

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

2

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

2

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
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 Internazionale 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
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
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 Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
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 Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
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 Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
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 Federacl 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
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª 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
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
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
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. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
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
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Miraniide 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. 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
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza 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. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª 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
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
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
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
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

Engenharia elétrica: desenvolvimento e inovação tecnológica 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
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: desenvolvimento e inovação tecnológica 2 / 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 978-65-5983-133-3

DOI 10.22533/at.ed.333211706

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. 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

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

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 sub áreas 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

SINCRONIZAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA HIDRÁULICA A PARTIR DA TÉCNICA DE PLL COM ACOPLAMENTO ÓTICO

Joelson Lopes da Paixão
Mauro Fonseca Rodrigues
José Oizimas Junior

DOI 10.22533/at.ed.3332117061

CAPÍTULO 2..... 15

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE NEWTON-RAPHSON E DE SOMA DE CORRENTES PARA SOLUÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Hugo Andrés Ruiz Flórez
Cristiane Lionço Zeferino
Leandro Antonio Pasa
Gloria Patricia Lopez Sepulveda
Eduarda Abatti Dahlem

DOI 10.22533/at.ed.3332117062

CAPÍTULO 3..... 29

AUTOMATED LOAD-BALANCING PROCESS ANALYSIS IN LOW-VOLTAGE GRID USING PETRI NETS

José Ruben Sicchar Vilchez
José Reinaldo Silva
Carlos Tavares da Costa Júnior

DOI 10.22533/at.ed.3332117063

CAPÍTULO 4..... 41

ANÁLISE ESTÁTICA E DINÂMICA DA INFLUÊNCIA DO GENERALIZED UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Ednei Luiz Miotto
Bruno Rafael Gamino
Elenilson de Vargas Fortes
Percival Bueno de Araujo
Luís Fabiano Barone Martins

DOI 10.22533/at.ed.3332117064

CAPÍTULO 5..... 55

SOLUÇÕES INOVADORAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINIGERAÇÃO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM

André Ross Borniatti
Pedro Daniel Bach Montani
Luís Eduardo Rocha Nepomuceno
Daniel Pinheiro Bernardon
Luciane Neves Canha
Lucas Thadeu Orihuela da Luz

Giuliano Bolognesi Archilli
Isabel Figuera Hartmann
Marcia Henke
Táisson Soares Graebner
Tiago Bandeira Marchesan

DOI 10.22533/at.ed.3332117065

CAPÍTULO 6..... 69

LABORATÓRIO SMART GRID: AMBIENTE CIBER-FÍSICO PARA TESTES SISTÊMICOS DE FUNCIONALIDADES DE REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

Luiz Henrique Leite Rosa
Marcio Ribeiro Cruz
Carlos Frederico Meschini Almeida
Nelson Kagan
Alexandre Dominice

DOI 10.22533/at.ed.3332117066

CAPÍTULO 7..... 82

GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO CAMPUS SALVADOR: IMPLEMENTANDO AÇÕES PARA REDUZIR O CONSUMO COM A CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA

Carollina Silva de Santana
Armando Hirohumi Tanimoto

DOI 10.22533/at.ed.3332117067

CAPÍTULO 8..... 91

TRANSIENT ANALYSIS OF CLASSICAL AND MODIFIED LUMPED PARAMETER TRANSMISSION LINE MODEL IN POWER SYSTEMS

Jaimis Sajid León Colqui
Sérgio Kurokawa
Anderson Ricardo Justo de Araújo
José Pissolato Filho

DOI 10.22533/at.ed.3332117068

CAPÍTULO 9..... 109

ALGORITMO EVOLUCIONÁRIO ADAPTATIVO APLICADO NA ESTIMAÇÃO DE ESTADO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA EM WAMS

Lucas Luiz Lunarti
Maury Meirelles Gouvêa Júnior

DOI 10.22533/at.ed.3332117069

CAPÍTULO 10..... 117

DESENVOLVIMENTO DE MODELO E PROTÓTIPO PARA OTIMIZAÇÃO DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR PLACAS FOTOVOLTAICAS

