

ENGENHARIA ELÉTRICA:

COMUNICAÇÃO INTEGRADA
NO UNIVERSO DA ENERGIA

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

COMUNICAÇÃO INTEGRADA
NO UNIVERSO DA ENERGIA

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

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

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

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

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

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

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

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

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

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

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

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

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

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

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

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

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

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

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

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

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliansi Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia elétrica: comunicação integrada no universo da energia

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: comunicação integrada no universo da energia / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-837-3

DOI 10.22533/at.ed.373212302

1. Energia. 2. Engenharia. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Título.

CDD 621.1

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação 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 neste campo do conhecimento 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. Também se trata de uma área de conhecimento com uma grande amplitude de subáreas e especializações, algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

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

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

APLICAÇÃO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL ESPECIALISTA EM RECONHECIMENTO DE TRANSTORNOS VOCAIS MODERADOS

Eduardo Henrique da Silva

Mateus Morikawa

Vinícius Baratieri Suterio

María Eugenia Dajer

DOI 10.22533/at.ed.3732123021

CAPÍTULO 2..... 11

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF GROUNDING SYSTEMS MODELING ON THE LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES

Felipe Vasconcellos

Rafael Alípio

Fernando Moreira

DOI 10.22533/at.ed.3732123022

CAPÍTULO 3..... 25

ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES DE INTERNAÇÃO E DE CONSULTA MÉDICA EM HOSPITAIS PÚBLICOS E PRIVADOS DE ARAPIRACA-AL

Augusto César Lúcio de Oliveira

Gabriel dos Santos Alves

Hapitaglo Rian da Silva

Igor Silva de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.3732123023

CAPÍTULO 4..... 36

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM BASE EM SENSORES DE PRESENÇA E BLUETOOTH

Wyctor Fogos da Rocha

Mário Mestria

DOI 10.22533/at.ed.3732123024

CAPÍTULO 5..... 50

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA UM FOTÔMETRO

Gabriela Dias Alba

Alberto Noboru Miyadaira

Oldair Donizeti Leite

Domingos Perego Junior

Eduardo Cezar Lenz

João Pedro de Araújo Nespolo

DOI 10.22533/at.ed.3732123025

CAPÍTULO 6..... 60

THE INFLUENCE OF THE FREQUENCY-DEPENDENT BEHAVIOR OF GROUND

ELECTRICAL PARAMETERS ON THE LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES

Felipe Vasconcellos

Rafael Alípio

Fernando Moreira

DOI 10.22533/at.ed.3732123026

CAPÍTULO 7..... 77

BANCADA EXPERIMENTAL PARA TESTE DE CONTROLADORES PRIMÁRIOS EM MICRORREDES

João Pedro Magalhães Fernandes

Márcio Stefanello

DOI 10.22533/at.ed.3732123027

CAPÍTULO 8..... 89

ANÁLISE DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO PADRÃO COM ESTRATÉGIA DE CONTROLE DE TENSÃO NO MODO TENSÃO-POTÊNCIA ATIVA

Vitor Francisco Bassi de Franchi Siqueira

Romeu Reginatto

DOI 10.22533/at.ed.3732123028

CAPÍTULO 9..... 103

DESENVOLVIMENTO DE UM FOTOMETRO MICROCONTROLADO PARA ANÁLISE DE SUBSTÂNCIAS

Domingos Perego Junior

Alberto Noboru Miyadaira

Oldair Donizeti Leite

Gabriela Dias Alba

Eduardo Cezar Lenz

João Pedro de Araújo Nespolo

DOI 10.22533/at.ed.3732123029

CAPÍTULO 10..... 112

MORTE POR ELETROCUSSÃO NA REGIÃO NORDESTE ENTRE OS ANOS DE 2014 E 2019

Daniela Asquidamini

Carlos A. C. Jousseph

Bruna Pontes Cechinel

DOI 10.22533/at.ed.37321230210

CAPÍTULO 11..... 119

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA GERENCIAMENTO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA

Raphael de Aquino Gomes

Vinicius de Mello Lima

Amanda Beatriz Mendanha Fernandes

Charles Lucas Santana de Souza

DOI 10.22533/at.ed.37321230211

CAPÍTULO 12.....	131
ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DO ESTÁGIO DE SAÍDA DE UM GERADOR DE ONDAS ARBITRÁRIAS	
Daiany Besen	
Felipe Walter Dafico Pfrimer	
Alberto Yoshihiro Nakano	
DOI 10.22533/at.ed.37321230212	
CAPÍTULO 13.....	140
DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE AQUISIÇÃO E ELETRODOS SECOS EM ELETROMIOGRAFIA	
Luiz Augusto Garonce Ferreira	
Felipe Walter Dafico Pfrimer	
Alberto Yoshihiro Nakano	
DOI 10.22533/at.ed.37321230213	
CAPÍTULO 14.....	148
PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM CURSO DE OPERADOR DE USINAS TERMELÉTRICAS ARTICULADO COM EMPRESAS DO COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO DO PECÉM	
Marcel Ribeiro Mendonça	
Marcilia Maria Soares Barbosa Macedo	
DOI 10.22533/at.ed.37321230214	
CAPÍTULO 15.....	159
DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE ANÁLISE DE AZEITES E ÓLEO VEGETAL DE BAIXO CUSTO	
Matheus Bogo Polidorio	
Alexandre de Sousa Duarte	
Alberto Yoshihiro Nakano	
Ricardo Schneider	
Felipe Walter Dafico Pfrimer	
DOI 10.22533/at.ed.37321230215	
SOBRE OS ORGANIZADORES	170
ÍNDICE REMISSIVO.....	171

BANCADA EXPERIMENTAL PARA TESTE DE CONTROLADORES PRIMÁRIOS EM MICRORREDES

Data de aceite: 22/02/2021

Data de submissão: 05/01/2021

João Pedro Magalhães Fernandes

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
Alegrete – RS
<http://lattes.cnpq.br/5771304100581206>

Márcio Stefanello

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
Alegrete – RS
<http://lattes.cnpq.br/9333498570249062>

RESUMO: Na pesquisa e desenvolvimento envolvendo processamento de energia por meio de conversores eletrônicos de potência, a validação experimental de controladores é fundamental. Um exemplo são as aplicações envolvendo a integração de unidades de geração distribuída em microrredes de energia. As particularidades desta aplicação impõem requisitos de robustez e desempenho do sistema como um todo, não apenas dos algoritmos de controle, mas também da instrumentação utilizada, dos circuitos para proteção e manobra e da lógica de proteção. Neste capítulo é descrito um controlador baseado no princípio da máquina síncrona virtual a fim de operar as unidades de geração de modo estável quando diferentes unidades são interconectadas. Uma microrrede em escala reduzida é então simulada e por fim são descritos os aspectos técnicos usados para implementar a bancada experimental que será usada para a validação de controladores

primários para conversores em microrredes.

PALAVRAS-CHAVE: Microrrede, Recursos distribuídos de energia, Bancada experimental.

EXPERIMENTAL BENCH FOR TESTING OF PRIMARY CONTROLLERS IN MICROGRIDS

ABSTRACT: In research and development involving energy processing by power electronic converters, the experimental validation of controllers is necessary. Such an example are applications involving the integration of distributed energy resources within microgrids. The characteristics of this application impose requirements of robustness and performance of the system as a whole, not only of the control algorithms, but also of the instrumentation used, the circuits for protection as well and the logic for protection. In this chapter is described a controller based on the principle of the virtual synchronous machine in order to operate the distributed energy resources in a stable manner when different units are interconnected. A reduced scale microgrid is then simulated and finally are described the technical aspects used to implement the experimental bench used for the validation of primary controllers for converters in microgrids.

KEYWORDS: Microgrid, Distributed energy resources, Experimental bench.

1 | INTRODUÇÃO

O sistema elétrico foi concebido originalmente baseado na geração centralizada com grandes geradores síncronos. A energia é

então transmitida em alta tensão e distribuída para as cargas elétricas em média ou em baixa tensão. Entretanto, existe a tendência no uso crescente de recursos distribuídos de energia ou DER's (do inglês, *Distributed Energy Resources*), principalmente os renováveis, devido à crescente demanda atual por energia elétrica e a fatores ambientais. Grupos motor-gerador movidos à combustíveis fósseis, painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas são as DERs mais utilizadas. As fontes renováveis fotovoltaica e eólica têm experimentado um rápido desenvolvimento tecnológico, o que contribuiu para sua proliferação em várias partes do mundo. O uso de DERs possui como outra vantagem o abastecimento de energia em locais remotos e áreas rurais. Estima-se que 14% da população mundial não possui acesso à energia elétrica. Por esses motivos, a integração de DERs no sistema elétrico tem sido apoiada por governos de diversos países, principalmente as DERs renováveis.

O processamento de energia de DERs é realizado por meio de conversores eletrônicos de potência e a integração de diferentes DERs pode ser realizada por meio de microrredes (MRs). Uma microrrede é definida como uma parte da rede elétrica que inclui DERs, sistemas de armazenamento de energia e cargas. Uma MR possui limites elétricos definidos e pode operar conectada ao sistema elétrico principal ou então operar isolada, alimentando cargas localmente (IEEE, 2017). O desenvolvimento do conceito de MRs é mais relacionado com a penetração de DERs renováveis, como eólicos e fotovoltaicos. Com o advento das MRs, o usuário passa a ter a possibilidade técnica de integrar a rede elétrica, auxiliando na regulação da tensão e frequência.

Um dos maiores desafios para a operação de MRs é realizar o controle dos conversores eletrônicos de modo estável e garantindo a operação adequada do sistema em termos de tensão e frequência, incluindo também a capacidade de processamento de referências de potências ativa e reativa com base em referências recebidas de controladores secundários e terciários.

