

A close-up photograph of a hand holding a grey probe, testing a component on a circuit board. The background is blurred, showing other electronic components and lights. The image is overlaid with a brown, textured diagonal band.

Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
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 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^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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
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

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

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

Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

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

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

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

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

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

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

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

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

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

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

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

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica e de computação: atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 4 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-459-7

DOI 10.22533/at.ed.597200610

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

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

Boa leitura!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DESEMPENHO DE ISOLADORES SOB CHUVAS INTENSAS

Darcy Ramalho de Mello

DOI 10.22533/at.ed.5972006101

CAPÍTULO 2..... 15

TRAVESSIA DO RIO AMAZONAS E SUPERAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA: PROJETO ESTRUTURAL E DESAFIOS CONSTRUTIVOS

Juliana Nobre de Mello Motta

Roberto Luís Santos Nogueira

Luiz Carlos Mendes

Mariana Souza Rechtman

Renata Cristina Jacob de Jesus

DOI 10.22533/at.ed.5972006102

CAPÍTULO 3..... 27

PIRTUC: 15 ANOS DEPOIS - AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DE INSERÇÃO REGIONAL DA UHE TUCURUÍ

Sílvia Maria Frattini Gonçalves Ramos

Rosana dos Santos Brandão

DOI 10.22533/at.ed.5972006103

CAPÍTULO 4..... 41

PLANO DE CORTE MANUAL DE CARGA

Anderson Siqueira Nogueira

Rodrigo Damasceno Souza

Marcelo de Calazans Barcelos

Suellen Karine Braga Vieira

Walmir de Oliveira Campos

DOI 10.22533/at.ed.5972006104

CAPÍTULO 5..... 53

PROCEL RELUZ – ILUMINAÇÃO PÚBLICA E SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA EFICIENTES

Adjeferson Custódio Gomes

Adi Neves Rocha

Fabiano Rodrigues Soriano

Luís Ricardo Cândido Cortes

Taís Mirele Fernandes da Silva

Thiago Luís Campos Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.5972006105

CAPÍTULO 6..... 66

PRODUÇÃO EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM CUSTO OPERACIONAL REDUZIDO

Igor Ferreira do Prado

Taís Mirele Fernandes da Silva
Marcelo Bento Pisani
Rodrigo Dórea da Silva
DOI 10.22533/at.ed.5972006106

CAPÍTULO 7..... 77

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM: BREVE PANORAMA

Adjeferson Custódio Gomes
Fabiano Rodrigues Soriano
Fábio Alexandre Martins Monteiro
Luís Ricardo Cândido Cortes
Victor Santos Matos
Vinícius de Souza Andrade Wanderley

DOI 10.22533/at.ed.5972006107

CAPÍTULO 8..... 88

REPRESENTAÇÃO DE MODELOS RACIONAIS NO PROGRAMA ATP

Sergio Luis Varricchio

DOI 10.22533/at.ed.5972006108

CAPÍTULO 9..... 100

**UMA PROPOSTA PARA A IDENTIFICAÇÃO DA ORIGEM DOS FENÔMENOS
VTCDS EM INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS SUPRIDAS POR
TRANSFORMADORES DELTA-ESTRELA ATERRADA**

Adrian Ribeiro Ferreira
José Carlos de Oliveira
Paulo Henrique Oliveira Rezende

DOI 10.22533/at.ed.5972006109

CAPÍTULO 10..... 113

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO ESTADO DA
BAHIA**

Adjeferson Custódio Gomes
Fabiano Rodrigues Soriano
Giovanna Buscatti Gonçalves
Luís Ricardo Cândido Cortes
Victor Santos Matos
Vinícius de Souza Andrade Wanderley

DOI 10.22533/at.ed.59720061010

CAPÍTULO 11..... 129

**ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO HIDRO-SOLAR AUXILIADO POR UM SISTEMA DE
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NA FORMA DE HIDROGÊNIO JUNTO À USINA
HIDROELÉTRICA DE MANSO**

Juarez Corrêa Furtado Júnior
Ennio Peres da Silva
Vitor Feitosa Riedel
Demóstenes Barbosa da Silva

Diogo Oliveira Barbosa da Silva
Ana Beatriz Barros Souza
Hélio Nunes de Souza Filho

DOI 10.22533/at.ed.59720061011

CAPÍTULO 12..... 146

ANÁLISE DE METODOLOGIAS PARA DETECÇÃO DE PERDA DE EXCITAÇÃO EM GERADORES SÍNCRONOS

Mateus Camargo Franco
Eduardo Machado dos Santos
Alex Itczak
Arian Rodrigues Fagundes
Artur Henrique Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.59720061012

CAPÍTULO 13..... 160

DESENVOLVIMENTO DE FUNCIONALIDADES COMPUTACIONAIS PARA ATENDIMENTO DOS NOVOS PROCEDIMENTOS DE REDE PARA ESTUDOS DE DESEMPENHO HARMÔNICO

Cristiano de Oliveira Costa
Sergio Luis Varricchio
Franklin Clement Véliz
Fabiano Andrade Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.59720061013

CAPÍTULO 14..... 174

EXTRAÇÃO DE PARÂMETROS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ENSAIO DE CURTO-CIRCUITO

Guilherme Gomes dos Santos
Paulo Sérgio Zanin Júnior

DOI 10.22533/at.ed.59720061014

CAPÍTULO 15..... 188

APRENDIZADO AUTODIDATA DA LÍNGUA INGLESA

Lucas Eid Ramire Gonçalves
Luiz Eduardo Vieira Montanha
Marco Antonio Nagao

DOI 10.22533/at.ed.59720061015

CAPÍTULO 16..... 193

MODELAGEM DE PROCESSOS: UMA PROPOSTA DE MELHORIA PARA A ATUAÇÃO DAS EQUIPES DE SAÚDE DA ATENÇÃO BÁSICA

Ana Carla do Nascimento Santos
Jislane Silva Santos de Menezes
Almerindo Nascimento Rehem Neto
Adriana de Melo Fontes
Gilson Pereira dos Santos Júnior
Jean Louis Silva Santos

