

Lilian Coelho de Freitas  
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica  
e de Computação:  
Atividades Relacionadas com  
o Setor Científico e Tecnológico**

**3**

Lilian Coelho de Freitas  
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica  
e de Computação:  
Atividades Relacionadas com  
o Setor Científico e Tecnológico**

**3**

**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

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

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

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

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa 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. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

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

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª 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  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília

Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. 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/UFGA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário:** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Vanessa Mottin de Oliveira Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Lilian Coelho de Freitas

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E57 Engenharia elétrica e de computação: atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 3 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-460-3

DOI 10.22533/at.ed.603200610

1. Engenharia elétrica. 2. Computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A Atena Editora apresenta o *e-book* “*Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico 3*”. O objetivo desta obra é mostrar aplicações tecnológicas da Engenharia Elétrica e de Computação na resolução de problemas práticos, com o intuito de facilitar a difusão do conhecimento científico produzido em várias instituições de ensino e pesquisa do país.

O *e-book* está organizado em dois volumes que abordam de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas e relatos de casos que transitam nos vários caminhos da Engenharia Elétrica e de Computação.

O Volume III tem como foco aplicações e estudos de atividades relacionadas à Computação, abordando temas variados do *hardware* ao *software*, tais como automação e robótica, arquitetura de redes, Internet, computação em névoa, modelagem e simulação de sistemas, entre outros.

O Volume IV concentra atividades relacionadas ao setor elétrico e eletrônico, abordando trabalhos voltados para melhoria de processos, análise de desempenho de sistemas, aplicações na área da saúde, entre outros.

Desse modo, temas diversos e interessantes são apresentados e discutidos, de forma concisa e didática, tendo como base uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos obtidos por professores e acadêmicos.

Boa leitura!

Lilian Coelho de Freitas

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

A AVALIAÇÃO PELOS ALUNOS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DA APRENDIZAGEM DE ENGENHARIA DE SOFTWARE UTILIZANDO GAME DIGITAL

Antônio Carlos Pereira dos Santos Junior

**DOI 10.22533/at.ed.6032006101**

### **CAPÍTULO 2..... 15**

SD-FANET: UMA ARQUITETURA PARA REDES AD HOC AÉREAS DEFINIDAS POR SOFTWARE

Diego da Silva Pereira

Luís Bruno Pereira do Nascimento

Vitor Gaboardi dos Santos

Daniel Henrique Silva Fernandes

Pablo Javier Alsina

**DOI 10.22533/at.ed.6032006102**

### **CAPÍTULO 3..... 28**

UMA PESQUISA SOBRE OS MOTIVOS PARA A NÃO INSERÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL GNU/LINUX NOS COMPUTADORES PESSOAIS DOS ESTUDANTES DE GRADUAÇÃO

Elaine Alves da Rocha Pires

Andressa Pires Marassi

**DOI 10.22533/at.ed.6032006103**

### **CAPÍTULO 4..... 33**

SUBMARINE CABLES, GLOBAL CONNECTIVITY AND HUMAN RIGHTS: THE INVISIBLE BORDERS OF THE INTERNET

Félix Blanc

Florence Poznanski

**DOI 10.22533/at.ed.6032006104**

### **CAPÍTULO 5..... 49**

DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS DAS ESTAÇÕES MÓVEIS PARA APLICAÇÃO AO SISTEMA TELEMÉTRICO RAILBEE

Steffano Xavier Pereira

Rômulo César Carvalho de Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.6032006105**

### **CAPÍTULO 6..... 63**

DESENVOLVIMENTO DE UMA EMPILHADEIRA ROBÓTICA AUTÔNOMA EM MINIATURA

Letícia Pedroso Colombo

Gabriel Carvalho Domingos da Conceição

Lucas Mota Ferreira

Elias José Rezende de Freitas

**DOI 10.22533/at.ed.6032006106**

**CAPÍTULO 7..... 76**

**PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO AMOSTRADOR ROBÓTICO DE GRÃOS, CONTROLADO POR UM SISTEMA SUPERVISÓRIO, E DESTINADO À UNIDADES ARMAZENADORAS DE GRÃOS**

Natália Corrêa de Sousa  
Guilherme Augusto Nobre Aleixo  
Lúcio Rogério Júnior  
Antônio Manoel Batista da Silva  
Marcelo Costa Dias

**DOI 10.22533/at.ed.6032006107**

**CAPÍTULO 8..... 90**

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO SISTEMA DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA APLICADAS A REDES INTELIGENTES**

Thayza Marcela Van Der Laan Melo  
Cláudio de Oliveira  
Josué Eduardo da Silva Montalvão  
Nayr Lara Tenório de Mello Albino

**DOI 10.22533/at.ed.6032006108**

**CAPÍTULO 9..... 104**

**MÉTODO DE ALTO DESEMPENHO COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS DE IMPACTO HARMÔNICO DE NOVOS ACESSANTES À REDE BÁSICA**

Sergio Luis Varricchio  
Cristiano de Oliveira Costa  
Franklin Clement Véliz

**DOI 10.22533/at.ed.6032006109**

**CAPÍTULO 10.....114**

**MONITORAMENTO DE PAINEL FOTOVOLTAICO ATRAVÉS DE COMPUTAÇÃO EM NÉVOA INTEGRADO À REDE GSM**

Winderson Eugenio dos Santos  
Maurizio Petruzielo  
Sidnei Avelino da Silva Junior  
Diego Luiz Ornelas Rampim