Quando DERs renováveis são integrados no sistema elétrico convencional, a intermitência inerente destes sistemas causa flutuações na energia disponível, mas que são compensadas pelos geradores síncronos convencionais, devido a energia acumulada na inércia dos seus rotores. Entretanto, considerando a expansão da energia baseada em DERs, é necessário que os conversores que processam esta energia sejam controlados adequadamente a fim de não comprometer a resiliência e a estabilidade do sistema elétrico de potência. Em virtude disso, há a necessidade de buscar soluções de controle para conversores em geração distribuída. Uma possibilidade é controlar os conversores de maneira que eles tenham um comportamento dinâmico similar ao de um gerador síncrono real. Essa abordagem deu origem ao conceito da máquina síncrona virtual. Uma das máquinas virtuais mais difundidas é denominado de *Synchronverter* (ZHONG; WEISS, 2011) que será descrito e simulado usando a ferramenta computacional Typhoon HIL Control Center. Por fim, será descrita implementação de uma bancada experimental completa composta por dois conversores eletrônicos de potência para a validação de algoritmos

de controle para estabilização de conversores operando em MRs. É implementado, em simulação, o controlador *Synchronverter* no software da Typhoon HIL para controlar os conversores da bancada operando em paralelo com potências distintas a fim de emular o comportamento de uma MR real.

2 I ESTRUTURA DE UMA MICRORREDE DE ENERGIA

A estrutura de uma MR de energia é mostrada na Figura 1 (IEEE, 2018). Os conversores eletrônicos de potência são usados como elementos de interface entre as DERs e o restante da MR que pode operar ilhada ou conectada ao sistema elétrico de acordo com o estado do Disjuntor principal. O controlador da MR realiza o gerenciamento de todas as unidades controláveis, DERs, elementos armazenadores de energia e cargas ajustáveis por meio de uma infraestrutura de comunicação de dados.

Em termos de controle e gerenciamento, é usual classificar os controladores em primário, secundário e terciário. Os controladores primários realizam o controle dos conversores para despacho de referências de potência ou então para manter níveis de tensão e frequência necessários, dependendo de a MR estar operando conectada ou ilhada, respectivamente. O controlador secundário fornece as referências de tensão, frequência e potência para compensar desvios nos valores destas grandezas. O nível terciário realiza o controle da MR como um todo. Com ele, é possível associar diferentes MRs formando grupos, por exemplo.

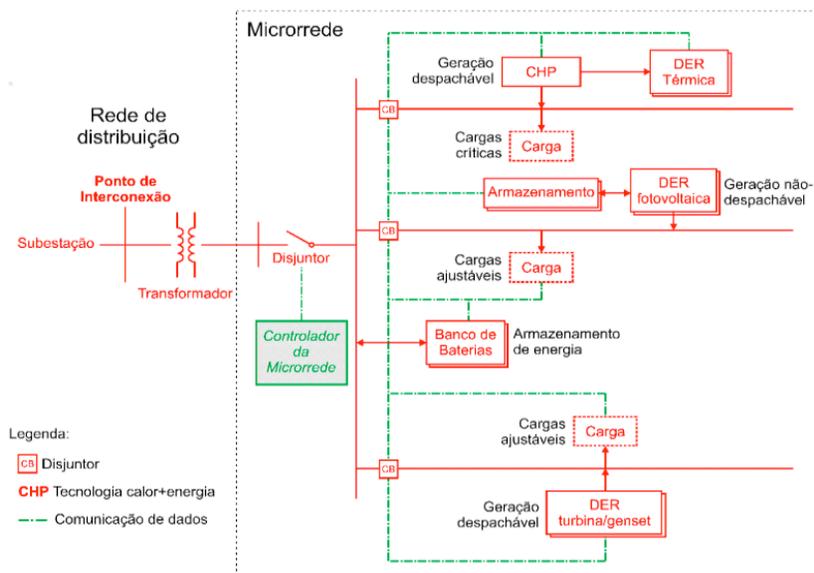


Figura 1—Diagrama esquemático de uma MR de energia.

Fonte: Autor (adaptado de IEEE Std 2030.8-2018).

Neste capítulo será abordado o controle primário utilizando o conceito da máquina síncrona virtual.

3 I SISTEMA DE CONTROLE PRIMÁRIO DE DERs

Considerando uma DER trifásica, o processamento de energia é em geral realizado por meio de um conversor eletrônico de potência modulado em largura de pulso (ou PWM) seguido de um filtro para atenuação das ondulações de alta frequência que surgem do processo de modulação. A Figura 2 mostra a parte elétrica de uma DER, assumindo que a fonte primária fornece energia por meio de um barramento CC.

