplo, pelo aumento no número de domicílios que passará de 75 milhões em 2020 segundo previsões (Vidinich and Nery, 2009).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aponta que podem ocorrer perdas técnicas e não-técnicas no processo de distribuição de energia (ANEEL, 2019). As perdas técnicas relacionam-se à quantidade de energia elétrica dissipada entre os suprimentos de energia da distribuidora e os pontos de entrega (unidades consumidoras ou distribuidoras supridas). As perdas não associadas com as

situações descritas, anteriormente, são chamadas de não-técnicas. Furtos de energia, impedimento de acesso às unidades consumidoras e erros de medição e de processamento de faturamento são exemplos desse tipo de perda.

Em geral, as perdas não-técnicas são descobertas durante o processos de leitura e fiscalização do consumo de energia. A Companhia Energética do Maranhão (CEMAR) e as Centrais Elétricas do Pará S.A (CELPA) utilizam um dispositivo móvel e uma impressora portátil para coletar as informações de consumo e imprimir a fatura dos clientes. Para isso, o leiturista precisa informar manualmente o consumo tal qual é mostrado no registro de energia, o que faz esse processo suscetível a erros, gerando, portanto, inconsistências no faturamento mensal.

Uma alternativa para evitar erros seria a utilização de medidores inteligentes, mas este equipamento tem um custo elevado e a troca de todo o parque de equipamentos de medição (incluindo medidores analógicos e digitais) por esta tecnologia seria uma solução a longo prazo. Outra alternativa viável e de menor custo, seria a leitura realizada pelo próprio consumidor, denominada de autoleitura. Este processo engloba o uso de plataformas digitais, como *sites* ou aplicativo desenvolvido para dispositivo móvel, por onde o consumidor registraria e enviaria as informações de consumo.

Existem várias vantagens no processo de autoleitura. Pode-se destacar um estreitamento na relação de confiança entre companhias e consumidores, bem como a diminuição dos custos das companhias e a redução dos erros de leituras, principalmente em áreas rurais ou de difícil acesso.

A autoleitura também promove ao consumidor um maior controle sobre o seu consumo de energia. Uma vez obtido o valor do consumo, a companhia pode emitir a fatura ou fazer uma simulação da mesma, garantindo agilidade no processo de pagamento da fatura.

Nesse cenário, métodos computacionais capazes de realizar, automaticamente, a leitura do consumo de energia das unidades consumidoras por meio de análise de imagem podem auxiliar na aferição do consumo, facilitando e agilizando esse processo, tornando-o menos passível de erros.

Um método computacional de autoleitura por meio de imagem se dá, primeiramente, com a captura da fotografia do display do medidor. Em seguida, cada dígito é segmentado e, por fim, identificados para fins de geração de fatura. Baseando-se nessa proposta, este trabalho apresenta, portanto, um método para o reconhecimento de dígitos em imagens dos medidores de energia utilizados pelas companhias CEMAR e CELPA, visando contribuir com mais eficiência ao processo de leitura e também com a diminuição de perdas relacionadas ao faturamento.

O método utiliza técnicas de processamento de imagem e inteligência computacional para a extração de características e o reconhecimento dos dígitos

tanto em medidores analógicos quanto em digitais, sendo parte integrante de uma aplicação, em desenvolvimento, para a implantação do processo de autoleitura.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta trabalhos relacionados a este; a Seção 3 mostra o conjunto de imagens utilizado; a Seção 4 explica o método proposto; a Seção 5 discute os resultados obtidos por este estudo; e, a Seção 6 apresenta as conclusões.

2 | TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura, existem alguns trabalhos com propostas para a realização automática da leitura do consumo de unidades consumidoras de energia elétrica baseado em imagens. Parthiban and Palanisamy (2013) utilizam cada pixel da imagem do dígito como entrada para uma rede neural artificial responsável pelo reconhecimento. Zhang et al. (2016) apresenta uma proposta de localização e segmentação dos dígitos utilizando detecção de borda, componentes conectados, e morfologia matemática.

Quintanilha et al. (2017) propõem o reconhecimento baseado em características extraídas com *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) em conjunto com o classificador Máquina de Vetores de Suporte (SVM). Os autores realizam experimentos com medidores analógicos obtendo acurácia de 79,52%.

Em nosso trabalho, propomos uma evolução do trabalho de Quintanilha et al. (2017), pois, abordamos o reconhecimento de dígitos não somente em medidores analógicos, como também em medidores digitais, utilizando a combinação de características extraídas via HOG e *Local Self-Similarity* (LSS).