Cristiane Oliveira de Santana

DOI 10.22533/at.ed.59720061016

SOBRE A ORGANIZADORA.....	206
ÍNDICE REMISSIVO.....	207

ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO HIDRO-SOLAR AUXILIADO POR UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NA FORMA DE HIDROGÊNIO JUNTO À USINA HIDROELÉTRICA DE MANSO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 03 /07/2020

Juarez Corrêa Furtado Júnior

Universidade Estadual de Campinas

Ennio Peres da Silva

Universidade Estadual de Campinas

Vitor Feitosa Riedel

Universidade Estadual de Campinas
BASE Energia Sustentável

Demóstenes Barbosa da Silva

BASE Energia Sustentável

Diogo Oliveira Barbosa da Silva

BASE Energia Sustentável

Ana Beatriz Barros Souza

Universidade Estadual de Campinas

Hélio Nunes de Souza Filho

Universidade Estadual de Campinas

RESUMO: O histórico de geração de energia na Usina Hidrelétrica de Manso mostra que, nos últimos 10 anos, a produção de eletricidade correspondeu a apenas 37,6% da capacidade da subestação da hidrelétrica. Dessa forma, esse trabalho propõe a instalação de uma planta solar fotovoltaica junto à UHE, de modo a complementar sua geração, além de capturar as sinergias inerentes a essa integração. Para auxiliar esse propósito, é proposto a instalação de um sistema de armazenamento de energia

elétrica sob a forma de hidrogênio (SAEEH2), com o objetivo de minimizar a ociosidade da subestação. Para avaliar a operação desse sistema é apresentada uma simulação do sistema hidro-solar, considerando o dimensionamento da planta solar e SAEH2, que compense o déficit hídrico dos últimos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Geração solar; Integração hidráulico/solar, Painéis solares flutuantes, Armazenamento de energia elétrica, Hidrogênio.

ABSTRACT: The history of power generation at the Manso Hydroelectric Plant shows that, in the last 10 years, electricity production corresponds to only 37.6% of the hydroelectric substation capacity. Thus, this work offers the installation of a photovoltaic solar power plant next to the HPP, in order to complement its generation, in addition to capturing synergies inherent to this integration. To assist in this purpose, it is proposed to install an electrical energy storage system in the form of hydrogen (HESS), with the objective of minimizing the substation's idleness. To evaluate the operation of this system, make a simulation of the hydro-solar system, considering or dimensioning the solar plant and the HESS, what is the difference or the water deviation in recent years.

KEYWORDS: Solar generation; Hydraulic / solar integration, Floating solar panels, Electric energy storage, Hydrogen.

1 | INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira, que tem um histórico de predominância da fonte hidráulica,

está passando por um processo de transformação, no qual se observa um aumento na diversificação das fontes de geração, principalmente com o incentivo cada vez maior do desenvolvimento de projetos que envolvam fontes renováveis [1]. As fontes solar fotovoltaica (FV) e eólica se destacam nesse cenário, tendo sido responsáveis por 276 GWh e 4.123 GWh respectivamente da geração de energia elétrica no Brasil em 2019, valores que correspondem a 0,6% e 8,4% respectivamente do montante total [2]. A Figura 1 apresenta o histórico da participação das principais fontes de geração na matriz elétrica brasileira.

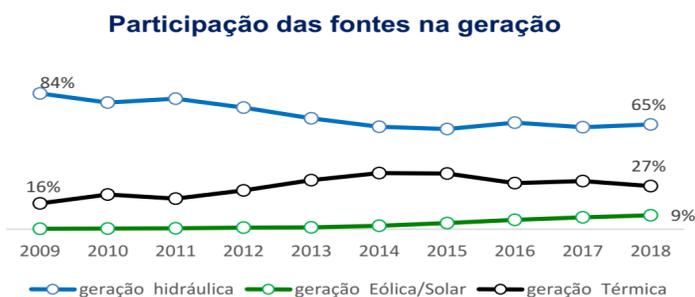


Figura 1: Evolução da participação das fontes de geração elétrica no Brasil [3]. Obs.: a soma em 2018 é maior que 100 % por conta dos arredondamentos.

Há projeções de crescimento dessas fontes, de modo que em 2025 espere-se que a fonte solar fotovoltaica produza 16 TWh e a eólica 92 TWh, tendo um importante papel para o cumprimento das metas brasileiras assumidas no Acordo de Paris [4].

Por outro lado, a natureza das fontes renováveis é ser sazonal e, considerando somente as eólicas e solares, elas ainda são intermitentes. O inconveniente nesse caso é a ocorrência de problemas na qualidade da eletricidade produzida, além de incertezas na confiabilidade do suprimento de energia, o que se reflete na segurança energética [1, 5]. Por essa razão, faz-se necessária a adoção de medidas e tecnologias que permitam reduzir os efeitos da intermitência e sazonalidade.

Nesse caso, tendo em vista a magnitude do parque de geração hidrelétrico brasileiro, a associação da geração hidráulica com fontes renováveis, especialmente solar e eólica, representa uma oportunidade para diversificar a matriz elétrica. Embora ainda em pequena escala, existem iniciativas para a integração de usinas hidrelétricas com a geração solar fotovoltaica, com o desenvolvimento de painéis solares flutuantes para serem instalados sobre os lagos dos reservatórios das hidrelétricas, tais como os exemplos de projetos de pesquisa e desenvolvimento executados pela CESP junto a UHE de Porto Primavera, por FURNAS junto à UHE

de Itumbiara e pela CHESF junto a UHE de Sobradinho [6].

São várias as vantagens da associação entre a geração hidráulica e a geração solar fotovoltaica, uma vez que a planta flutuante pode utilizar a infraestrutura já disponível para a drenagem da energia produzida (subestação, transformadores, linhas de transmissão etc.), aproveitando a área alagada, que de outra forma não poderia ser utilizada. Isso contribui para o aumento da produtividade energética por área (MWh/m^2) do empreendimento hidrelétrico, e possivelmente pode ter os trâmites relativos ao licenciamento ambiental facilitados. Outras vantagens a serem mencionadas são que painéis fotovoltaicos posicionados próximos à lamina d'água podem operar a menores temperaturas, aumentando a eficiência da geração fotovoltaica e que a cobertura, mesmo que parcial, da superfície reduz as perdas de água do reservatório por evaporação. Como desvantagens, podem haver impactos ambientais na flora e na fauna do reservatório, que precisarão ser estudados cuidadosamente em cada caso [7].