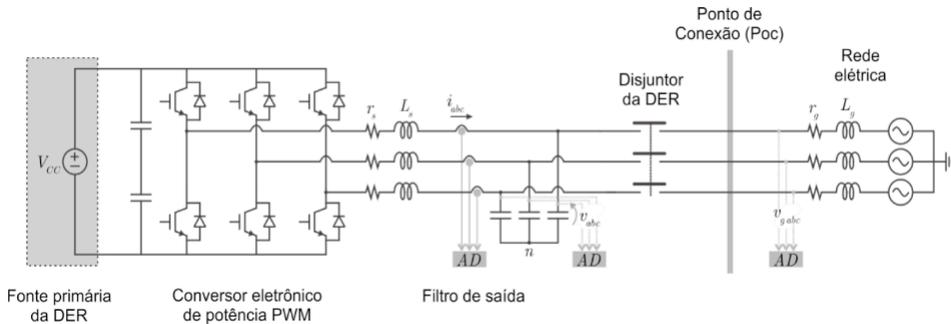


Figura 2—Conversor PWM trifásico com filtro de saída do tipo LCL.

Fonte: Autor.

Existem diferentes maneiras de controlar o conversor eletrônico para implementar o controle primário da DER. Provavelmente, uma das técnicas mais difundidas na literatura depois do controle por curvas de decaimento proposto por Guerrero, Chandorkar, Lee e Loh (2013) e o controle usando o princípio da máquina síncrona virtual por Beck e Hesse (2007). Notavelmente, a máquina virtual denominada de *synchronverter* por Zhong e Weiss (2011).

3.1 Modelagem Matemática do Synchronverter

A malha de controle do *synchronverter* implementada no software da Typhoon HIL é mostrada na Figura 3.

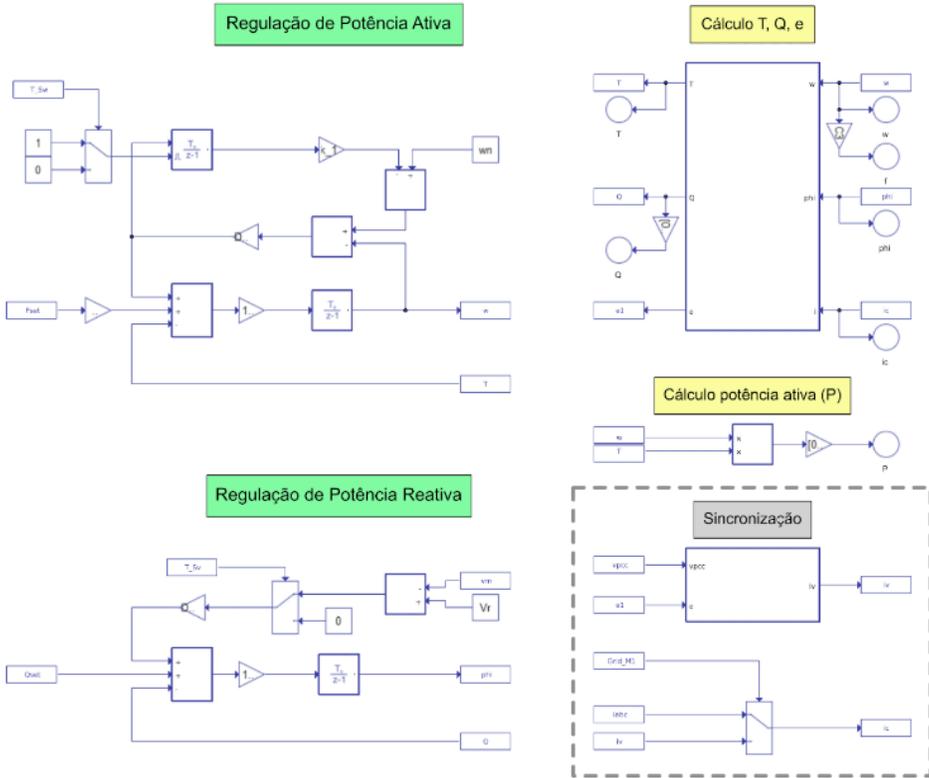


Figura 3—Malhas de controle de frequência e de fluxo do synchronverter.

Fonte: Autor.

O torque T_e e a potência reativa Q são calculados de acordo com:

$$T_e = \frac{P_e}{\omega} = M_f i_f \begin{bmatrix} \sin \theta \\ \sin(\theta - 120^\circ) \\ \sin(\theta - 240^\circ) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad (3.1.1)$$

$$Q = -\omega M_f i_f \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \cos(\theta - 120^\circ) \\ \cos(\theta - 240^\circ) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3.1.2)$$

As ações de controle obtidas são dadas por:

$$e_{a,b,c} = \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} = \omega M_f i_f \begin{bmatrix} \sin \theta \\ \sin(\theta - 120^\circ) \\ \sin(\theta - 240^\circ) \end{bmatrix} \quad (3.1.3)$$

e serão os valores de tensão a serem modulados pelo conversor PWM.