Vinicius Pedroza Delsin
Antonio Newton Licciardi Junior

DOI 10.22533/at.ed.33321170610

CAPÍTULO 11	132
SÍNTESE DE UM CONTROLADOR MPC PARA O CONDICIONAMENTO DE AR DO EDIFÍCIO MODERNO	
Míriam Tvrzská de Gouvêa Catarina Gomes dos Santos Alessandro Ferreira da Silva José Pucci Caly Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa	
DOI 10.22533/at.ed.33321170611	
CAPÍTULO 12	145
SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO INDOOR BASEADO EM MODELO DE HAMMERSTEIN UTILIZANDO TRILATERAÇÃO	
Almir Souza e Silva Neto Paulo Henrique Gonçalves Melo Fernando Antônio Tocantins Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.33321170612	
CAPÍTULO 13	159
ESTUDO EXPERIMENTAL DA ARGILA KIMBERLITO DO BRASIL NA APLICAÇÃO DE ANTENAS RESSOADORAS DIELÉTRICAS NA FAIXA DE MICRO-ONDAS	
Diêgo da Mota Colares Roterdan Fernandes Abreu João Paulo Costa do Nascimento Juscelino Chaves Sales Antonio Sergio Bezerra Sombra	
DOI 10.22533/at.ed.33321170613	
CAPÍTULO 14	167
LEVANTAMENTO DE NÃO CONFORMIDADES TÉRMICAS (NCT) ATRAVÉS DE ANÁLISES TERMOGRÁFICAS NA SUBESTAÇÃO FORTALEZA II DA COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO	
Fagner Leite Sales	
DOI 10.22533/at.ed.33321170614	
CAPÍTULO 15	173
EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE TUCUMÃ POR SOLVENTE UTILIZANDO ETANOL E METANOL	
Yanael Lima de Medeiros Mariana Silva Dorta de Melo Amanda Santana Peiter	
DOI 10.22533/at.ed.33321170615	
SOBRE OS ORGANIZADORES	179
ÍNDICE REMISSIVO	180

CAPÍTULO 5

SOLUÇÕES INOVADORAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINIGERAÇÃO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM

Data de aceite: 01/06/2021

André Ross Borniatti

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria - RS
<http://lattes.cnpq.br/1414695090460054>

Pedro Daniel Bach Montani

Mont Soluções em Engenharia Ltda
Porto Alegre - RS
<http://lattes.cnpq.br/8805246875137967>

Luís Eduardo Rocha Nepomuceno

Força Aérea Brasileira - FAB
Santa Maria - RS
<http://lattes.cnpq.br/5399537488211124>

Daniel Pinheiro Bernardon

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria - RS
<http://lattes.cnpq.br/6004612278397270>

Luciane Neves Canha

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria - RS
<http://lattes.cnpq.br/6991878627141193>

Lucas Thadeu Orihuela da Luz

Mont Soluções em Engenharia Ltda
Porto Alegre - RS
<http://lattes.cnpq.br/9933402019800626>

Giuliano Bolognesi Archilli

CPFL Energia S.A.
Campinas - SP
<http://lattes.cnpq.br/6450211060332960>

Isabel Fighera Hartmann

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria - RS
<http://lattes.cnpq.br/4411125777651276>

Marcia Henke

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria - RS
<http://lattes.cnpq.br/6300679718400915>

Táisson Soares Graebner

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria - RS
<http://lattes.cnpq.br/7796686248439407>

Tiago Bandeira Marchesan

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Santa Maria - RS
<http://lattes.cnpq.br/2318413245910780>

RESUMO: O artigo propõe a implementação de um sistema de gestão de energia em uma Instituição Pública de Ensino baseada na NBR ISO 50.001/2018 (ABNT, 2018), visando a redução de despesas com energia elétrica. Serão descritas as etapas utilizadas na abordagem, com a finalidade de colocar em prática métodos e técnicas proativas para a supervisão, controle e aquisição de dados em instituições públicas. O projeto de pesquisa e desenvolvimento foi desenvolvido no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e apresenta uma estratégia de gestão focada no uso inteligente das informações, respeitando as características das instituições públicas de ensino. Também serão descritas neste trabalho as demais ações implementadas institucionalmente pela Universidade para a redução de perdas e desperdício de energia elétrica, tais como instalação de bancos de capacitores, revisão no processo administrativo de pagamento das

faturas, orientações aos agentes envolvidos sobre a utilização racional da energia elétrica e ajuste na demanda contratada junto a RGE, concessionária local de distribuição de energia elétrica, além dos resultados obtidos. Os resultados já obtidos demonstram uma redução média de 10% na fatura mensal de energia elétrica da UFSM.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo de Energia Elétrica; Gestão de energia elétrica; Recursos Públicos; Eficiência energética.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN ENERGY EFFICIENCY AND PV MICROGENERATION AT FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA - UFSM