**DOI 10.22533/at.ed.60320061010**

**CAPÍTULO 11..... 127**

**H<sub>∞</sub> MIXED SENSITIVITY CONTROL OF A SERVOMOTOR USING ARDUINO**

Caio Igor Gonçalves Chinelato

**DOI 10.22533/at.ed.60320061011**

**CAPÍTULO 12..... 138**

**ETCC ASSOCIADA À REALIDADE VIRTUAL COMO TRATAMENTO PARA DEPRESSÃO**

Amanda Segura da Silva  
Arthur Santos Rosa  
Karolina Antunes Berna

Kauane Roberta Miranda de Sousa  
Thays Ketlen Souza Mateus  
José Wanderson Oliveira Silva

**DOI 10.22533/at.ed.60320061012**

**CAPÍTULO 13..... 151**

**ANÁLISE DE ESTIMADORES RECURSIVOS APLICADOS NO CÁLCULO DE COEFICIENTES LPC DE SINAIS DE VOZ COM PATOLOGIAS LARÍNGEAS**

Lucas Cardoso Dias  
Suzete Élide Nóbrega Correia  
Silvana Luciene do Nascimento Cunha Costa

**DOI 10.22533/at.ed.60320061013**

**CAPÍTULO 14..... 159**

**APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA *WAVELET* NA FILTRAGEM DE DADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE UMA PLANTA DE NEUTRALIZAÇÃO DE PH**

Rogério Solda  
Fernando Fernandes Neto  
Claudio Garcia

**DOI 10.22533/at.ed.60320061014**

**CAPÍTULO 15..... 171**

**ESTROBOSCÓPIO DE BAIXO CUSTO PARA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS E TORQUE DE UMA MÁQUINA ROTATIVA**

Adjeferson Custódio Gomes  
David Lopes Pires  
Hugo Spittel da Gama  
Ítalo Medeiros Pereira  
Luís Ricardo Cândido Cortes  
Matheus Garcia Soares  
Thiago Cardoso dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.60320061015**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 184**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 185**

## APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA WAVELET NA FILTRAGEM DE DADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE UMA PLANTA DE NEUTRALIZAÇÃO DE PH

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

### Rogério Solda

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo, SP  
<http://lattes.cnpq.br/4363263743201996>

### Fernando Fernandes Neto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo, SP  
<http://lattes.cnpq.br/1377547193976423>

### Claudio Garcia

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo, SP  
<http://lattes.cnpq.br/8932945805678640>

**RESUMO:** Neste trabalho se estudam técnicas de filtragem de sinais, visando preparar os dados coletados do processo para a identificação. Utilizam-se dados de uma planta de neutralização de pH e se aplicam filtros FIR e IIR e filtros usando Transformada *Wavelet*. Na identificação utilizam-se as estruturas ARMAX, ARX e OE para a análise comparativa entre as diferentes técnicas de filtragem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filtro FIR; Filtro IIR; Identificação de Sistemas; Transformada *Wavelet*.

### APPLICATION OF WAVELET TRANSFORM IN FILTERING DATA TO IDENTIFY A PH NEUTRALIZATION PLANT

**ABSTRACT:** In this work, signal filtering techniques are studied, aiming to prepare the data collected from the process for identification. Data from a pH neutralization plant are used and FIR and IIR filters and filters using *Wavelet* Transform are applied. The identification uses ARMAX, ARX and OE structures for comparative analysis between different filtering techniques.

**KEYWORDS:** FIR filter; IIR filter; Systems Identification; *Wavelet* Transform.

## 1 | INTRODUÇÃO

Ao desenvolver projetos de controle de alto desempenho é importante obter modelos que descrevam bem o processo ou que se aproximem de seu comportamento dinâmico e que sejam de fácil implantação. Neste contexto, a precisão e acurácia do modelo obtido influem diretamente na qualidade do controlador projetado com base nesse modelo. A modelagem de uma planta pode ser obtida a partir de dados experimentais, esta técnica é conhecida como Identificação de Sistemas e visa reproduzir seu comportamento em torno de um determinado ponto de operação, possibilitando ao sistema trabalhar mais próximo do seu ponto de rendimento ótimo (AGUIRRE, 2015). Embora esta seja uma ferramenta valiosa, ainda é difícil obter modelos confiáveis e robustos, que

possam ser aplicados em situações reais complexas, como é o caso de processos industriais. Neste sentido, diversos estudos focaram no pré-processamento de sinais antes da etapa de identificação propriamente dita, visando gerar modelos mais confiáveis (ALVARADO, 2013). Neste trabalho são aplicadas técnicas de filtragem de sinais para identificar uma planta piloto de neutralização de pH, que consiste na alteração do pH do fluido de entrada pela adição de uma base até chegar ao pH desejado. As variáveis estimadas neste estudo são: nível e pH no reator de neutralização. O sinal de entrada da malha de pH é enviado a uma bomba dosadora, que manipula a vazão de base e o sinal de entrada da malha de nível é enviado a uma válvula solenoide na saída do tanque reator (ALVARADO, 2013).

Em relação à malha de pH o processo tem comportamento não-linear e linear em relação à malha de nível, além disso, ambas as malhas apresentam ruídos de medição e tempo morto.

## 2 I APRESENTAÇÃO DOS FILTROS USADOS

### 2.1 Filtros IIR e FIR

Os filtros de resposta ao impulso são os mais usados em processamento digital de sinais, com resposta de duração finita ao impulso (FIR do Inglês *Finite Impulse Response*) e filtros de resposta infinita ao impulso (IIR do Inglês *Infinite Impulse Response*) (CHEN, 2009) e (CLOSE; FREDERICK; NEWELL, 2001)

Os filtros FIR são não-recursivos e têm função de transferência dada por:

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} b(k)z^{-k} \quad (1)$$

onde  $b$  representa os coeficientes do filtro.

Os filtros FIR são recursivos e tem função de transferência dada por:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b(k)z^{-k}}{\sum_{k=1}^N a(k)z^{-k}} \quad (2)$$

onde  $a$  e  $b$  representam os coeficientes do filtro.