Para facilitar a integração entre diferentes fontes renováveis, a adoção de tecnologias de armazenamento de energia pode ser vista como uma alternativa que permite atenuar os efeitos da intermitência e sazonalidade das fontes renováveis [10]. Tais tecnologias permitem maximizar o aproveitamento dessas fontes, de modo que, nos períodos de grande oferta de energia renovável e/ou baixa demanda, a parcela excedente à demanda é armazenada. O montante armazenado pode ser utilizado nos períodos de elevada demanda e/ou baixa oferta, contribuindo para uma maior estabilidade da rede elétrica, além de maior penetração das fontes renováveis [9, 10].

A utilização de sistemas de armazenamento de energia elétrica na forma de hidrogênio (SAEEH2) está associada a grandes blocos de energia que necessitem ser estocados por intervalos de tempo elevados, sem que se tenha perdas relevantes no processo. Os SAEEH2 podem aproveitar o excesso de energia renovável, produzindo H_2 através da eletrólise da água, reconvertendo esse gás posteriormente em eletricidade nos momentos oportunos. Além disso, o hidrogênio produzido pode ter outras aplicações, como na indústria química, na mobilidade etc. [1, 11].

Ainda com custos relativamente elevados, as tecnologias de armazenamento de energia constituem um campo de pesquisa bastante promissor, e possuem elevado potencial de transformação na maneira do consumo, produção e despacho de energia elétrica. Além disso, essas tecnologias podem impactar significativamente na competitividade industrial, e deve receber grandes volumes de investimento, devido à sua importância estratégica [12]. Tendo em vista essa importância, a Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL propôs em 2016 uma chamada pública de projetos que atendam à temática do armazenamento de energia, Chamada ANEEL No. 021/2016 - Arranjos técnicos e comerciais para a inserção de sistemas de

armazenamento de energia no setor elétrico brasileiro, na qual tem-se investimentos previstos de R\$ 406 milhões através dos 23 projetos aprovados, sendo que 3 deles tratam do uso da tecnologia do hidrogênio. Dentre esses, tem-se os projetos sob o código PD-00061-0054/2016, desenvolvido pela Companhia Energética de São Paulo, CESP, e PD 00394-1606/2016, que está sendo construído pelas Centrais Elétrica FURNAS [13].

O primeiro, intitulado “Análise da Eficiência do Armazenamento Complementar de Energia Junto a Usinas Hidrelétricas, Utilizando Tecnologias de Armazenamento Eletroquímico e em Hidrogênio”, trata do armazenamento de eletricidade na forma de hidrogênio e o uso de baterias avançadas. É composto por um eletrolisador PEM com potência de 100 kW e capacidade de produção de 20 Nm³/h de hidrogênio gasoso. Esse gás é armazenado em um tanque pressurizado com capacidade de 600 m³ (CNTP) a uma pressão de 25 bar. A reconversão do hidrogênio em eletricidade é realizada em uma célula a combustível (CaC) PEM de 100 kW. O armazenamento eletroquímico é feito por um sistema de bateria de íon lítio de 500 kWh, com inversor de 250 kW. Esse projeto está sendo desenvolvido junto à UHE de Porto Primavera, no rio Paraná, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, local onde a CESP desenvolve diversos projetos envolvendo geração de eletricidade através de fontes renováveis de energia (1.050 kWp de geração solar fotovoltaica, com uma produção média correspondente a 5.070 kWh de eletricidade, a um fator de capacidade de 20%, e geração eólica com potência instalada de 200 kW, com um fator de capacidade de 30%, e uma média diária de produção de 1.440 kWh). Dessa forma, o sistema de armazenamento de energia tem o papel de integrar todas as fontes renováveis, visando o melhor aproveitamento das mesmas [14].

Já o segundo projeto, com o título “Desenvolvimento de Sinergia entre as Fontes Hidrelétrica e Solar com Armazenamento de Energias Sazonais e Intermitentes em Sistemas a Hidrogênio e Eletroquímico (SHSBH2)”, possui arranjo similar ao da CESP, com um eletrolisador alcalino de 270 kW com produção de até 50 Nm³/h de H₂, consumindo 5,72 kWh/Nm³, um tanque com volume total de armazenamento equivalente a 900 Nm³ (81 kg H₂) a pressões de 30 bar, além de uma CaC de até 300 kW, com consumo de 215 Nm³/h de H₂, com a produção de 1,42 kWh/Nm³. Nesse caso, projeto de demonstração, de escala reduzida, tem por objetivo avaliar a aplicabilidade de novas tecnologias de armazenamento de energia, em suporte à sinergia entre as fontes solar fotovoltaica e hidrelétrica. Esse projeto está sendo realizado junto à Usina Hidrelétrica de Itumbiara, localizada no rio Paranaíba, entre os municípios de Itumbiara, em Goiás, e Araporã, em Minas Gerais. Está prevista a instalação de uma planta fotovoltaica com 1 MW_p de potência instalada, correspondendo a 800 kWp instalados no solo e os 200 kW_p restantes instalados em estruturas flutuantes no lago do reservatório da usina [15].

Com o objetivo de avaliar a integração hidro-solar associada a um SAEEH2 nas usinas hidrelétricas brasileiras, bem como a sua aplicabilidade em quaisquer locais, este trabalho analisa tanto aspectos energéticos como da operação conjunta desses sistemas na UHE de Manso, com o intuito de verificar o potencial de aumento da capacidade de geração, além de uma melhor gestão do reservatório.

2 I HISTÓRICO DE GERAÇÃO NA UHE DE MANSO

A UHE de Manso localiza-se no Rio da Morte, no município de Chapada dos Guimarães - MT, com coordenadas geográficas $14^{\circ}52'16''\text{S}$ e $55^{\circ}47'7''\text{W}$, distante 86 km da capital do estado, Cuiabá. Essa usina é do tipo reservatório, com uma potência outorgada pela ANEEL de 210 MW e energia firme de 92 MW/ano. A casa de máquinas possui 4 turbinas tipo Francis de eixo vertical com 52,5 MW cada. Em relação à barragem, a queda líquida nominal é de 57,5 m (nível de máximo de operação 287 m e mínimo de 278 m), com área inundada do reservatório de 427 km² [16]. A Figura 2a apresenta esquematicamente a localização geográfica do município de Chapada dos Guimarães e a Figura 2b apresenta a vista da UHE de Manso, com o local considerado para a instalação da planta solar fotovoltaica.