3 | BASE DE IMAGENS

As companhias CEMAR e CELPA utilizam medidores analógicos e digitais para aferir o consumo de energia dos clientes. Exemplos desses medidores podem ser visualizados na Figura 1. No geral, esses dispositivos encontram-se dentro de uma caixa protetora com uma parte transparente para que o leitor possa conferir os dígitos no *display* e realizar a leitura de consumo.

As imagens de medidores foram adquiridas sob condições irrestritas de iluminação e orientação, simulando o processo de autoleitura. É importante ressaltar que, eventualmente, a caixa protetora do medidor pode conter avarias pela ação de agentes externos. Isso pode dificultar a visualização dos dígitos. Não obstante, imagens com essas características não foram descartadas.

A base de dados utilizada neste trabalho contém imagens dos dígitos de 0 a 9, separados entre os tipos digital e analógico. Os dígitos foram recortados

manualmente das imagens de *displays*, cuja segmentação também se deu de forma manual a partir das imagens dos medidores. A Figura 2 mostra exemplos de dígitos de medidores digitais. Este conjunto contém 10.613 imagens.

A Figura 3 apresenta exemplos de dígitos observados em medidores analógicos. A CEMAR e a CELPA utilizam 7 modelos diferentes de medidores analógicos, e isso garante bastante variabilidade para a base de imagens. Os dígitos de cada modelo de medidor têm características diferentes entre si. Sendo assim, a base de dígitos analógicos foi organizada, primeiramente, baseada nas fontes dos dígitos e, em seguida, pelas classes de números. Este conjunto possui 18.139 imagens divididos de acordo como apresentado pela Tabela 1.

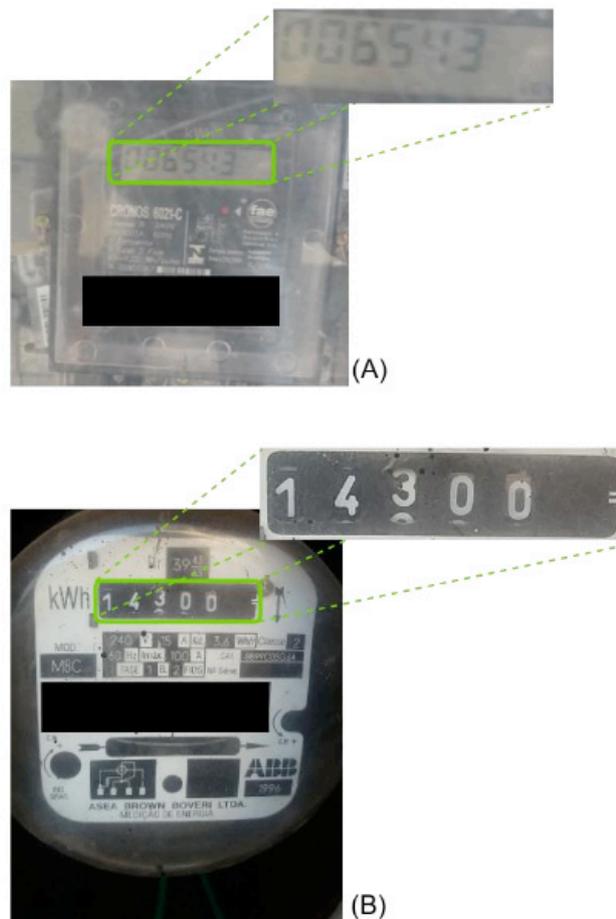


Figura 1. Exemplos de modelos de medidores digital (A) e analógico (B) utilizados pelas companhias.



Figura 2. Exemplos de dígitos oriundos de medidores digitais.



Figura 3. Exemplos de dígitos oriundos de medidores analógicos das classe C1 a C7.

Medidores	Total
Classe 1	2410
Classe 2	3149
Classe 3	4455
Classe 4	3804
Classe 5	622
Classe 6	2955
Classe 7	744

Tabela 1. Quantidade de dígitos analógicos por tipo de medidor.

4 | MÉTODO PROPOSTO

Este trabalho tem como objetivo o reconhecimento de dígitos em medidores digitais e analógicos. Assim sendo, a proposta apresentada insere-se em um *pipeline* como um passo posterior às etapas de detecção do *display* e de segmentação dos dígitos.