ABSTRACT: The article proposes the implementation of an energy management system in a Public Educational Institution based on NBR ISO 50.001 / 2018 (ABNT, 2018) with a view to reduce electricity expenses. The necessary steps for its implementation will be described in order to implement proactive methods and practices for the supervision, control and acquisition of data in public institutions. This work was developed at the Technology Center (CT) of the Federal University of Santa Maria (UFSM) and presents a management strategy focused on the intelligent use of information, respecting the characteristics of public educational institutions. The other actions institutionally implemented by the University to reduce losses and waste of electrical energy and their results, such as the installation of capacitor banks, review of the administrative process for bill payment, guidance to the agents involved on the rational use of electricity and adjustment in demand contracts. Partial results already demonstrate an average reduction of 10% in UFSM's monthly electricity bill.

KEYWORDS: Energy consumption; Demand limits, Electric Energy Management; Public Resources; Energy efficiency.

1 | INTRODUÇÃO

Entre as Instituições Públicas de Educação Superior, encontram-se, atualmente, 69 (sessenta e nove) Universidades Federais (MEC, 2020). Essas instituições desempenham um importante papel no desenvolvimento científico e tecnológico do país, respondendo por uma parcela significativa da produção científica brasileira e pela formação de profissionais nas mais diversas áreas do conhecimento. Constatou-se que, em grande parte destas instituições públicas, a conta de energia elétrica é um dos maiores custos do orçamento anual. De acordo com a Secretaria de Ensino Superior (SESu) do Ministério da Educação, o valor total pago em 2015 apenas pelas Universidades Federais foi de cerca de R\$ 430.000.000,00. Esta situação motivou uma chamada pública da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com utilização de recursos dos programas de P&D e Eficiência Energética (ANEEL, 2016).

Este trabalho se originou de um projeto de Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética, denominado Projeto P&D 0396-0038/2016, executado pela RGE, UFSM e empresa Mont Soluções, com o objetivo de propor ações proativas para reduzir as despesas com a energia elétrica e promover a conscientização quanto à utilização eficiente deste insumo. A implementação do piloto proporcionou o

desenvolvimento e instalação do Sistema de Gestão de Energia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), interior do estado do Rio Grande do Sul.

O sistema de gestão de energia elaborado apresenta potencial de redução de despesas com energia elétrica, contemplando metodologia, ações eficientes de gestão, controle da contratação, monitoramento da utilização da energia e redução valor pago na fatura de energia elétrica para a distribuidora local. O sistema contempla a elaboração de um programa de eficientização com metas e justificativas das ações, apoiados pela administração da UFSM. O objetivo é empreender ações visando conscientizar e envolver todo o efetivo de servidores (professores e técnico-administrativos), alunos e demais partes interessadas no programa, estabelecer índices máximos de consumo, avaliar as oportunidades com a implementação de projeto de minigeração e eficiência energética baseado em fontes renováveis, dentre outras funções.

Para que fosse possível a redução das despesas com energia elétrica na UFSM foi criada uma Equipe para implementar e gerir o que se denominou de Sistema de Gestão de Energia (SGE) adotando a Norma NBR ISO 50.001/2018 (ABNT, 2018). A norma define a necessidade de criação de uma política energética, indicadores de desempenho energético, definição de objetivos e metas da organização, que devem ser atualizadas periodicamente. A forma de aquisição e utilização da energia devem ser analisadas no início do trabalho e revisadas periodicamente.

Este artigo apresenta a sistemática implementada no projeto, detalhando as ações de eficiência energética, equipamentos para aquisição de dados utilizados, software para acompanhamento do sistema, ações de eficiência energética e instalação de um sistema solar fotovoltaico. O artigo também explora as ações efetivadas pela UFSM de forma institucional, o que também contribui muito para o alcance dos resultados.

2 | SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA

Considerando-se a quantidade de unidades e extensão física do campus, definiu-se que o SGE deveria ser implantado no prédio do Centro de Tecnologia (CT) onde já há um nível de maturidade em relação ao tema, criando, desta forma, condições favoráveis ao a um case modelo que favoreça o ajuste dos processos e controle de documentos. Desta forma, os resultados podem ser alcançados mais rapidamente. Após a consolidação no CT, planeja-se que o SGE possa ser estendido para as demais unidades da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

A NBR ISO 50.001/2018 (ABNT, 2018) preconiza desde a aquisição, utilização, práticas de consumo consciente, eficiência energética, entre outros pontos referente a energia elétrica.