Figura 2: a) Localização geográfica do município de Chapada dos Guimarães; b) Local considerado para a instalação da planta solar fotovoltaica

Uma análise do histórico das características do reservatório dessa usina, disponíveis na base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) [17], mostra que a vazão, a cota e o volume útil do reservatório da UHE tem se mantido aproximadamente constantes nos últimos 10 anos. Como consequência, a geração elétrica no mesmo período permaneceu aproximadamente constante, não apresentando tendência de aumento ou redução na geração, conforme dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico [2]. A Figura 3 apresenta graficamente o histórico das médias mensais do nível do reservatório, percentual do volume útil, e o percentual de potência fiscalizada gerada, no período compreendido entre 2009 a 2018.

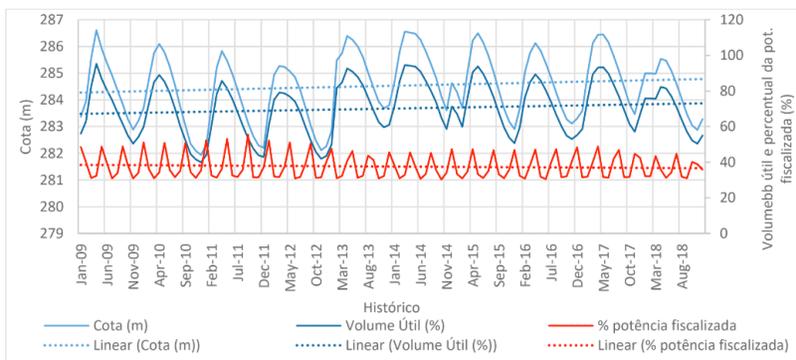


Figura 2 – Histórico das médias mensais do nível do reservatório, percentual do volume útil, e o percentual de potência fiscalizada gerada, no período compreendido entre 2009 a 2018 [2], [17].

Nota-se na Figura 2 os efeitos da sazonalidade da geração hidrelétrica durante os últimos 10 anos, porém uma análise da linha de tendência revela que houve pouca variação durante esse período, com as variáveis da cota, volume útil e geração elétrica se mantendo aproximadamente constantes. A Tabela 1 apresenta as médias mensais dos últimos 10 anos para os dados hidrológicos e da produção de eletricidade durante o ano.

Mês	Cota (m)	Afluência (m ³ /s)	Defluência (m ³ /s)	Vazão Vertida (m ³ /s)	Vazão Turbinada (m ³ /s)	Potência média (MW _{med})
JAN	283,62	307,53	186	0,2	186	94
FEV	284,74	346,18	197	0,4	196	102
MAR	285,60	315,65	209	1,1	208	110
ABR	286,10	196,32	190	7,7	183	97
MAI	285,92	95,67	137	0,3	136	72
JUN	285,55	68,77	128	0,6	127	67
JUL	285,04	49,71	128	0,0	128	66
AGO	284,44	45,31	127	1,1	126	65
SET	283,84	48,36	130	1,9	128	65
OUT	283,26	69,78	136	1,7	134	68
NOV	282,93	124,79	137	1,4	135	68
DEZ	283,18	199,19	154	1,4	153	77
Média	284,52	155,60	155	1,5	153	79

Tabela 1- Médias mensais entre 2009 e 2018 para os dados hidrológicos e de geração elétrica da UHE de Manso [2], [17].

Conforme apresentado na Tabela 1, a média de geração elétrica nos últimos 10 anos foi de $79 \text{ MW}_{\text{med}}$, valor inferior à energia firme da UHE, de $92 \text{ MW}_{\text{med}}$ [16]. Por outro lado, esse valor corresponde a apenas 37,6% da potência outorgada pela ANEEL, o que permite inferir que a infraestrutura da usina está sendo subaproveitada. Portanto, é proposta a instalação de uma planta solar fotovoltaica sobre a lamina d'água do reservatório, de modo a otimizar o aproveitamento da infraestrutura da UHE de Manso.

3 | DIMENSIONAMENTO DA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA

3.1 Dados Solarimétricos da UHE de Manso

Os dados solarimétricos do local de instalação da planta solar fotovoltaica, utilizando-se as coordenadas geográficas da UHE de Manso, foram obtidos através do programa SunData, disponibilizado no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) [18]. Essa plataforma fornece a irradiação solar diária média mensal para todas as localidades do território brasileiro. Para as coordenadas de Manso são fornecidos dados de três estações solarimétricas, sendo adotado os valores da estação mais próxima à UHE, localizada no próprio município de Chapada dos Guimarães, a 5,3 km do local de instalação da planta solar fotovoltaica. Os valores das irradiações médias mensais estão apresentados na Tabela 2.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Plano Horizontal	0°N	5,36	5,34	5,14	5,09	4,64	4,54	4,73	5,42	5,21	5,34	5,52	5,54	5,16
Ângulo igual a latitude	15°N	4,97	5,13	5,18	5,45	5,26	5,32	5,48	5,99	5,37	5,21	5,16	5,09	5,30
Maior média anual	16°N	4,94	5,11	5,17	5,47	5,30	5,36	5,52	6,01	5,37	5,19	5,13	5,05	5,30
Maior mínimo mensal	11°N	5,10	5,21	5,19	5,38	5,12	5,13	5,31	5,87	5,35	5,27	5,28	5,23	5,29

Tabela 2- Dados de irradiação solar no reservatório da UHE de Manso [18].

Dessa forma, adotou-se nesse estudo a irradiação média de $5,30 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, considerando que os painéis serão instalados com um ângulo de inclinação igual ao da latitude (15°N). É importante mencionar que esse valor é numericamente igual ao número de horas diárias equivalentes a uma irradiação de 1.000 W.m^{-2} .