O método proposto para o reconhecimento de dígitos é composto pela sequência de etapas ilustradas pela Figura 4.

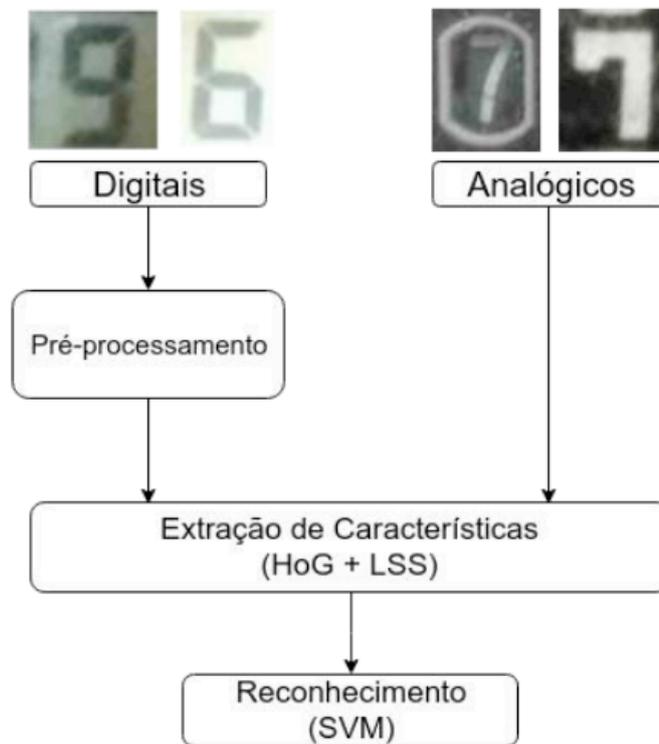


Figura 4. Etapas do Método Proposto.

As imagens dos dígitos previamente segmentadas são a entrada para o método. Os dígitos provenientes de medidores digitais passam por um pré-processamento. Aqueles oriundos de medidores analógicos, não. Em seguida, as imagens são passadas para a etapa de extração de característica e estas, por fim, para o classificador SVM, o qual realizará o reconhecimento.

Fatores externos, como iluminação, impactam diretamente o *display* em medidores digitais e têm menor efeito nas imagens de dígitos de medidores analógicos. Portanto, optou-se por aplicar o pré-processamento somente para aquele tipo de imagens. Nas seções seguintes serão explicadas as fases do método proposto.

4.1 Pré-processamento

No momento da captura, fatores externos, como a iluminação, podem interferir diretamente na qualidade da imagem adquirida dos dígitos em medidores digitais, resultando, principalmente, em problemas de contraste.

Dadas essas condições, faz-se necessário aplicar técnicas de pré-processamento a fim de melhorar as imagens, favorecendo uma melhor extração das características. Para o método proposto, foi aplicado o melhoramento por otimização de contraste baseada em fusão variacional (VFGLE).

A otimização de contraste baseada em fusão variacional (VFGLE) foi proposta por Tian and Cohen (2018) para melhorar imagens com iluminação não-uniforme de forma adaptativa. Realiza-se melhoramento global e local, os quais são combinados

via otimização de contraste e correção de cores, resultando em imagens com níveis de cores mais balanceados. A Figura 5 ilustra resultados da aplicação das técnicas supracitadas em imagens de dígitos provenientes de medidores digitais.

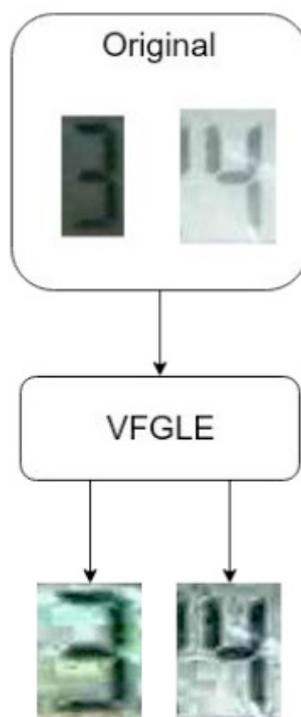


Figura 5. Aplicação da técnica VFGLE para o melhoramento de contraste.

4.2 Extração de Características

Para a extração de características, faz-se uso as técnicas *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) e *Local Self-Similarity* (LSS).