Note que, tal como num gerador síncrono, o torque T_e se relaciona com a indutância mútua M_f da bobina de campo, com a corrente de excitação i_f do rotor e com as correntes

de fase do estator que correspondem às correntes de saída do conversor, isto é, i_a , i_b e i_c .

A malha para síntese do fluxo utiliza a potência reativa Q . Note que a dependência da frequência ω se dá pelo fato de que a tensão de saída do conversor possui amplitude $\omega M i_p$, modelando o acoplamento existente numa máquina síncrona real. O ângulo rotórico θ é obtido pela integração numérica da velocidade angular virtual.

3.2 Algoritmo de Sincronização

Antes de fechar o disjuntor da DER, é necessário sincronizá-la com a rede elétrica tal como realizado num gerador síncrono real. Os blocos usados para sincronização são destacados pelo retângulo em cinza na Figura 3. Para isso, inicialmente, o erro de tensão $V_r - v_m$ não é utilizado na malha de fluxo, cujo objetivo de controle é garantir uma referência de potência reativa $Q_{set} = 0$ VAR. Concomitantemente, um integrador com ganho k_i é inserido na malha de frequência para rastrear a referência de potência ativa $P_{set} = 0$ W. Além disso, durante este período de sincronização, como o conversor está desconectado da rede elétrica, é sintetizada uma corrente virtual i_v a partir de um filtro virtual, cuja entrada é a diferença de tensão sintetizada pelo conversor e a tensão da rede elétrica. Assim, garantindo que a potência reativa e o torque sejam regulados à zero, implica automaticamente na sincronização da tensão do conversor com a da rede, tanto em termos de amplitude quanto de ângulo.

Note que após a conexão com a rede elétrica, para a síntese de referências de potência, as malhas de frequência e fluxo devem permanecer inalteradas, com a diferença de que agora a corrente de saída i_{abc} é utilizada ao invés da corrente virtual. No modo ilhado, o synchronverter altera sua configuração, removendo o integrador da malha de frequência e incluindo o erro de tensão na malha de fluxo.

4 | RESULTADOS

Os parâmetros utilizados para simulação são apresentados na Tabela 1.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Potência nom. Conversor 1	10 kVA	Frequência nom.	60 Hz
Potência nom. Conversor 2	5 kVA	Tensão da rede	220 Vrms
Tensão barramento CC	700 V	τ_f	0.02 s
Ls	1 mH	τ_v	0.2 s
rs	0.1 Ω	Dp_1	7,0362
C	33.3 μ F	Dp_2	3,5181
Lg	0.1 mH	Dq_1	909,0909
rg	0.1 m Ω	Dq_2	454,5455

Tabela 1 –Parâmetros da simulação.

A simulação foi realizada no Typhoon HIL Control Center versão 2020.3. A simulação inicia em $t = 0$ s e a sincronização ocorre através do filtro virtual. Então, o disjuntor é fechado conectando o conversor 1 na rede elétrica principal em $t = 1$ s, é aplicado um degrau de potência ativa de 6 kW em $t = 2$ s, e aplicado um degrau de potência reativa de 2 kVAr em $t = 3$ s. O disjuntor do conversor 2 é fechado conectando em paralelo na rede em $t = 4$ s, é aplicado um degrau de potência ativa de 3 kW em $t = 5$ s, e aplicado um degrau de potência reativa de 1 kVAr em $t = 6$ s.

Em $t = 7$ s, ocorre a queda de frequência da rede de 60 para 59 Hz e a queda da tensão de 220 para 198 V (10%). Em $t = 8$ s, a rede elétrica é desconectada e os conversores passam a operar paralelamente e sem carga. Em $t = 9$ s, uma carga resistiva e indutiva com impedância $Z_{\text{carga}} = 14 + j4.5239 \Omega$ é inserida e uma parcela da potência é fornecida por cada conversor.

A Figura 4 apresenta as respostas do sistema conforme ocorrem os eventos apresentados. A traço em vermelho refere-se ao comportamento do conversor 1 e o traço azul ao comportamento do conversor 2.