### 2.2 Transformada *Wavelet*

A Transformada *Wavelet* é uma ferramenta matemática criada para expandir o tradicional método de análise em frequência pela Transformada de Fourier, para possibilitar a análise temporal da decomposição espectral das variáveis. Ou seja, permite a análise espectral de fenômenos não estacionários ao longo do tempo, através do uso de “janelas” maiores (longos intervalos), quando se deseja maior precisão nas informações de baixa frequência e “janelas” menores (pequenos

intervalos) quando se quer maior precisão nas informações de alta frequência, decompondo o sinal em diferentes componentes de frequências bem localizadas no tempo (ou espaço), pela variação de escala e posição da “janela” no tempo, sendo que esta “janela” é a base da Transformada *Wavelet*, a qual possui tamanho finito. Através desta base compara-se o sinal com cópias deslocadas e redimensionadas (dilatadas ou comprimidas) de uma *Wavelet* base  $\psi(t)$  (também conhecida com *Wavelet* mãe). Assim, a escolha da base  $\psi(t)$  deve ser feita segundo as características do sinal em análise. Em termos matemáticos, a Transformada *Wavelet* é definida como (MORTTIN, 2014):

$$F(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{a,b}(t) \cdot f(t) \cdot dt \quad (3)$$

onde  $\Psi_{a,b}(t)$  representa a função *Wavelet*,  $f(t)$  denota a função a ser analisada, o fator  $a$  define o coeficiente de escala, tal que  $a=2^j$  e o fator  $b$  o instante de tempo a ser analisado, tal que  $b=k \times 2^j$ .

Por sua vez, a função *Wavelet*  $\Psi_{a,b}(t)$  é uma função tal que:

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4)$$

Em outras palavras, as funções  $\Psi_{a,b}(t)$  são dilatações (ou compressões) binárias e translações diáticas de uma única função  $\Psi$ , de modo a cobrir o conjunto dos números reais (MISITI; MISITI; OPPENHIM, 200) e (MORTTIN, 2014).

Os coeficientes da Transformada *Wavelet*  $F(a,b)$  representam quão bem a *Wavelet* mãe se aproxima do sinal original  $f(t)$  e este é calculado a cada variação de escala e translação da *Wavelet* mãe  $\Psi(t)$ . Assim, os coeficientes  $F(a,b)$  associados a um certo sinal  $f(t)$  representam a *Wavelet* do sinal  $f(t)$  em relação à *Wavelet* mãe  $\Psi(t)$ . De modo que maiores valores dos coeficientes significam maior similaridade do sinal com a *Wavelet* e o resultado vai depender da forma da *Wavelet* mãe escolhida.

A *Wavelet* mãe é a função base da Transformada *Wavelet*, uma forma de onda de curta duração com um valor médio nulo, que funciona como uma função janela de tamanho variável pelo fator de escala  $a$ , sendo que escalas menores implicam em janelas maiores e vice-versa, o que permite captar as características de um sinal específico (MORTTIN, 2014). Estas funções base são divididas em grupos conhecidos por famílias *Wavelet*, as quais variam em termos de várias propriedades como: tamanho do suporte, número de momentos nulos, regularidade e simetria (MISITI; MISITI; OPPENHIM, 200).

A filtragem do ruído é feita por uma operação matemática de suavização do sinal, intitulada limiarização (ou *thresholding*), que preserva as componentes harmônicas mais relevantes do sinal, permitindo eliminar (ou reduzir) componentes com baixa representatividade ante o sinal original (como p. ex. ruído). Isso

significa que o filtro pode ser descrito por um número pequeno de coeficientes da Transformada *Wavelet* (MORTTIN, 2014). Além disso, o sinal passa por um processo de decomposição, em que o sinal original é dividido em coeficientes de aproximação e de detalhe, pela aplicação da Transformada *Wavelet* Discreta (MISITI; MISITI; OPPENHIM, 200), em que as aproximações são associadas às componentes de baixa frequência e escala alta do sinal e os detalhes são as componentes de alta frequência do sinal e escala baixa. O sinal resultante ao aplicar a Transformada *Wavelet* discreta é dado por:

$$f(t) = \sum_{k=0}^{\infty} c_{j_0,k} \phi_{j_0,k}(t) + \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} d_{j,k} \Psi_{j,k}(t) \quad (5)$$

onde  $j_0$  é a escala de resolução mais baixa (*coarsest scale*),  $c_{j,k}$  e  $d_{j,k}$  representam os coeficientes de aproximação e de detalhes da Transformada *Wavelet* discreta, respectivamente (MORTTIN, 2014). Os coeficientes de aproximação são representados matematicamente por:

$$c_{j_0,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \phi_{j_0,k}(t) dt \quad (6)$$

e os coeficientes de detalhes são definidos por:

$$d_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{j,k}(t) dt \quad (7)$$

sendo que  $\phi_{j_0,k}$  é a *função escala*, ou *Wavelet pai*, que é uma solução da Equação(8).

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{\infty} l_k \phi(2t - k) \quad (8)$$

Nessas condições,  $\Psi(t)$  pode ser obtida de  $\phi(t)$  por:

$$\Psi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{\infty} h_k \phi(2t - k) \quad (9)$$

onde os coeficientes  $l_k$  e  $h_k$  representam os coeficientes de filtros passa-baixas (*low-pass*) e passa-altas (*high-pass*), respectivamente, (*quadrature mirror filters*), usados para calcular a Transformada *Wavelet* discreta (MORTTIN, 2014). Os coeficientes do filtro passa-baixas são definidos por:

$$l_k = \sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) \phi(2t - k) dt \quad (10)$$

e os coeficientes do filtro passa-altas são definidos por:

$$h_k = \sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) \phi(2t - k) dt \quad (11)$$

O processo de decomposição descrito, pode ser repetido em sucessivas aproximações de forma iterativa, resultando em diferentes componentes de menor resolução do sinal original decomposto. Isso é chamado de árvore de decomposição *Wavelet* e esta pode fornecer informações importantes sobre o comportamento do sinal no domínio da frequência (MISITI; MISITI; OPPENHIM, 200). A escolha do número adequado de níveis para a decomposição é feita com base na natureza do sinal ou por conhecimento empírico e no número de amostras do sinal.