Por outro lado, a geração solar fotovoltaica varia ao longo de dia, tendo seu pico de produção às 12 horas, horário local. Para o dimensionamento, tanto da

planta FV como do SAEEH2, bem como para a sua operação integrada à geração hidráulica, é necessário conhecer a quantidade de energia solar fotovoltaica que pode ser produzida em cada hora do dia. Essa estimativa pode ser feita através do conhecimento da distribuição horária da irradiação. Assumindo um dia com céu claro, a irradiação solar horária pode ser calculada de acordo com a equação E1 [5].

$$Irradiação\ horária = k I_0(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(15^\circ(H - 12))) \quad (E1)$$

Onde I_0 representa a intensidade média de energia que atinge o topo do planeta, e k é o fator de atenuação de I_0 , devido à absorção e à reflexão da radiação na atmosfera. A variável δ é a declinação solar, ou seja, o ângulo referente à estação do ano (sendo 0° para os equinócios de março e setembro e $23,27^\circ$ para os solstícios de junho e dezembro) e φ é a latitude da UHE de Manso ($14^\circ52'$). O termo $15^\circ(H-12)$ é uma aproximação para a determinação do ângulo horário, com H sendo a hora do dia em décimos. A fração da radiação solar é calculada conforme a Equação E2 [5].

$$F_{solar} = \frac{Irradiação\ horária}{Irradiação\ total} = \frac{k I_0(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(15^\circ(H - 12)))}{k I_0} \quad (E2)$$

É importante observar que no cálculo da fração da irradiação para uma determinada hora do dia, os valores de I_0 e k se cancelam. Considerando um dia de céu claro, a distribuição teórica da irradiação solar ao longo do dia para a UHE de Manso é apresentada na Figura 3.

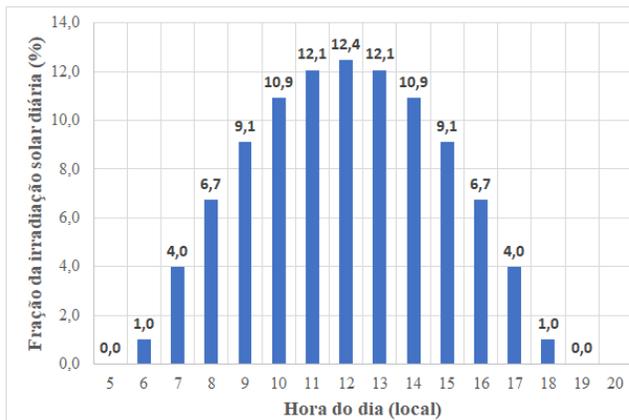


Figura 3- Frações da irradiação solar média horária para o reservatório da UHE de Manso.

3.2 Estimativa da capacidade da planta FV

Após a obtenção dos dados solarimétricos da UHE de Manso, é necessária a seleção dos painéis fotovoltaicos a serem utilizados. É desejável a seleção de

um modelo com elevada eficiência e baixo custo, além de que o fabricante tenha expertise na instalação e manutenção de plantas solares fotovoltaicas de grande porte. Para a seleção dos painéis foi utilizada a tabela de eficiência energética para sistemas de energia fotovoltaica elaborada pelo INMETRO, a qual apresenta diversas características como área, eficiência, tensão de operação e potência. Essa tabela está disponível em [19]. A partir de uma seleção inicial dos modelos, foram levantados os fabricantes que já participaram de projetos relevantes em plantas fotovoltaicas.

Observou-se que o complexo de Pirapora, localizado no norte de Minas Gerais e inaugurado em outubro de 2017, é composto por 11 plantas fotovoltaicas que totalizam 321 MW_p de capacidade instalada, teve como principal fornecedor o fabricante canadense *Canadian Solar*. Esse fabricante possui instalações em Sorocaba/SP, o que contribuiu para facilitar eventuais serviços de assistência técnica, além de já ter fornecido cerca de 594 mil módulos fotovoltaicos para o complexo de Pirapora. Além disso, esse fabricante faz parte do consórcio vencedor do leilão A4 de energia da ANEEL, tendo ofertado preço de R\$123,33/MWh para a fonte solar [20, 21].

Por essa razão, o modelo selecionado nesse caso foi o *Canadian Solar* CS6X-320P, com uma potência de 320 W_p por módulo e área de 1,92 m² [19]. Assim, a produção diária média de cada painel fotovoltaico junto à UHE de Manso corresponde a 1,696 kWh (320 W_p x 5,30 kWh.m⁻².dia⁻¹). Após a seleção dos painéis fotovoltaicos, é necessário definir o tamanho da planta FV. Isso é feito com base na disponibilidade da subestação. Tendo em vista que a UHE foi projetada para uma potência de 210 MW, e a média de geração dos últimos 10 anos foi de 79 MW_{med}, tem-se uma margem para o aumento da produção de uma fonte complementar de 131 MW_{med}, o que representa um aumento de 1,6 vezes na produção média atual, sem alterar os componentes de transmissão da usina, especialmente subestações e linhas de transmissão.

Assim, a complementação com 131 MW_{med} equivale a 3.144 MWh de energia por dia (131MW x 24h) e, dessa forma, para toda a planta são necessários 1.853.778 painéis (3.144.000 kWh/1,696kWh/painel), demandando uma área de 3.559.254 m² (1.853.778 painéis x 1,92m²/painel). Assumindo um acréscimo de área de 50 % para os flutuadores [7], a área total ocupada pela planta corresponde a aproximadamente 5,34 km², que equivale a 1,25 % da área total do reservatório.

3.3 Justificativa para a instalação de um SAEH2

Conforme observado no item anterior, para a complementação da geração hidráulica da UHE de Manso é necessária a instalação de uma planta solar com capacidade de produção diária de 3,144 MWh (131 MW_{med}). No pico de geração,

compreendido entre às 12:00h e 13:00h (meio-dia local), tem-se a máxima geração solar fotovoltaica durante o dia, com a planta solar fotovoltaica recebendo 12,4% do total da irradiação diária. Assim a energia a ser despachada nesse período corresponde a 389,9 MWh, valor 1,86 superior à capacidade máxima da subestação (210 MW). Ainda que toda a energia hidráulica deixasse de ser produzida nesse período, não seria possível drenar toda a energia gerada para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Isso evidencia a necessidade de um sistema de armazenamento de energia.