O sistema foi estruturado de forma a atender todos os requisitos da Norma e adequá-los a uma Instituição Pública de Ensino Superior. Pela amplitude da instituição, atenção

especial deve ser dada à comunicação e responsabilidade entre as diversas unidades.

Com a finalidade de monitorar os resultados e os indicadores de desempenho energético do CT foi instalado um medidor inteligente de energia elétrica em sua subestação. Este permitirá a análise individual de consumo do prédio, além do medidor de entrada de energia junto à concessionária que fornece os dados de toda a Universidade. O medidor é dotado de comunicação e envia os registros a um banco de dados da universidade através de rede sem fio (*LoRaWAN*). Os dados são adquiridos automaticamente pelo software, juntamente com os demais parâmetros para que o cálculo dos indicadores seja realizado com a menor intervenção humana possível.

Para acompanhar e apoiar a implementação, monitorar resultados e centralizar a documentação, foi desenvolvido um software para suportar todas as funções do SGE, de forma que a gestão do sistema seja efetuada com eficácia, garantindo o pleno controle de todos os documentos do sistema. Considerando que o software foi desenvolvido concomitantemente à implementação do sistema, é importante que a plataforma tenha funções que possam facilmente ser parametrizadas para contemplar necessidades futuras visando garantir plena aderência a todas as necessidades do projeto. Para garantir que o software suporte satisfatoriamente os requisitos do projeto a especificação foi elaborada considerando esta particularidade. A Figura 1 demonstra uma tela do sistema.



Figura 1 - Tela do software de Gestão de Energia

Nesta etapa o projeto alcançará todas as unidades do CT e a participação e conscientização da quantidade máxima de servidores e partes interessadas possíveis. As redes sociais, *Facebook* e *Instagram*, estão sendo empregadas com o objetivo de divulgação das ações e resultados para a comunidade geral. Também estão previstos treinamentos no

sistema e conscientização na utilização racional e inteligente da energia elétrica.

Como parte integrante deste sistema tem-se a análise das instalações e a implementação de ações de eficiência energética. Um primeiro diagnóstico energético foi realizado, conforme as seguintes etapas:

- Mensuração do consumo de energia elétrica nos principais usos finais e indicações de ações de eficiência energética envolvendo a substituição de tecnologias mais eficientes nas suas instalações;
- Estudo para instalação de sistema de geração de energia elétrica a partir de painéis solares de acordo com as regras da Geração Distribuída (ANEEL, 2012 e 2015);
- Estruturação de um processo de Etiquetagem das Instalações das Edificações da Unidade;
- Análise da inserção das disciplinas de eficiência energética e geração distribuída na grade curricular dos cursos de Engenharia Elétrica, Civil e Arquitetura, além de suas pós-graduações;
- Estudos referentes ao impacto da geração distribuída na rede da distribuidora:
 - Perfil de tensão no(s) alimentador(es);
 - Carregamento do(s) transformador(es) (medir e simular);
 - Injeção de harmônicos;
 - Perdas (aumento ou redução);
 - Ilhamento;
 - Correção de fator de potência e serviços ancilares, incluindo modelos de remuneração para o consumidor;
 - Limite e sustentabilidade da inserção de geração distribuída na rede local;
 - Eficiência técnica e econômica da(s) tecnologia(s) escolhida(s).

Esta análise resultou na implementação das seguintes ações:

- Substituição de 1.300 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W e reatores, por lâmpadas com tecnologia LED tubular de 18W nas salas de aula e/ou salas administrativas. Os reatores utilizados são do tipo eletrônicos e consomem 1W;
- Substituição de 56 pontos com lâmpadas e reatores de VSAP (Vapor de Sódio de Alta Pressão) de 250W por luminárias de LED de 150W na iluminação de vias públicas.
- Foi implementado também um sistema de telegestão para a otimização da utilização da iluminação das vias públicas internas da UFSM, visando a redução

da potência em horários de menor circulação, ou seja, durante a madrugada e, conseqüentemente redução de custos com energia elétrica, conforme demonstrado na Figura 2



Figura 2 - Substituição das Luminárias de iluminação pública

Para as ações na iluminação, foi considerada a necessidade de atendimento à NBR 5413 com realização de medições antes e depois das substituições afim de que o nível de iluminamento atendesse a referida norma.