### 3 I IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS

A identificação de um sistema é composta por três partes principais: os dados experimentais, um conjunto de modelos e um critério de avaliação dos modelos, ou seja, selecionar o modelo de um conjunto que melhor descreva os dados, de acordo com um critério predefinido (AGUIRRE, 2015). Deste modo, a definição da estrutura do modelo é essencial para que este represente o comportamento dinâmico do sistema de modo confiável.

A estrutura de modelo ARX, (do Inglês *AutoRegressive with eXogenous inputs*) se refere a duas componentes: a parte autoregressiva (AR) e uma entrada adicional (X), conhecida como variável exógena. Essa estrutura de modelo é dada pela seguinte equação de diferenças:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t - n_k) + e(t) \quad (12)$$

onde  $q^{-1}$  é o operador de atraso,  $n_k$  é o tempo morto do modelo dinâmico,  $e(t)$  define ruídos,  $y(t)$  representa a saída do processo e os polinômios  $A(q)$  e  $B(q)$  representam o denominador e o numerador do modelo dinâmico do sistema.

A estrutura ARMAX, (do Inglês *AutoRegressive Moving Average with eXogenous inputs*) em relação ao modelo ARX, permite maior flexibilidade na modelagem das perturbações. A equação de diferenças do modelo ARMAX é dada por:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t - n_k) + C(q)e(t) \quad (13)$$

onde  $C(q)$  representa o polinômio do numerador do modelo de perturbações do sistema.

A estrutura de modelo OE (do Inglês *Output Error*) é definida por:

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t - n_k) + e(t). \quad (14)$$

A técnica de validação dos modelos usada neste trabalho foi a validação cruzada, a qual avalia se o modelo reproduz os dados de saída do sistema para sinais de entrada distintos dos que foram empregados na estimação. Usando o índice *fit* é possível medir o grau de ajuste do modelo estimado em relação aos dados de validação, o qual é definido por (AGUIRRE, 2015):

$$fit(\%) = 100. \left( 1 - \frac{|\hat{y}(t) - y(t)|}{|y(t) - \bar{y}|} \right) \quad (15)$$

Na modelagem de processos industriais, deve-se considerar que, em geral, eles são sistemas não-lineares, mas podem ser considerados lineares em uma região em torno do ponto de operação, portanto o modelo reproduzirá o comportamento dinâmico do sistema nesta região de interesse.

## 4 | METODOLOGIA

Para efetuar este trabalho, foi criado um programa em Matlab para processar e analisar os sinais estudados (nível de água e valor do pH). Os sinais das entradas (do tipo GBN) e as respectivas saídas do processo de neutralização de pH usados aqui são o resultado do estudo feito em (ALVARADO, 2013). Na primeira etapa do algoritmo, normalizam-se os sinais de entrada e saída de ambas as malhas, aplicando-se a técnica de normalização pelo valor máximo sem média.

No estudo dos filtros digitais IIR e FIR, o foco foi a análise do comprimento (para os filtros FIR) e da ordem (para os filtros IIR), visto que estes parâmetros mudam, quando se altera a ordem dos modelos ARMAX, ARX e OE, portanto, depende de análise empírica. Os filtros digitais passa-baixas analisados neste estudo foram:

- Filtros FIR: Kaiser, Hanning, Retangular, Gaussiano, Tukey e Dolph-Chebyshev.
- Filtros IIR: Butterworth, Elíptico, Chebyshev Tipo I e Chebyshev Tipo II.

O estudo dos filtros *Wavelet* focou na análise das diferentes bases da Transformada *Wavelet* e da variação do nível de detalhamento da decomposição do sinal. As famílias *Wavelet* usadas neste estudo foram:

- Haar, Daubechies, Symlets, Coiflets, BiorSplines, ReverseBior e Fejer-Korovkin, em suas diversas estruturas.

A identificação das malhas foi feita com modelos ARMAX, ARX e OE abrangendo ordens  $n_a$ ,  $n_b$ ,  $n_c$  e  $n_f$  de 1 a 4, ou seja,  $4^{np}$  modelos, sendo  $np$  o número de polinômios da estrutura, assim, para as estruturas ARX e OE foram gerados  $4^2$  modelos e para a estrutura ARMAX foram gerados  $4^3$  modelos para cada um dos

filtros estudados, resultando em um grande volume de dados para análise. Esta análise é importante, pois para diferentes ordens de modelo, os parâmetros ótimos dos filtros também são diferentes.

Usando funções do MATLAB, foi criado um algoritmo de busca, por tentativa e erro, dos parâmetros ótimos, como: o tempo morto  $nk$  do modelo, o comprimento  $L$  dos filtros FIR, a ordem  $N$  dos filtros IIR e no caso dos filtros *Wavelet*, o nível de detalhamento  $Ld$  e a base. Tal busca visou encontrar os parâmetros que geram o maior índice  $fit$  na validação cruzada de cada modelo, tal que, o foco da análise deixa de ser a identificação e passa a ser a filtragem dos sinais.