Características de objetos como forma e aparência locais podem ser bem representadas pelas suas bordas e também pela distribuição das intensidades dos gradientes. O HOG (Dalal and Triggs, 2005) é uma técnica que consegue capturar características locais a despeito de ruídos provenientes da textura, extraindo gradientes e direções de bordas (Yao et al., 2015). Para tornar a extração de características invariante ao tamanho das imagens, o conjunto de células, blocos, ângulos e demais parâmetros do HOG devem ser constantes para cada região extraída (Quintanilha et al., 2017).

O LSS (Shechtman and Irani, 2007) é um descritor local que pode ser utilizado de forma global. Captura a similaridade entre cores, arestas, padrões repetitivos e texturas complexas de uma forma unificada. A imagem é segmentada em vários *patches* de um dado tamanho. Esses *patches* são comparados com seus blocos vizinhos em uma área abrangente de determinado tamanho centrada em um ponto q . Com isso, é calculada a soma do quadrado das diferenças (SQD) entre os *patches*. O SQD é normalizado e transformado em uma área de correlação. O resultado é normalizado e projetado em um espaço de intervalos particionados pelo número de

intervalo de ângulo e intervalo radial. Por fim, o valor máximo no intervalo de espaço é considerado o valor da característica.

O processo de seleção de características também é abordado neste trabalho a fim de obter um conjunto de atributos menor e mais representativo para as instâncias. Nesta etapa, utiliza-se o algoritmo *BestFirst* (Hall et al., 2009). Este seletor utiliza uma estratégia gulosa para buscar a melhor combinação de atributos dentro do espaço de características.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados dois experimentos, um utilizando as imagens de dígitos de medidores analógicos e outro com os de medidores digitais. Em cada experimento, foram feitos testes com e sem seleção de características a fim de verificar qual desses produziria os melhores resultados.

A combinação dos descritores HOG e LSS gerou instâncias com 5825 características para ambos os tipos de dígitos. O descritor HOG foi configurado com os seguintes parâmetros: número de blocos igual a 4, sendo 8 células por bloco com sobreposição igual a 1; e número de direções no histograma igual a 24. Para o LSS, foram utilizados: o tamanho dos *patches* (5px), o raio para os blocos (40), o número de intervalos radiais dos *patches* da imagem (3) e o intervalo de ângulos (12). É importante ressaltar que os parâmetros foram definidos empiricamente para ambos os descritores.

As instâncias são submetidas ao classificador SVM (Cortesand Vapnik, 1995) utilizando-se o método de validação cruzada *k-fold* ($k=10$). Reitera-se que os experimentos foram realizados com cada conjunto de imagens (digital e analógico) separadamente. Logo, foram gerados dois modelos de inferência, um para cada tipo de dígito.

Os experimentos com SVM foram executados com o auxílio da biblioteca Scikit-Learn *scikit-learn* implementada em linguagem Python¹. Foram realizados testes com e sem seleção de características. Nestes experimentos, a utilização do seletor *BestFirst* deu-se com o auxílio da ferramenta WEKA (Hall et al., 2009).

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos de acurácia para o reconhecimento de dígitos de medidores analógicos. Observa-se que os testes com e sem seleção de características alcançaram acurácia média de 96,30% e 96,72%, respectivamente. A etapa de seleção reduziu o conjunto para 200 características.

Medidores	HOG+LSS	HOG+LSS com Seleção
Classe 1	91,50%	92,50%

1 <https://www.python.org/>.

Classe 2	97,00%	96,90%
Classe 3	98,20%	97,80%
Classe 4	96,80%	96,50%
Classe 5	95,30%	97,50%
Classe 6	98,20%	98,10%
Classe 7	97,20%	97,80%
Média	96,30% ± 2,32	96,72% ± 1,94

Tabela 2. Resultados do método proposto para dígitos de medidores analógicos separados por tipo de medidor.

Observa-se que o teste com seleção de características apresentou o melhor valor de acurácia e também um desvio padrão menor, entre as classes de medidor em comparação com o experimento sem a etapa de seleção. Isso indica um reconhecimento mais equilibrado entre os tipos de medidores analógicos não obstante a variabilidade entre as fontes dos dígitos.

Quanto aos experimentos realizados com os dígitos de medidores digitais, foram feitos testes sem melhoramento e com a abordagem VFGLE. Os resultados podem ser vistos na Tabela 3.

	HOG+LSS	HOG+LSS com Seleção
Sem pré-processamento	97,80%	97,10%
VFGLE	97,90%	97,60%

Tabela 3. Resultados do método proposto para dígitos de medidores digitais..