- Instalação de um sistema de geração de energia elétrica utilizando painéis solares com capacidade instalada de aproximadamente 100 kWp. Figura 3 demonstra a planta instalada.



Figura 3 - Planta de minigeração solar fotovoltaica da UFSM

Devido à grande área física da UFSM e a limitação financeira definida para a

elaboração deste estudo, restaram inúmeras outras oportunidades de ações de eficiência energética em diversos setores.

Buscando a maximização de resultados existem outras iniciativas como sendo parte integrante das ações de implementação do sistema de gestão energética em andamento, tais como:

- Inclusão e monitoramento de resultados através de Sistema de arrefecimento geotérmico e rastreamento solar inteligente de módulos fotovoltaicos, conforme demonstrado na figura 4.



Figura 4 - Planta experimental reconfiguração geotérmica da UFSM

- Otimização Recursos Integrados de Geração na UFSM
- Impacto da Minigeração nas Redes Elétricas da UFSM
- Arranjos Técnico e Comercial da Minigeração
- Sistema de Telegestão da Iluminação Pública
- Iluminação de Salas de Aula
- Sistemas de Climatização
- Sistema de Comunicação dos Medidores com *LoRaWAN*
- Central de Medição

A figura 5 demonstra os pontos de medição instalados no Campus de Santa Maria.



LoRaWAN™



Figura 5 - Central de medição e medidores de comunicação sem fio

No total são 60 medidores inteligentes de energia instalados nas unidades acadêmicas da UFSM, com acesso remoto via smartphone, notebook, tablet, etc., possibilitando monitoramento do consumo de energia elétrica em tempo real. A figura 6 mostra a localização dos medidores instalados no campus de Santa Maria.

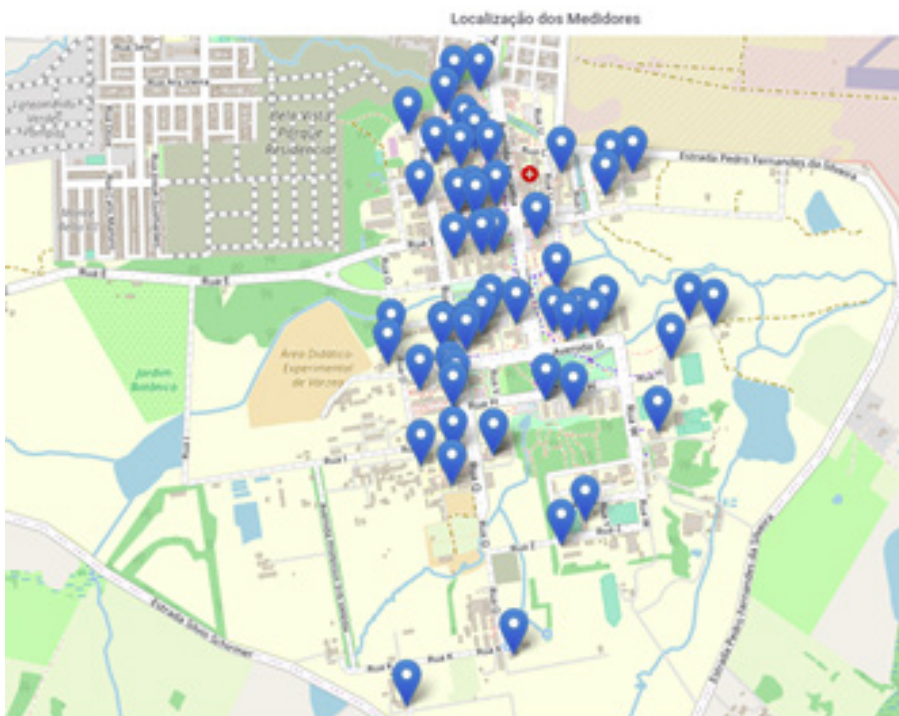


Figura 6 - Localização dos medidores no Campus Santa Maria

3 | DEMAIS AÇÕES IMPLEMENTADAS

Com o objetivo de controlar e reduzir os custos com energia elétrica na Universidade Federal de Santa Maria diversas ações foram realizadas. Entende-se que várias pequenas ações têm resultados significativos em seu somatório. As principais ações são relatadas abaixo.

a. Ações para evitar o pagamento de multas:

Ajuste no processo administrativo de pagamento das faturas de energia elétrica

O processo foi revisto e redefinido. A partir de outubro/2019 os pagamentos são executados ainda dentro do prazo de vencimento da fatura, logo sem a incidência de multas de mora.