## 5 | RESULTADOS

As estratégias descritas geraram um grande volume de dados para análise e comparação entre os métodos de filtragem, para cada estrutura de modelo das malhas de nível e pH. Para garantir uma melhor apresentação dos dados, são aplicados dois indicadores de avaliação para cada filtro usado, sendo um qualitativo e o outro quantitativo.

Na avaliação qualitativa somam-se as diferenças do índice  $fit$  de cada modelo, com o  $fit$  do modelo sem filtro normalizado, definido por:

$$IQ_l = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} [fit_{mf}(i) - fit_{ms}(i)] \quad (16)$$

onde  $fit_{mf}$  e  $fit_{ms}$  representam os índices  $fit$  dos modelos com filtro e sem filtro, respectivamente e  $IQ_l$  é o índice qualitativo normalizado.

Este índice indica a capacidade do filtro em obter melhores modelos em relação ao modelo não filtrado e normalizado.

Nos índices quantitativos são somados todos os casos em que o modelo com filtro gerou melhor desempenho que no caso sem filtro normalizado, comparando-se o índice  $fit$ . Em seguida, este é dividido pelo número total de modelos estudados, ou seja, 16 para cada filtro, descrito como:

$$F_d(k) = \begin{cases} 1 & \text{para } [fit_{mf}(i) - fit_{ms}(i)] > 0 \\ 0 & \text{para } [fit_{mf}(i) - fit_{ms}(i)] \leq 0 \end{cases} \quad (17)$$

$$IQ_n = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} F_d(k) \quad (18)$$

onde  $F_d$  descreve a função de desempenho do filtro e  $IQ_n$  é o índice quantitativo normalizado. Esta análise permite verificar quão melhor é o desempenho de cada filtro, independentemente da ordem do modelo, ou seja, são selecionados os casos

em que os modelos com filtro geram *fit* maior que os sem filtro.

As Figuras 1, 2 e 3 exibem os resultados dos índices qualitativos e quantitativos para modelos ARMAX, ARX e OE (respectivamente) da malha de nível. Para garantir uma melhor visualização gráfica, os índices qualitativos estão normalizados pelo filtro com melhor desempenho.

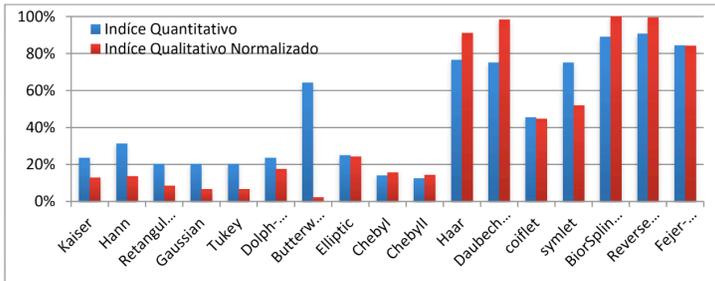


Figura 1: Comparação entre os modelos ARMAX da malha de nível.

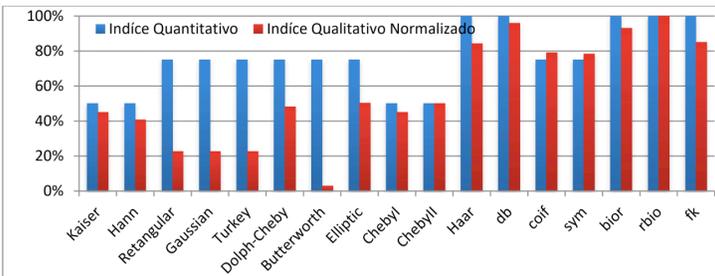


Figura 2: Comparação entre os modelos ARX da malha de nível.

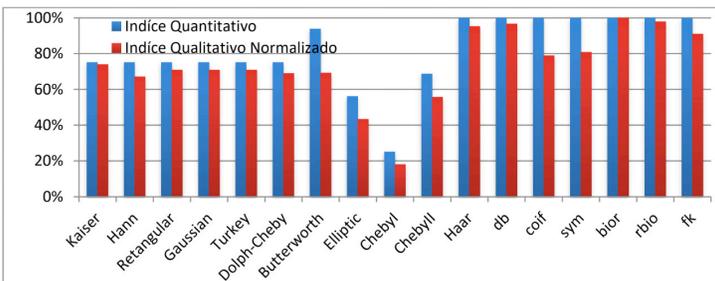


Figura 3: Comparação entre os modelos OE da malha de nível.

As Figuras 4, 5 e 6 exibem (respectivamente) os resultados dos índices referentes aos modelos ARMAX, ARX e OE para a malha de pH.