O reconhecimento de dígitos de medidores digitais apresentou melhor resultado quando foi aplicada a técnica de VFGLE como melhoramento de imagem, obtendo acurácias de 97,60% e 97,90%, respectivamente, para os experimentos com e sem seleção de características. A etapa de seleção reduziu o conjunto para 300 características. Em contraste aos experimentos com dígitos de medidores analógicos, observa-se na Tabela 3, que o experimento apresentou melhores resultados com o conjunto original de características.

Ressalta-se, também, que há pouca diferença percentual entre os resultados alcançados pelas abordagens sem pré-processamento e com VFGLE. Baseado nisso, considera-se que optar por não executar a etapa de pré-processamento é algo viável, a fim de diminuir possíveis custos computacionais para a realização da tarefa sem comprometer, abruptamente, o resultado esperado.

Por fim, como citado na Seção 2, este trabalho apresenta-se como uma evolução do trabalho desenvolvido por (Quintanilha et al.,2017). . A Tabela 4 mostra a comparação dos resultados de acurácia obtidos por esses trabalhos.

	Med. Analógicos	Med. Digitais
Quintanilha et al., (2017)	97,80%	97,10%
Método Proposto	97,90%	97,60%

Tabela 4. Comparação com trabalhos relacionados

6 | CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou um método para o reconhecimento de dígitos em medidores digitais e analógicos utilizando processamento de imagens e inteligência computacional. O trabalho propôs a utilização combinadas dos descritores HOG e LSS para a extração de características das imagens dos dígitos. O método também utiliza o classificador SVM para a etapa de reconhecimento.

O método apresenta acurácias de 97,90% e de 96,72%, respectivamente, para o dígitos de medidores digitais e analógicos. Portanto, considerados como resultados bastante promissores para a aplicação ao qual este trabalho será integrado.

Como trabalho futuro, cita-se as tarefas de localização dos *displays* nos medidores e de segmentação de dígitos. Além da incorporação do método proposto neste trabalho em uma aplicação de autoleitura para dispositivos móveis. Por fim, busca-se investigar também uma solução que utilize de técnicas de aprendizado profundo, como Redes Neurais Convolucionais (CNNs).

REFERÊNCIAS

ANEEL (2019). Energia no brasil e no mundo. URL http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf.

Cortes, C. and Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273–297.

Dalal, N. and Triggs, B. (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. In *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*, volume 1, 886–893 vol. 1. doi: 10.1109/CVPR.2005.177.

Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., and Witten, I.H. (2009). The weka data mining software: An update. *SIGKDD Explor. Newsl.*, 11(1), 10–18. doi:10.1145/1656274.1656278. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1656274.1656278>.

Parthiban, K. and Palanisamy, A. (2013). Reading values in electrical meter using image processing techniques. In *Intelligent Interactive Systems and Assistive Technologies (IISAT), 2013 International Conference on*, 1–7. IEEE.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., and Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.

Quintanilha, D.B.P., Costa, R.W.S., Diniz, J.O.B., de Almeida, J.D.S., Braz, G., Silva, A.C., de Paiva,

A.C., Monteiro, E.M., Froz, B.R., Piheiro, L.P.A., and Melho, W. (2017). Automatic consumption reading on electromechanical meters using hog and svm. In *7th Latin American Conference on Networked and Electronic Media (LACNEM 2017)*, 57–61. doi:10.1049/ic.2017.0036.

Shechtman, E. and Irani, M. (2007). Matching local self-similarities across images and videos. In *2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1–8. doi:10.1109/CVPR.2007.383198.

Tian, Q.C. and Cohen, L.D. (2018). A variational-based fusion model for non-uniform illumination image enhancement via contrast optimization and color correction. *Signal Processing*, 153, 210 – 220. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2018.07.022>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168418302548>.

Vidinich, R. and Nery, G. (2009). Pesquisa e desenvolvimento contra o furto de energia. *Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL–P&D*, 15.

Yao, S., Pan, S., Wang, T., Zheng, C., Shen, W., and Chong, Y. (2015). A new pedestrian detection method based on combined hog and lss features. *Neurocomputing*, 151, 1006 – 1014. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.08.080>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231214013393>.

Zhang, Y., Yang, S., Su, X., Shi, E., and Zhang, H. (2016). Automatic reading of domestic electric meter: an intelligent device based on image processing and zigbee/ethernet communication. *Journal of Real-Time Image Processing*, 12(1), 133–143.

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