3.4 Sistema de Armazenamento de Energia a Hidrogênio

Dentre as tecnologias de armazenamento de energia elétrica, para a aplicação aqui analisada, necessita-se daquelas que permitem a estocagem de grandes quantidades por elevados períodos de tempo, sem que haja perdas relevantes. Essa característica qualifica o uso da tecnologia do hidrogênio para essa aplicação, que demanda uma capacidade de armazenamento em larga escala por períodos que podem chegar a meses, devido à sazonalidade anual das hidroelétricas.

Um SAAE2 é composto essencialmente por um eletrolisador, um tanque de estocagem de hidrogênio e uma célula a combustível (CaC). Nesses sistemas, os excedentes das fontes renováveis são utilizados para a produção de hidrogênio através do processo de eletrólise da água, realizado através do eletrolisador, que produz hidrogênio gasoso através da decomposição da água em seus constituintes (H_2 e O_2), por meio do fornecimento de energia elétrica em corrente contínua. O gás produzido fica armazenado nos tanques de estocagem até o momento oportuno para a sua utilização. Por fim, a CaC converte o hidrogênio gasoso em eletricidade, por um processo reverso ao da eletrólise, a qual pode ser despachada para a rede [5, 8]. A Figura 4 apresenta esquematicamente um sistema de armazenamento de energia sob a forma de hidrogênio.

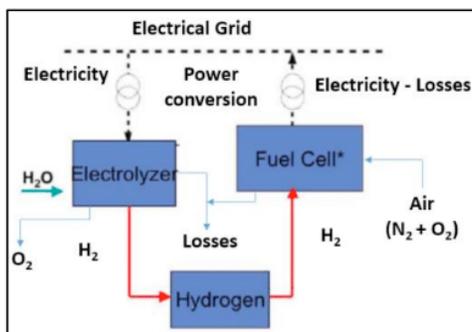


Figura 4 – Esquema de um sistema de armazenamento de energia sob a forma de hidrogênio.

Geralmente, a eficiência do eletrolisador varia de 50 a 70%, e a da CaC é próxima a 50%. As perdas no tanque de estocagem de hidrogênio podem ser desprezadas. Assim, a eficiência de um SAEEH2 é da ordem de 30 % [8].

Admite-se que o sistema a ser construído assemelha-se aos SAEEH2 contemplados nos projetos de pesquisa e desenvolvimento PD-00061-0054/2016 e PD 00394-1606/2016, aprovados na Chamada nº21 da ANEEL, proposta em 2016 [14, 15]. Assim, considera-se que o eletrolisador tem um consumo de 5,72 kWh/Nm³ de H₂, e a CaC uma produção de 1,42 kWh por Nm³ de H₂ consumido. A eficiência teórica desse sistema corresponde 24,8%. Para o estudo de caso da associação hidro-solar na usina de Manso, o SAEEH2 requerido é similar ao do projeto da UHE Itumbiara, ou seja, possui os mesmos parâmetros de eficiência estimados naquele caso.

4 I INTEGRAÇÃO HIDRO/SOLAR NA UHE DE MANSO

Como mencionado, a subestação da UHE de Manso possui capacidade de 210 MW, com capacidade máxima de injeção 5.040 MWh/dia no SIN. Por outro lado, a média de geração nos últimos 10 anos correspondeu a 37,6 % desse valor, evidenciando que a infraestrutura está sendo subaproveitada. Tanto a planta FV como o SAEEH2 foram dimensionados de modo que, combinados à operação da hidrelétrica, produzam energia suficiente para utilizar a capacidade máxima da subestação ao longo do dia. O dimensionamento da planta solar considera a irradiação de um dia de céu claro.

Admitiu-se que, durante toda a operação, pelo menos uma turbina hidráulica seja mantida em funcionamento, uma vez que é necessário manter a vazão mínima da UHE, com as demais máquinas sendo desligadas nos horários de elevada geração fotovoltaica. Além disso, a máquina que é mantida em funcionamento pode operar dentro da faixa de maior eficiência, de modo a produzir 52,5 MW.

O uso de um sistema de armazenamento de energia a hidrogênio se adequa a essa situação, em virtude das grandes quantidades de energia que devem ser armazenadas. O excesso de energia solar fotovoltaica produzido é enviado para o eletrolisador e a reconversão do hidrogênio produzido é realizada quando não há excesso na geração solar fotovoltaica. A Tabela 2 apresenta os valores da geração de energia ao longo do dia para as fontes solar e hidráulica, junto com o excesso de energia, e a produção de eletricidade através da célula a combustível, considerando a planta solar dimensionada.

Hora	Fração (%)	Prod. FV (MWh)	FV Rede (MWh)	Energia Hidráulica (MWh)	Excesso (MWh)	Consumo Eletrolise (MWh)	Prod. H ₂ (10 ³ Nm ³)	Prod. CaC (MWh)	Total Energia injetada na rede (MWh)
0	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
1	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
2	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
3	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
4	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
5	1	31,4	31,4	91,6	0,0	0,0	0,0	21,6	144,7
6	4	125,8	73,3	62,4	0,0	0,0	0,0	5,4	193,5
7	6,7	210,6	158,1	52,5	53,1	-53,1	9,3	0,0	210,0
8	9,1	286,1	157,5	52,5	128,6	-128,6	22,5	0,0	210,0
9	10,9	342,7	157,5	52,5	185,2	-185,2	32,4	0,0	210,0
10	12,1	380,4	157,5	52,5	222,9	-222,9	39,0	0,0	210,0
11	12,4	389,9	157,5	52,5	232,4	-232,4	40,6	0,0	210,0
12	12,1	380,4	157,5	52,5	222,9	-222,9	39,0	0,0	210,0
13	10,9	342,7	157,5	52,5	185,2	-185,2	32,4	0,0	210,0
14	9,1	286,1	157,5	52,5	128,6	-128,6	22,5	0,0	210,0
15	6,7	210,6	158,1	52,5	53,1	-53,1	9,3	0,0	210,0
16	4	125,8	73,3	62,4	0,0	0,0	0,0	5,4	193,5
17	1	31,4	31,4	91,6	0,0	0,0	0,0	21,6	144,7
18	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
19	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
20	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
21	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
22	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
23	0	0,0	0,0	101,4	0,0	0,0	0,0	27,0	128,4
Total	100	3144,0	1628,2	1896,0	1412,1	-1412,1	246,9	350,6	3978,5