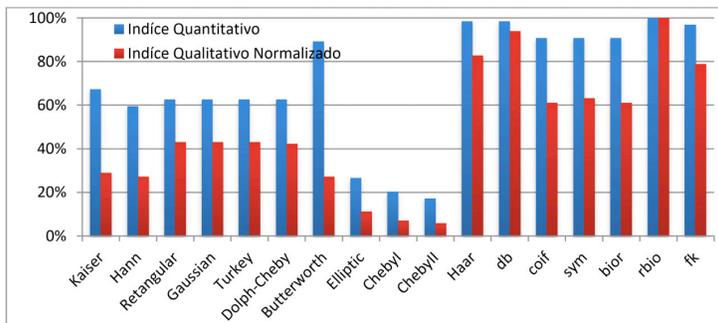


Figura 4: Comparação entre os modelos ARMAX da malha de pH

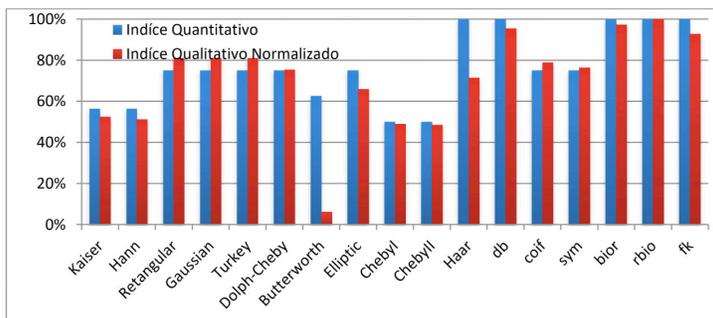


Figura 5: Comparação entre os modelos ARX da malha de pH

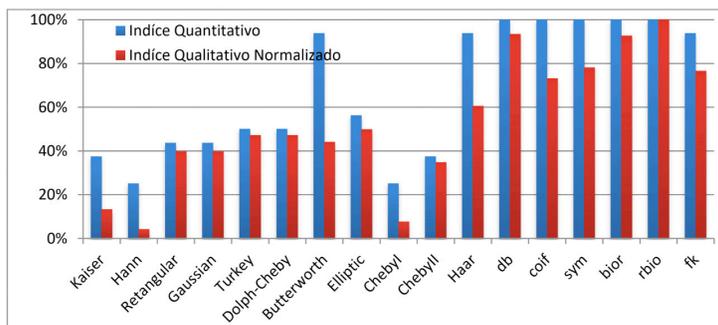


Figura 6: Comparação entre os modelos OE da malha de pH.

Das Figuras de 1 à 6 nota-se que os filtros *Wavelet* geram resultados melhores (qualitativos e quantitativos), quando comparados aos filtros convencionais IIR e FIR. Para melhor avaliar os resultados dos filtros em relação às diferentes ordens dos modelos ARMAX, ARX e OE, as Tabela de 1 à 6 exibem os mapas de calor (as médias das diferenças) dos filtros convencionais e *Wavelet* de cada modelo das malhas de nível e de pH.

| Nível |   | Filtros convencionais |       |       |       | Filtros <i>Wavelet</i> |       |       |       |
|-------|---|-----------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|
|       |   | na                    |       |       |       |                        |       |       |       |
| nb/nc |   | 1                     | 2     | 3     | 4     | 1                      | 2     | 3     | 4     |
| 1     | 1 | 0,000                 | 1,475 | 0,388 | 1,080 | 2,367                  | 2,819 | 2,275 | 2,283 |
|       | 2 | 0,000                 | 0,664 | 0,198 | 1,046 | 2,355                  | 2,447 | 2,201 | 2,244 |
|       | 3 | 0,034                 | 0,628 | 0,375 | 1,205 | 2,353                  | 2,370 | 2,288 | 2,192 |
|       | 4 | 0,066                 | 0,591 | 0,782 | 1,122 | 2,366                  | 2,249 | 2,260 | 2,085 |
| 2     | 1 | 0,161                 | 0,000 | 0,000 | 0,061 | 2,002                  | 0,009 | 0,025 | 0,042 |
|       | 2 | 0,001                 | 0,088 | 0,000 | 0,000 | 1,977                  | 0,012 | 0,171 | 0,087 |
|       | 3 | 0,050                 | 0,000 | 0,029 | 0,000 | 1,952                  | 0,043 | 0,251 | 0,143 |
|       | 4 | 0,000                 | 0,000 | 0,000 | 0,037 | 2,029                  | 0,050 | 0,143 | 0,171 |
| 3     | 1 | 0,022                 | 0,000 | 0,022 | 0,064 | 1,976                  | 0,019 | 0,004 | 0,074 |
|       | 2 | 0,000                 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,028                  | 0,013 | 0,233 | 0,108 |
|       | 3 | 0,000                 | 0,098 | 0,000 | 0,000 | 2,073                  | 0,053 | 0,192 | 0,214 |
|       | 4 | 0,000                 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,935                  | 0,103 | 0,137 | 0,188 |
| 4     | 1 | 0,110                 | 0,000 | 0,000 | 0,064 | 1,939                  | 0,024 | 0,006 | 0,049 |
|       | 2 | 0,038                 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,989                  | 0,045 | 0,103 | 0,128 |
|       | 3 | 0,043                 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,265                  | 0,030 | 0,124 | 0,206 |
|       | 4 | 0,000                 | 0,017 | 0,000 | 0,000 | 2,165                  | 0,064 | 0,026 | 0,166 |

Tabela 1: Mapa de calor dos modelos ARMAX da malha de nível.

| nível |  | Filtros convencionais |       |       |        | Filtros <i>Wavelet</i> |        |        |        |
|-------|--|-----------------------|-------|-------|--------|------------------------|--------|--------|--------|
| nb/na |  | 1                     | 2     | 3     | 4      | 1                      | 2      | 3      | 4      |
| 1     |  | 0,000                 | 2,710 | 0,883 | 2,165  | 1,8868                 | 3,5082 | 3,3098 | 3,3029 |
| 2     |  | 0,000                 | 2,587 | 0,795 | 2,007  | 1,8534                 | 3,4577 | 3,2507 | 3,2378 |
| 3     |  | 0,000                 | 2,433 | 0,720 | 1,850  | 1,8292                 | 3,4184 | 3,1916 | 3,1877 |
| 4     |  | 0,000                 | 2,272 | 0,622 | 1,6690 | 1,7899                 | 3,3685 | 3,1321 | 3,1290 |

Tabela 2: Mapa de calor dos modelos ARX da malha de nível.

| Nível |  | Filtros convencionais |        |        |        | Filtros <i>Wavelet</i> |        |        |        |
|-------|--|-----------------------|--------|--------|--------|------------------------|--------|--------|--------|
| nb/nf |  | 1                     | 2      | 3      | 4      | 1                      | 2      | 3      | 4      |
| 1     |  | 0,0000                | 0,8402 | 1,8752 | 2,3664 | 1,7822                 | 3,5289 | 3,3255 | 3,3287 |
| 2     |  | 0,0022                | 1,5597 | 2,3670 | 2,9480 | 1,7396                 | 3,6686 | 3,4586 | 3,4503 |
| 3     |  | 0,0000                | 1,7979 | 2,6776 | 3,2939 | 1,7164                 | 3,6215 | 3,4614 | 3,4547 |
| 4     |  | 0,0000                | 1,9521 | 2,7169 | 3,3756 | 1,6782                 | 3,5591 | 3,3655 | 3,3605 |

Tabela 3: Mapa de calor dos modelos OE da malha de nível.