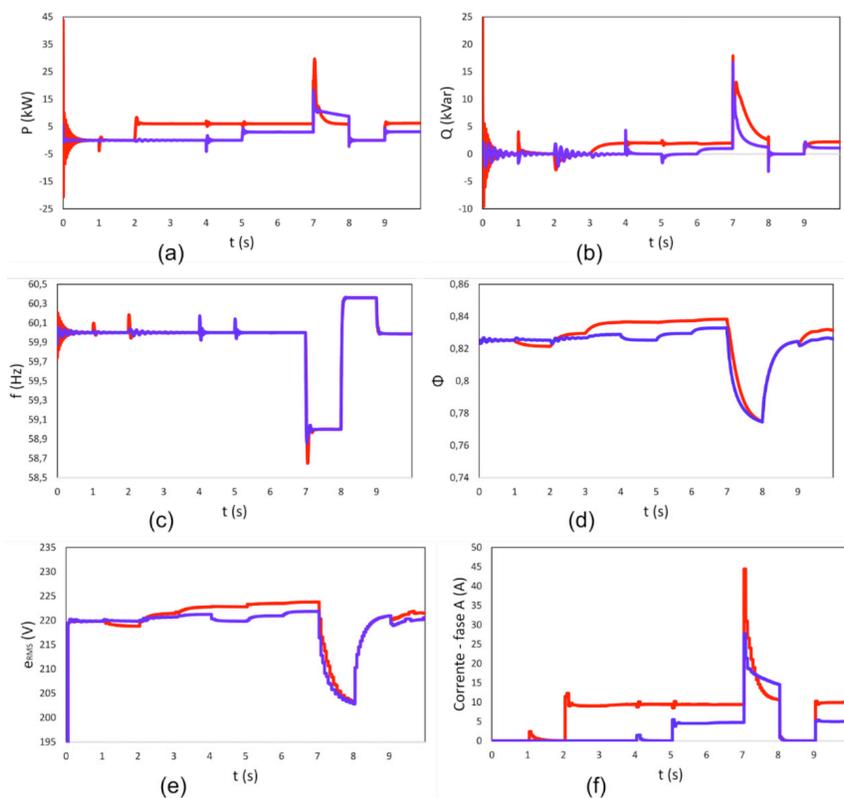


Figura 4 – Resultados de simulação. (a) Potência ativa P ; (b) Potência reativa Q ; (c) Frequência f ; (d) Fluxo Φ ; (e) Tensão sintetizada pelo conversor em RMS e (f) as correntes da fase A.

A sincronização ocorre de forma correta, observa-se na Figura 4(c) que os conversores sintetizam um valor igual a frequência nominal da rede de 60 Hz e em 4(e) amplitude da tensão próximo de $220 V_{rms}$, possibilitando o fechamento do disjuntor do conversor 1 em $t = 1$ s. Os valores de referência de potência ativa de 6 kW e potência reativa de 2 kVAr enviados para o controlador através de um degrau foram alcançados pelo conversor 1, conforme observa-se na Figura 4(a) e 4(b). Um comportamento similar ocorre no conversor 2, não há problemas no momento do fechamento do disjuntor e conexão em $t = 4$ s. Os valores de referência de potência ativa de 3kW e potência reativa de 1kVAr foram estabelecidos.

A mudança abrupta dos parâmetros da rede em $t = 7$ s gera um pico na corrente de fase do conversor, observado em 4(f), e a diminuição da frequência de operação do sistema. Em $t = 8$ s o disjuntor da rede é aberto e os conversores operam em paralelo e sem carga, observa-se em 4(a) e 4(b) que a potência fornecida é nula neste instante até que uma carga RL seja inserida em $t = 9$ s, assim cada conversor compartilha uma parcela da potência para alimentar a carga e os parâmetros de frequência nominal e tensão são reestabelecidos.

5 | BANCADA EXPERIMENTAL

A bancada experimental implementada é apresentada na Figura 5 e será descrita na sequência de acordo os aspectos funcionais e tecnológicos de cada uma das partes principais que a compõem. Com esta bancada é possível a simulação de uma MR com duas DERs passíveis de operarem conectadas na rede ou ilhadas, tal como simulado na seção anterior.

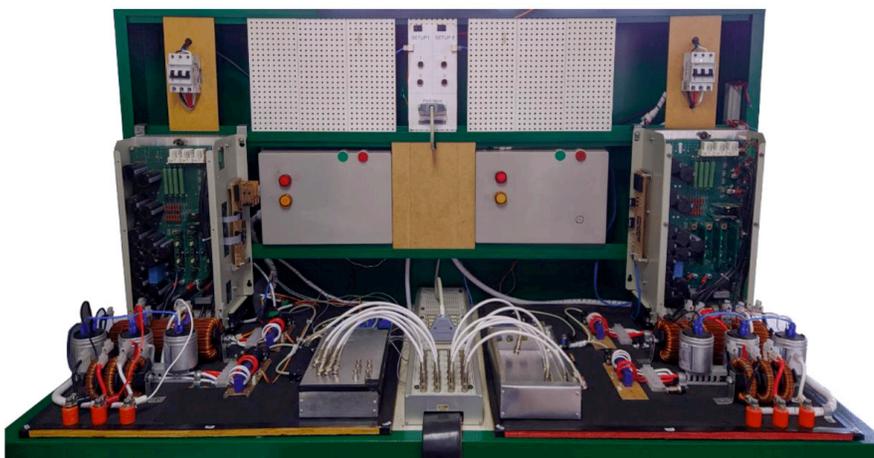


Figura 5-Bancada experimental desenvolvida em laboratório.

Fonte: Autor.

Uma vez que cada DER possui a mesma estrutura, apenas uma delas será descrita.