Instalação de bancos de capacitores

Com o objetivo de ajustar o fator de potência das instalações da Universidade e estancar o pagamento de multas por excesso de reativos foram instalados dois bancos de capacitores totalizando 600 kVAr, um em cada troncal dos alimentadores da UFSM. O investimento foi de R\$ 40.000,00. A partir de agosto/2019 o fator de potência foi ajustado e não houve mais a incidência de multas por este motivo. A figura 7 mostra o equipamento instalado na avenida principal do Campus da UFSM em Santa Maria e a figura 8 demonstra a evolução dos pagamentos devido às multas por excesso de reativos.



Figura 7 - Banco de Capacitores instalado na UFSM



Figura 8 - Pagamento de multas por excesso de reativos

Ajuste na contratação de energia junto à RGE

Foi ajustado o contrato de fornecimento junto a RGE, concessionária local, conforme legislação vigente (BRASIL, 1993; CPFL ENERGIA, 2018; ANEEL, 2010; ANEEL, 2017). A partir de setembro/2019 não existem mais valores na conta por ultrapassagem da demanda contratada.

b. Ações visando evitar o desperdício de energia elétrica:

Orientações quanto a utilização das salas de aulas e salas administrativas

Algumas orientações ao corpo de professores e técnico-administrativos da UFSM foram realizadas com o objetivo de evitar o desperdício de energia elétrica, tais como:

- Uso moderado de ar-condicionado e elevadores;
- Desligar tudo nas salas antes de sair;
- Desligar frigobares em salas e usar refrigeradores coletivos;
- Desligar Quentinhas após as 18h;
- Evitar banhos na Casa do Estudante entre 18 e 21h.

Estas orientações foram disseminadas a partir de áudios enviados pela Reitoria a cada Centro de Ensino e também por mensagens no site e e-mail's para todos os servidores. A adesão foi ampla e contribui muito para que os resultados fossem alcançados.

Além disto, ações de divulgação em eventos no início de cada semestre, para as informações atingirem principalmente os novos alunos e também em eventos de acolhimento de novos servidores da UFSM, de forma a ampliar a disseminação destas informações.

Instalação de 12 lâmpadas LEDs para iluminação do estacionamento principal do CT

Em continuidade a instalação de luminárias com tecnologia LED, a UFSM instalou mais 12 pontos de iluminação pública em substituição às lâmpadas vapor de sódio. Estas luminárias possuem tecnologia mais moderna e rendimento mais alto o que possibilita a redução da potência mantendo a intensidade luminosa anterior. Estas luminárias são equipadas com dispositivos de comunicação que permitem telegerenciamento, logo podem reduzir o fluxo luminoso durante a madrugada, o que contribui para baixar os custos com a energia elétrica.

4 | RESULTADOS

O resultado principal deste projeto é a implementação do Sistema de Gestão de Energia no CT, onde será possível padronizar, monitorar e controlar as despesas com energia elétrica da UFSM. Planeja-se a expansão futura deste Sistema aos demais Centros da Universidade.

Em um dos pilares do sistema, estão as ações de eficiência energética. Os resultados das ações foram:

- Energia Gerada pelo SSFV de 142,44 MWh/ano;
- Energia economizada na iluminação de 82,8 MWh/ano;
- Demanda retirada da ponta de 25,03 kW;
- Investimento de aproximadamente R\$ 1 MM
- Redução anual na fatura de R\$ 127.127,69

Outros resultados referentes as demais ações implementadas na UFSM:

- Retirada de todos os valores de multas pagas pela Universidade na fatura de energia elétrica, seja por atraso no pagamento, excesso de reativos ou ultrapassagem na demanda contratada.
- Redução do desperdício através da orientação aos professores, alunos, servidores técnico-administrativos e demais agentes envolvidos quanto a correta utilização da energia elétrica.

Somando estes resultados, tem-se a redução média de aproximadamente 10% na fatura mensal de energia elétrica da UFSM (cerca de R\$ 120.000,00), conforme demonstrado na figura 9.