Tabela 2 – Geração de energia ao longo do dia para a fontes solar e hidráulica e SAEEH2

A introdução da planta FV permite a geração de 165 MW_{med}, equivalente a cerca de 2,1 vezes a média de produção hidráulica dos últimos 10 anos. Deve-se observar que a produção total do sistema hidro-solar é de 3.978 MWh/dia, ao passo que a capacidade da subestação corresponde a 5.040 MWh/dia, ou seja, que a produção do sistema representa 78,9% da utilização dessa subestação. Antes da introdução da planta FV, esse valor correspondia a 37,6%. A produção diária da planta FV corresponde a 3.144 MWh, valor 1,65 vezes superior ao da geração hidráulica. É importante mencionar que o porte dessa planta estaria entre

as maiores plantas FV presentes no Brasil. Além disso, a CaC é responsável por 8,8% da energia injetada na rede, com o processo de produção de H₂, por eletrólise, consumindo 45,2 % da produção solar FV.

O excesso de energia solar fotovoltaica é superior à capacidade máxima de escoamento de energia através da subestação, o que pode ser melhor observado na Figura 5, que apresenta a geração de energia através das diferentes fontes ao longo do dia.

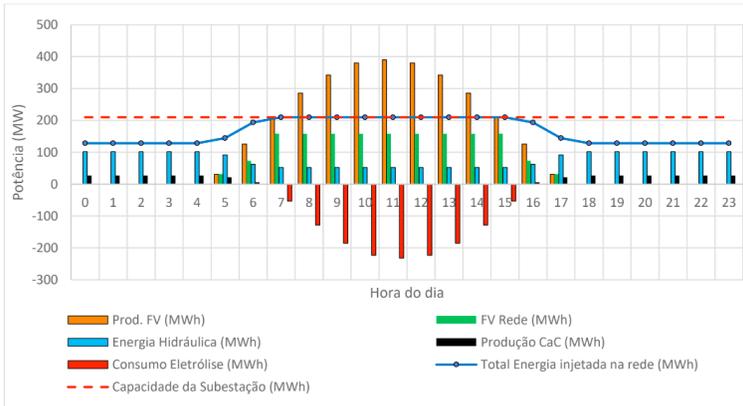


Figura 5 – Geração hidráulica e solar, produção de eletricidade via CaC e energia injetada na rede ao longo do dia.

A Figura 5 mostra a envergadura da geração solar em relação à geração hidráulica e a energia máxima que pode ser injetada na rede. Nesse caso, 44,9 % da energia solar fotovoltaica é destinada para a produção de hidrogênio, ao passo que apenas 11,1 % dessa energia é reinjetada na rede. A Figura 6 apresenta o balanço de energia, considerando um dia de geração com sol claro. Para atender a esse sistema é necessária uma planta FV de grande porte.

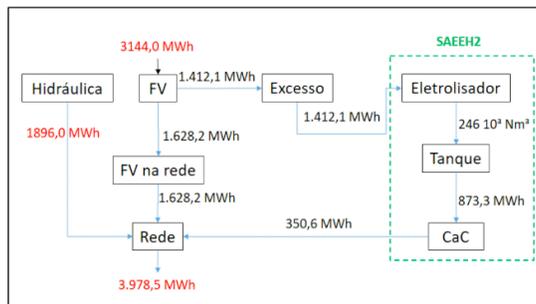


Figura 6: Balanço de energia, considerando um dia de geração com sol claro

No caso do SAEH2, considerando os valores máximos demandados na produção de H₂ no eletrolisador, seu armazenamento no tanque, e a sua posterior reconversão em eletricidade, são necessários aproximadamente 12 eletrolisadores de 20 MW cada um, similares aos da Thyssenkrupp [22], e cerca de 10 células a combustível de 2,8 MW cada, como as SureSource 3000 da FuelCell Energy [23]. A Figura 7 apresenta o sistema de armazenamento a hidrogênio, com as suas respectivas capacidades máximas de operação.

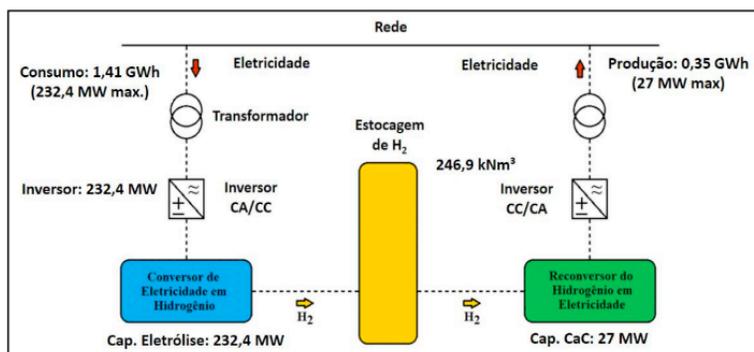


Figura 7: Capacidades máximas de operação do SAE a H₂.

Nessa configuração, a potência média injetada na rede pelo sistema híbrido é de $2.968 / 24 = 124 \text{ MW}_{\text{med}}$, um aumento de 55 % em relação à média histórica ($80 \text{ MW}_{\text{med}}$). Entretanto, como se pode verificar, há margem para aumentar a quantidade de painéis fotovoltaicos, desde que haja um manejo do reservatório, de forma a se reduzir a geração hidráulica nos momentos de maior produção fotovoltaica. Entretanto, essa alternativa depende das condicionantes operacionais da usina, havendo necessidade de se conhecer qual a potência mínima possível, o que implica em mínimo turbinamento e outros fatores.