Sistema de controle digital: Na bancada experimental, a plataforma de controle digital permite a programação de controladores na placa controladora DS1103 da dSPACE diretamente através do MATLAB/Simulink®. A Figura 6 mostra a plataforma PC próxima à bancada experimental.



Figura 6—Computador próximo da bancada onde é feita a programação da MR.

Fonte: Autor.



Figura 7—Kit de controle digital da dSPACE.

Fonte: Autor.

A DS1103, mostrada na Figura 7, possui circuitos de interface eletrônica para aquisição de sinais analógicos, pinos entrada-saída, pinos para modulação PWM, comunicação serial, dentre outros.

Conversor PWM: O conversor permite que o barramento CC seja sintetizado através de uma fonte trifásica em corrente alternada (CA) por meio de um retificador não-controlado. Para prover mais flexibilidade e permitir a interface entre a placa controladora DS1103 e os circuitos de acionamento dos IGBTs, uma placa de circuito impresso foi

elaborada conforme mostrado na Figura 8, que recebe os sinais PWM gerados no sistema de controle e os envia para o acionamento de cada braço do conversor, ao mesmo tempo em que monitora sinais de erro oriundos dos circuitos de acionamento dos IGBTs para fins de proteção.

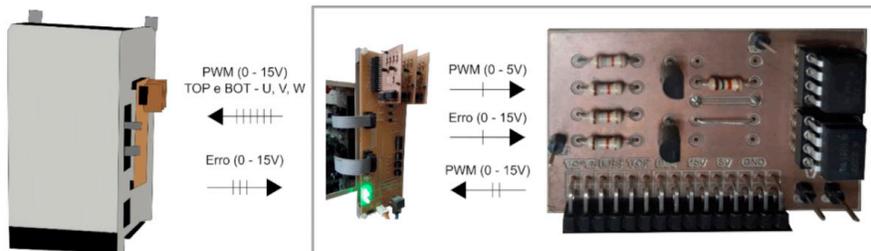


Figura 8—Placa de acionamento do conversor.

Fonte: Autor.

Filtro LCL e Disjuntor: Na saída do conversor é acoplado um filtro LCL como mostrado na Figura 9. Após este filtro existe um disjuntor que é implementado pelo circuito de manobra mostrado na Figura 10. Ele é composto por fusíveis modelo diazed, contadores, temporizadores, sinaleiras e botoeiras. O estado de condução dos contadores é determinado por meio de um relé acionado diretamente pela placa DS1103.



Figura 9—Filtro LCL.

Fonte: Autor.

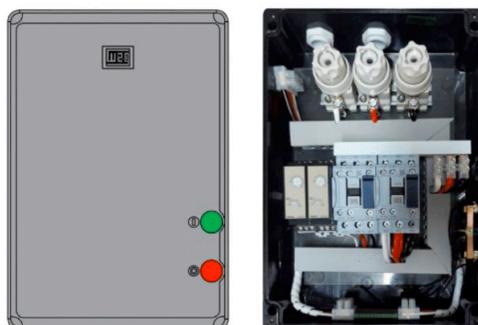


Figura 10—Circuito de manobra.

Fonte: Autor.

Sensores de tensão e corrente: Foram implementadas placas de circuito impresso para os sensores de efeito Hall usados para medição das tensões e correntes. As placas

são ilustradas na Figura 11. Os modelos utilizados são os da LEM, o LV 20-P para medição da tensão e o LA 55-P para corrente.

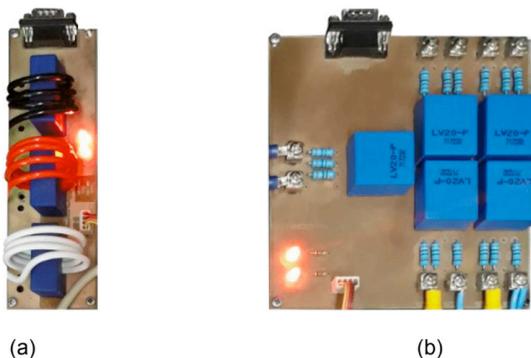


Figura 11–(a) placa com sensores LA 55-P, (b) placa com sensores LV 20-P.

Fonte: Autor.

Circuitos de condicionamento de sinais: Os sensores LV 20-P e LA 55-P sintetizam correntes que são transformadas em níveis de tensão, filtradas e condicionadas para níveis compatíveis com os conversores analógico-digital da DS1103. A Figura 12(a) mostra estas placas que estão acondicionadas em caixas metálicas de alumínio para diminuir o efeito de ruídos eletromagnéticos. Por fim, cada sinal já condicionado é enviado por meio de cabos blindados para a DS1103 como mostrado na Figura 12(b).