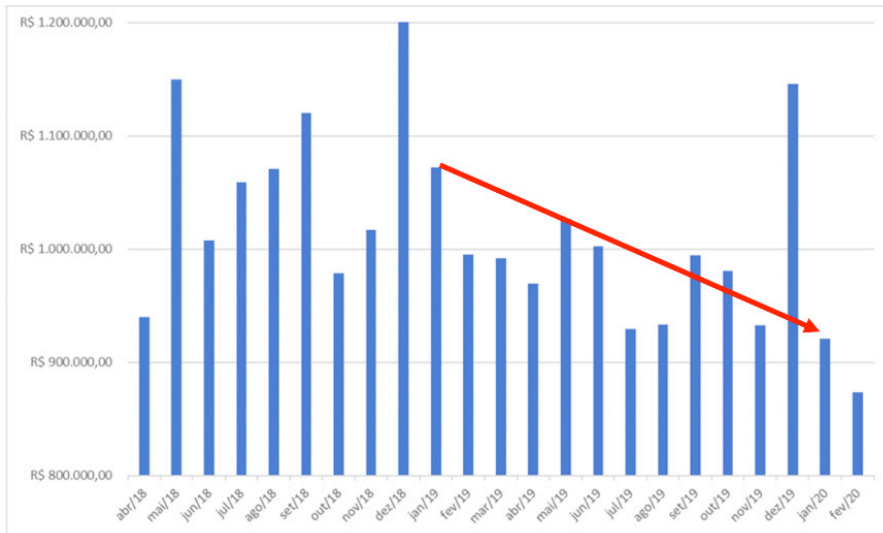


Figura 9 - Evolução da Fatura de Energia Elétrica da UFSM

Salienta-se que a UFSM tem uma entrada única de energia elétrica e por enquanto a verificação dos resultados financeiros leva em conta todas as unidades do Campus da Universidade na cidade de Santa Maria.

A análise foi realizada até o mês de fevereiro de 2020, pois a partir do dia 17 de março de 2020 foi decretada a suspensão das atividades acadêmicas e administrativas na USFM, devido à pandemia de Covid-19, impactando neste quesito. Nota-se uma redução de consumo no ano de 2019, onde as ações já estão mais consolidadas, visto que as medidas começaram a ser tomadas no último trimestre de 2018.

5 | CONCLUSÃO

O uso racional da energia é uma necessidade para a preservação dos recursos da natureza e redução de custos, portanto, depende de uma mudança de cultura associada a várias ações como ajuste da demanda contratada, conscientização dos servidores, alunos e demais pessoas envolvidas para que os mesmos estejam engajados e comprometidos e, as metas de economia/eficiência sejam alcançadas. Para isso todos no meio acadêmico devem ser constantemente incentivados a contribuir com os esforços para a economia de energia e seus benefícios para a organização e para a sociedade como um todo. A UFSM possui cerca de 30.000 alunos que se renovam permanentemente e terão grande potencial para disseminar os conceitos de uso racional da energia em suas áreas de atuação na sociedade.

Considerando que a UFSM é uma universidade pública, quando se refere à redução de custos, pode-se considerar esta redução expandida para toda a sociedade, uma vez

que os impostos pagos por todos os cidadãos são utilizados para este fim, inclusive. Como resultado secundário e não menos importante, a UFSM terá mais recursos para destinar à educação, sua atividade fim.

Entre as ações consolidadas pela UFSM podem-se citar: instalação de medidores inteligentes de energia elétrica; software de Sistema de Gestão de Energia; usina de minigeração fotovoltaica; substituição de 1.300 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W por lâmpadas com tecnologia LED tubular de 18W nas salas de aula e salas administrativas da UFSM; substituição de 56 lâmpadas de VSAP (Vapor de Sódio de Alta Pressão) de 250W por luminárias de LED de 150W na iluminação de suas vias públicas, inclusão e monitoramento de resultados através de um sistema de arrefecimento geotérmico e reconfigurações fotovoltaicas solar; instalação de banco de capacitores (R\$ 40.000,00) para ajuste do fator de potência das instalações para evitar pagamento de multa na fatura de energia elétrica por excesso de reativos; ajuste no processo administrativo de pagamento das faturas de energia elétrica para serem executados no prazo e evitar incidência de multas de mora, entre outros, resultaram em uma redução na fatura mensal de energia elétrica. Entende-se que várias pequenas ações têm resultados significativos em seu somatório.