As cores mostram a comparação em relação à modelos sem filtro, em que as células vermelhas (mais quentes) indicam onde o sinal filtrado gerou um *fit* superior ao do modelo sem filtro e as células verdes (mais frias) onde os modelos com filtro resultam em *fit* inferior ao modelo obtido do sinal não filtrado.

| pH    | Filtros Convencionais |        |        |        | Filtros <i>Wavelet</i> |        |        |        |        |
|-------|-----------------------|--------|--------|--------|------------------------|--------|--------|--------|--------|
|       | na                    |        |        |        | na                     |        |        |        |        |
| nb/nc | 1                     | 2      | 3      | 4      | 1                      | 2      | 3      | 4      |        |
| 1     | 1                     | 0,0000 | 1,9467 | 1,4158 | 2,4354                 | 3,9954 | 3,1867 | 2,1445 | 2,4209 |
|       | 2                     | 0,0000 | 1,9701 | 1,1686 | 2,6132                 | 3,8971 | 2,9790 | 1,9282 | 2,0871 |
|       | 3                     | 0,0000 | 1,5982 | 1,7395 | 2,2600                 | 4,1687 | 2,9396 | 2,6757 | 2,0099 |
|       | 4                     | 0,3626 | 1,8622 | 2,3495 | 2,2294                 | 4,0728 | 2,6046 | 2,9454 | 2,3896 |
| 2     | 1                     | 1,1835 | 0,0000 | 0,5230 | 1,5797                 | 3,6836 | 0,9866 | 2,0753 | 1,8386 |
|       | 2                     | 0,1597 | 0,0000 | 1,3975 | 0,7642                 | 3,3325 | 2,4603 | 2,0538 | 3,0309 |
|       | 3                     | 0,8126 | 0,0000 | 1,9872 | 0,0000                 | 3,2654 | 1,7330 | 1,9650 | 0,1670 |
|       | 4                     | 0,0608 | 0,0319 | 1,7564 | 1,0132                 | 3,0365 | 3,1333 | 2,8447 | 2,0999 |
| 3     | 1                     | 0,8249 | 0,0000 | 0,9269 | 1,5298                 | 3,6417 | 1,1670 | 2,2452 | 2,3295 |
|       | 2                     | 0,4945 | 1,6238 | 1,4703 | 1,4648                 | 3,4527 | 2,5732 | 3,1134 | 3,2978 |
|       | 3                     | 0,8269 | 0,0720 | 1,6287 | 1,7979                 | 3,5355 | 2,8871 | 3,2603 | 2,9862 |
|       | 4                     | 0,4836 | 1,1695 | 1,6910 | 1,8722                 | 3,2001 | 2,8410 | 3,3175 | 2,8995 |
| 4     | 1                     | 1,2373 | 0,0000 | 1,5494 | 1,4008                 | 3,6556 | 0,0241 | 2,1884 | 2,5087 |
|       | 2                     | 0,2215 | 0,0000 | 2,2342 | 1,1491                 | 3,4182 | 2,5921 | 3,3231 | 3,1055 |
|       | 3                     | 1,6329 | 0,0657 | 2,0229 | 1,6789                 | 3,5730 | 3,0812 | 3,3979 | 2,5221 |
|       | 4                     | 0,2561 | 0,3334 | 1,9770 | 1,6193                 | 3,2866 | 2,9281 | 3,3505 | 3,2341 |

Tabela 4: Mapa de calor dos modelos ARMAX da malha de pH.

| pH | Filtros convencionais |        |        |        | Filtros <i>Wavelet</i> |        |        |        |
|----|-----------------------|--------|--------|--------|------------------------|--------|--------|--------|
|    | 1                     | 2      | 3      | 4      | 1                      | 2      | 3      | 4      |
| 1  | 0,001                 | 7,3580 | 4,1909 | 8,2993 | 3,4535                 | 7,1523 | 7,5374 | 7,7056 |
| 2  | 0,004                 | 7,2991 | 4,1071 | 8,1562 | 3,4606                 | 7,1852 | 7,5130 | 7,6776 |
| 3  | 0,000                 | 6,2760 | 3,9301 | 7,8447 | 3,3174                 | 6,9965 | 7,2990 | 7,4939 |
| 4  | 0,7162                | 6,7406 | 3,7235 | 7,5312 | 3,2078                 | 6,8732 | 7,1539 | 7,3507 |

Tabela 5: Mapa de calor dos modelos ARX da malha de pH.

| pH | Filtros convencionais |        |        |        | Filtros <i>Wavelet</i> |        |        |        |
|----|-----------------------|--------|--------|--------|------------------------|--------|--------|--------|
|    | 1                     | 2      | 3      | 4      | 1                      | 2      | 3      | 4      |
| 1  | 0,0000                | 2,7104 | 0,8827 | 2,1646 | 1,8868                 | 3,5082 | 3,3098 | 3,3029 |
| 2  | 0,0000                | 2,5874 | 0,7949 | 2,0067 | 1,8534                 | 3,4577 | 3,2507 | 3,2378 |
| 3  | 0,0000                | 2,4327 | 0,7196 | 1,8490 | 1,8292                 | 3,4184 | 3,1916 | 3,1877 |
| 4  | 0,0000                | 2,2721 | 0,6220 | 1,6690 | 1,7899                 | 3,3685 | 3,1321 | 3,1290 |