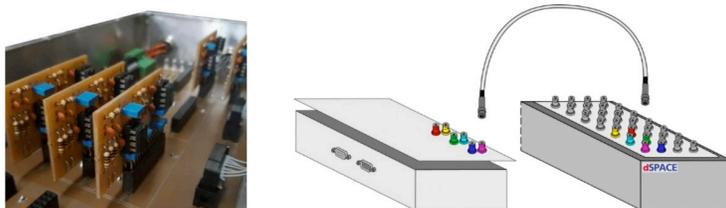


Figura 12 –(a) Placas de condicionamento de sinal e (b) circuito de manobra.

Fonte: Autor

6 | CONCLUSÕES

Neste capítulo, foi descrito brevemente o *synchronverter* baseado no princípio da máquina síncrona virtual. Foram obtidos resultados de simulação numa microrrede em escala reduzida com duas DERs. A estratégia de sincronização com a rede, a síntese de

referências de potência e o compartilhamento de carga foram verificados via simulação. Por fim, foram descritos os principais aspectos tecnológicos acerca da implementação da bancada experimental simulada e que será utilizada para a validação de controladores para conversores em microrredes em aplicações futuras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INCT-GD e ao CNPQ processo 465640/2014-1 pelo apoio financeiro, e à Typhoon Inc. pela licença completa do Typhoon HIL Control Center. O professor Márcio Stefanello agradece a CAPES processo 423765/2016-7 pelo suporte financeiro para a realização da bancada experimental.

REFERÊNCIAS

BECK, H. P.; HESSE, R. **Virtual Synchronous Machine**. 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization (EPQU), Barcelona. pp. 1-6, October 2007, doi: 10.1109/EPQU.2007.4424220.

GUERRERO, J. M.; CHANDORKAR, M.; LEE, T.; LOH, P. C. **Advanced control architectures for intelligent microgrids-Part I: Decentralized and hierarchical control**. IEEE Transactions on Industrial Electronics. vol. 60, n. 4, pp. 1254-1262, April 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2194969.

IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers. IEEE Std 2030.7-2017, pp.1-43, 23 April 2018, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8295083.

IEEE Standard for the Testing of Microgrid Controllers. IEEE Std 2030.8-2018, pp.1-42, 24 August 2018, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8444947

ZHONG, Q.; WEISS, G. **Synchronverters: Inverters That Mimic Synchronous Generators**. IEEE Transactions on Industrial Electronics. vol. 58, n. 4, pp. 1259-1267, April 2011, doi: 10.1109/TIE.2010.2048839.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidentes fatais 112, 113, 117

AD633 131, 132, 133, 135, 136, 137, 138

Análise luminotécnica 25

Arduino 37, 39, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 59, 111, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 128, 129, 130

Automação 9, 22, 36, 38, 47, 48, 59, 119, 121, 123, 127, 128, 150, 154, 155

Azeite 159, 160, 161, 163, 168

B

Backflashover 11, 12, 19, 20, 21, 22, 60, 61, 62, 70, 71, 72, 73

Bancada experimental 77, 78, 84, 85, 88

Bluetooth 36, 37, 39, 46, 47, 48, 49, 122

Boxplot 112, 113, 114, 115, 116

C

Classificadores 159, 160

Controle volt-watt 89

Costs 21, 36

D

DAC 131, 132, 134, 135, 137, 138

Descargas atmosféricas 11, 12, 60, 61

Design automation 36, 141

Distúrbios da voz 1

E

Eletricidade 45, 112, 113, 118, 120, 121, 129

Eletrodo de superfície 140

Eletromiografia 140, 143, 147

EMG 140, 141, 142, 143, 145

Espectrofotometria 50

Estágio de saída 131, 132, 133, 134, 136, 138

Estudo de cores 25

Extensão 148, 157

F

Fotometria 103, 104, 105

G

Geração solar 89, 90, 101

Gerador de ondas arbitrárias 131, 132, 138, 139

I

Iluminação no ambiente hospitalar 25

Infrared sensors 36

Instrumentos de medição 103

Internet das coisas 119, 120, 122, 130

L

Lighting control 36, 49

Linhas de transmissão 11, 12, 60, 61, 117

M

Microcontroladores 103

Microprocessador 36

Microrrede 77, 78, 79, 87

O

Óleo vegetal 159, 161

P

Perceptron multicamadas 1, 3

Processamento de imagem 159

Q

Qualificação profissional 148, 149, 155, 156

R

Raspberry Pi 46, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 159, 160, 163

Reconhecimento de padrão 159, 160

Recursos distribuídos de energia 77, 78

S

Sistemas de aterramento 11, 12, 61

Sobretensão 89, 91, 98, 100, 101

Software de controle 50

T

Transformada Wavelet Packet 1, 2

U

Usinas termelétricas 148, 149, 152, 155

ENGENHARIA ELÉTRICA:

COMUNICAÇÃO INTEGRADA
NO UNIVERSO DA ENERGIA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

COMUNICAÇÃO INTEGRADA
NO UNIVERSO DA ENERGIA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021