Somando estes resultados e analisando o período de abril de 2018 a fevereiro de 2020, atingiu-se uma redução de aproximadamente R\$ 200.000,00 (duzentos mil reais) na fatura de energia elétrica da UFSM.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – (CAPES – PROEX) – Código de Financiamento 001.

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro do Grupo CPFL Energia pelo projeto P&D 0396-0038/2016, aos programas de P&D e PEE regulados pela ANEEL e à Universidade Federal de Santa Maria – UFSM por apoiar o desenvolvimento da pesquisa através do Programa de Pós-Graduação em Energia Elétrica.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Chamada Nº. 001/2016** - Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”, Brasília, outubro 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656831/15136291/FAQ+1/d67acfd0-9919-4666-a448-1385cc83fa11>. Acesso em: 08 ago. 2020.

_____. **Resolução Normativa nº 414, 09 de setembro de 2010**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2018.

_____. **Resolução 482/2012. 17 de abril de 2012**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2020.

_____. **Resolução 687/2015. 24 de novembro de 2015.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2020.

_____. **Bandeiras Tarifárias.** Brasília, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/1VUdU57>. Acesso em 17 abr. 2018.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 50.001: Sistemas de Gestão da Energia - Requisitos com orientação para uso,** 31 de agosto de 2018.

BRASIL, **Lei n. 8.631,** de 04 de março de 1993. Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder executivo, Brasília, DF, 05 de mar. 1993. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1993/lei-8631-4-marco-1993-363230-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 17 abr. 2018.

CPFL ENERGIA. **Tarifas RGE.** 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2MNeZLg>. Acesso em: 15 jun. 2018.

MEC, Ministério da Educação. **Educação Superior.** 2020.

PROJETO P&D 0396-0038/2016. RGE, UFSM e Mont Soluções. **Soluções Inovadoras de Eficiência Energética e Minigeração em Instituição Pública Federal de Ensino Superior:** Uma Abordagem na UFSM. 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo evolucionário adaptativo 109, 112, 113
Antenas 159, 160, 161, 164
Ar condicionado 87, 88, 132, 133, 134, 135, 136, 139, 141, 143
Automação avançada da distribuição 69

B

Balanceamento de carga nas fases 29
Biocombustível 173, 178

C

Ciber-físico 69, 73, 80
Consumo de energia elétrica 40, 56, 59, 62, 82, 85, 117, 133
Controladores suplementares 41, 47, 51, 52
Controle preditivo 132

D

DRA 159, 160, 161, 163, 165

E

Eficiência energética 55, 56, 57, 59, 61, 65, 67, 68, 82, 90, 117, 119, 130, 133, 143
Emulador de redes 69, 70, 71, 72, 79, 81
Estabilidade a pequenas perturbações 41, 42, 48
Estabilizadores de sistema de potência 41, 42
Estimação de estados 109, 110, 111, 115

F

Fluxo de potência 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 26, 27, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 54, 72, 73, 113

G

Generalize unified power flow controller 41, 42
Gestão da energia 68, 82, 84, 88, 90
Gestão de energia elétrica 56

H

Hardware-in-the-loop 69, 72

M

Manutenção 2, 41, 118, 126, 128, 167, 168, 169, 170, 171, 172

Método de Newton-Raphson 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 26

Método de soma de correntes 15, 19

Método PLL 1

Micro-ondas 159, 160, 162, 165

Modelo de Hammerstein 145, 149

O

Óleo vegetal 173

Otimização 41, 42, 59, 61, 84, 117, 119, 121, 127, 130, 133, 137, 138

Otimização por enxame de partículas 41

P

PID-IMC 132, 133, 139

Placa fotovoltaica 117, 119, 120, 121, 122, 126, 128

PMU 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116

R

Recursos públicos 56

Redes de petri hierárquicas temporizadas 29

S

Simulações de sincronismo 1

Sincronização de geração distribuída 1

Sistema de localização indoor 145

Sistema elétrico 1, 2, 3, 14, 27, 41, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 167, 170, 172

Sistemas de distribuição de energia elétrica 15

Sistemas elétricos 2, 14, 16, 41, 70, 72, 109, 111, 115

Smart grids 29, 69, 81

Sohxlet 173

Sustentabilidade 59, 82, 83, 85, 90, 117, 130

T

Termografia 167, 169, 172

Termovisor 167





Transformadas de Clarke e Park 1, 3

Trilateração 145, 147, 148, 149, 154

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

2

-  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:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

 **Atena**
Editora
Ano 2021