Tabela 6: Mapa de calor dos modelos OE da malha de pH

Verifica-se, ao analisar as Tabelas de 1 à 6, que os filtros *Wavelet*, em média, exibem melhores resultados em relação aos filtros convencionais para as estruturas ARMAX, ARX e OE em ambas as malhas (nível e pH). Além disso, é possível observar que mesmo para modelos de baixa ordem, os filtros *Wavelet* geram bons resultados, ou seja, modelos com apenas um polo, enquanto que os filtros tradicionais sugerem estruturas mais complexas. O uso de modelos de ordem mais baixa é uma característica desejada na identificação de sistemas, pois reduz

a chance de sobreparametrização e diminui a possibilidade de surgir oscilações espúrias na previsão, decorrentes de potenciais raízes imaginárias em razão do tamanho do polinômio do modelo.

## 6 | CONCLUSÃO

O uso de técnicas de filtragem de sinais na identificação dos sinais de uma planta de neutralização de pH para a análise comparativa dos filtros *Wavelet* em relação aos filtros tradicionais (IIR e FIR), gerou resultados que indicam significativa melhora nos índices dos modelos das malhas de nível e pH obtidos ao aplicar os filtros *Wavelet*. Ademais, os modelos ARMAX, ARX e OE criados a partir dos dados pré-filtrados geraram bons resultados, com modelos mais simples em todas as estruturas nas duas malhas estudadas, o que permite a implantação de projetos de controle mais simples.

No caso da malha de nível, notou-se uma melhora ainda mais significativa dos resultados em comparação com os filtros tradicionais (IIR e FIR). Embora os resultados indiquem a melhora dos modelos, deve-se destacar que o método aqui descrito não permite indicar de modo confiável o quanto realmente melhorou, devido às incertezas.

Uma continuação deste estudo consiste em usar estruturas de modelo mais complexas (como BJ), para comparar o efeito do uso de filtros convencionais e filtros *Wavelet*.

## REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistemas**: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais. 4ed. Belo Horizonte, Editora UFMG. 2015.

ALVARADO, C. S. M. **Identificação e Controle Preditivo de uma Planta Piloto de Neutralização de pH**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas, Escola Politécnica da USP, 2013.

CHEN, W, K. . **Passive, Active, and Digital Filters**, CRC Press, ISBN 978-1-4200-5885-7 2009.

CLOSE, C. M; FREDERICK, D. K; NEWELL, J. C. **Modeling and analysis of dynamic systems**. John Wiley & Sons, New York, 3rd edition, 2001.

MISITI, M., MISITI, Y. OPPENHIM, G., POGGI, J., **Wavelet Toolbox For Use With MATLAB**, The Math Works Inc, 2000.

MORTTIN, P. A. **Ondas e Ondaletas**: da Análise de Fourier à Análise de Ondaletas de Séries Temporais. EDUSP, 2ª Edição, 2014.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acelerômetro 49, 51, 57, 58, 59, 60, 61

Amostragem de grãos 76, 77, 88, 89

Arduino 49, 50, 51, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 62, 78, 84, 89, 119, 127, 128, 131, 132, 133, 136, 137, 173, 179

Autocorrelação 151, 152, 153, 154, 156, 157

### C

Cabos submarinos 33, 34

Codificação por predição linear 151

Computação em névoa 114, 119, 123, 124, 125

Conectividade 16, 24, 26, 33, 34

Controle  $H^\infty$  127

Custo-benefício 171

### D

Desempenho computacional 104, 109, 110

Direitos humanos 33, 34

### E

Eletrônica 30, 53, 76, 138, 173

Energias renováveis 90, 92, 102

Engenharia de software 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 32

Ensino 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 28, 31, 50, 51, 127

Estimador recursivo da variável instrumental 151

Estroboscopia 171, 172, 182

Estudos de acesso à rede básica 104, 106, 111

### F

FANET 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 27

Filtro FIR 159

Filtro IIR 159

### G

Games na educação 1

GPS 27, 49, 50, 51, 57, 59, 60, 61, 62

GSM 114, 116, 120, 121, 123, 124, 126

## **H**

Harmônicos 104, 110

## **I**

Identificação de sistemas 158, 159, 163, 169, 170

Interferências de rede 34

Internet 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 53, 119, 120, 125

Inversão de matrizes 104

## **L**

Linux 28, 29, 30, 31, 32

Lógica de controle e segurança 76

## **M**

Máquinas elétricas 171, 172, 182, 183

Medição de velocidade 171

Microgeração fotovoltaica 114, 115, 116, 123, 124

Mínimos quadrados recursivos 151, 152

Modelos ocultos de Markov 90, 102

Monitoramento de dados 114, 125

Multi-VANT 16

## **N**

Neuromodulação 138, 139, 140, 150

## **P**

Previsões de suprimento de energia 90

Programa HarmZs 104

## **R**

RailBee 49

Redes inteligentes 90, 91

Robótica 63, 64, 65, 68, 72, 74, 75, 76, 89

## **S**

SDN 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 27

Séries temporais 151, 170

Servomotor 127, 128, 131, 132, 133, 136

Sistema supervisorio 76, 80, 84, 88

Software educacional 1

## **T**

Telemetria 49, 61

Transformada Wavelet 159, 160, 161, 162, 164

## **V**

Veículo autônomo 63

## **Z**

ZigBee 18, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 59, 61, 62

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# **Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico**

**3**

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# **Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico**

**3**