Pode-se verificar também que ainda há a possibilidade de se aumentar a planta fotovoltaica sem alterar a vazão hidráulica mínima, pois ocorrem horários em que a injeção na rede é inferior à máxima capacidade de 210 MW. Nesse caso, um maior excedente de eletricidade fotovoltaica seria destinado à produção de hidrogênio, aumentando-se a geração pelas CaC nos horários de 16h até 6h do dia seguinte, de forma a se complementar 210 MW durante as 24 horas do dia.

5 I CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho é apresentar os aspectos energéticos e de operação da associação de uma planta solar FV junto à UHE de Manso. A maximização da

planta fotovoltaica exige a introdução de um sistema de armazenamento de energia elétrica para os momentos de elevada geração fotovoltaica, sendo aqui considerada a tecnologia de armazenamento da eletricidade na forma de hidrogênio (SAEEH2). Como foi mostrado, a subestação dessa UHE, que inicialmente tinha em média 37,6 % da sua capacidade sendo utilizada, após a instalação da planta FV e do SAEEH2 aumentou a sua utilização em 2,1 vezes, diminuindo consideravelmente o seu grau de ociosidade.

Esse aumento da geração foi possível devido à utilização de um SAEEH2, uma vez que, nos horários de maior insolação, a produção total do sistema híbrido hidro-solar supera a capacidade de despacho de energia da subestação (210 MW). Por outro lado, o sistema utilizado nesse trabalho possui eficiência da ordem de 25 % e, dessa forma, quando possível, é desejável que o armazenamento no próprio reservatório da hidrelétrica seja priorizado.

REFERÊNCIAS

- [1] - ANEEL (2016). Chamada nº 021/2016. Projeto Estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais Para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro” Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília –DF. 2016.
- [2] - ONS (2020). Resultado Histórico da operação. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Brasília DF, 2020. Disponível em http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx
- [3] – EPE (2019). Balanço Energético Nacional 2019. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia, Brasília –DF. 2020.
- [4] – EPE (2016) O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia. Empresa de pesquisa energética. Ministério de Minas e Energia, 2016.
- [5] - Silva, E.P. Fontes Renováveis de Energia, 1ª Edição. Livraria da Física, São Paulo, 2014
- [6] –EPE (2020). Expansão da Geração. Solar Fotovoltaica Flutuante - Aspectos Tecnológicos e Ambientais relevantes ao Planejamento. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia, 2020. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-466/NT%20Solar%20Fotovoltaica%20Flutuante.pdf>
- [7] – Strangueto, K. M. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas. Universidade Estadual de Campinas. [S.I.]. 2016.
- [8] – IEA 2014. Technology Roadmap: Energy Storage. International Energy Agency, 19 March 2014.

- [9] - McPherson, M., Johnson, N., & Strubegger, M. (2018). The role of electricity storage and hydrogen technologies in enabling global low-carbon energy transitions. *Applied Energy*, 216, 649–661. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.110>
- [10] - Blanco, H., & Faaij, A. (2018). A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power to Gas and long-term storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1049–1086. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.062>
- [11] - IEA (2017) Tracking Clean Energy Progress. International Energy Agency, 2017, June, 2017.
- [12] - UK GOV (2018). Eight great Technologies. Department for Business, Innovation & Skills e The Rt Hon David Willetts. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/speeches/eight-great-technologies>
- [13] – ANEEL (2017). Seminário Revolução Tecnológica no Sistema de distribuição de energia elétrica no Brasil. Recursos de P&D para projetos de energia por fontes renováveis. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília –DF. 2017. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/seminarios/2017-1/apresentacoes/Painel%201%20-2-%20ANEEL_%20Ailson.pdf
- [14] - Furtado Jr, J., C., Riedel, V., F., Silva, E. P.; Silva, D. B.; Silva, D. O., B., Medice, J. A.. (2018). Analysis and definition of software for modeling and simulation of a complete electrical energy storage system composed by electrolyzer, pressurized tanks and fuel cells. 22nd World Hydrogen Energy Conference – WHEC 2018. 18 June 2018, Rio de Janeiro – Brazil.
- [15] - Furtado Jr J. C.; Silva E. P.; Riedel V. F.; Silva D. O. B.; Silva D. B. Pimentel J. M.; Souza A. B. B. Análise e simulação do sistema de armazenamento de energia elétrica do projeto de pesquisa e desenvolvimento P&D 00394-1606/2016. 1º Congresso da Associação Brasileira do Hidrogênio. 8 de Novembro de 2019 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil.
- [16] - FURNAS, 2019, <https://www.furnas.com.br/subsecao/124/usina-de-manso---212-mw> , consultado em 08/02/2020.
- [17] - ANA(2019). Dados de operação dos reservatórios SIN. Agência Nacional de Águas. Brasília DF, 2019. Disponível em <http://sar.ana.gov.br/MedicaoSin?dropDownListEstados=14&dropDownListReservatorios=19025&dataInicial=01%2F01%2F2008&dataFinal=28%2F05%2F2008&button=Buscar>
- [18] – CRESSES (2020) Potencial Solar – Sun Data v 3.0. Centro de referência para as energias Solar e Eólica Sergio Brito. CEPEL. Rio de Janeiro –RJ. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>.
- [19] - INMETRO (2019) – Tabela de Eficiência Energética – Sistema de Energia Fotovoltaica - Módulos - Edição 01/2018. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf
- [20] – ANEEL (2018). ANEEL homologa parcialmente resultado do Leilão de Geração “A-4”. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília –DF. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-homologa-parcialmente-resultado-do-leilao-de-geracao-a-4-656877?inheritRedirect=false

[21] – OMEGA ENERGIA (2020) Maior usina de energia solar em operação no Brasil, o Complexo Pirapora está localizado em Minas Gerais e é composto por 11 usinas em operação. A Omega Geração é detentora de 50% do Complexo, atuando em sociedade com a EDF Renewables. Disponível em: <http://www.omegaenergia.com.br/projetos/pirapora/>

[22] – GreenCarCongress (2018). Thyssenkrupp offering large-scale water electrolysis. Disponível em <https://www.greencarcongress.com/2018/07/20180728-tk.html>. Acessado em 17/03/2020.

[23] – Fuelcellenergy (2020). SureSource 3000. Disponível em <https://www.fuelcellenergy.com/wp-content/uploads/2017/02/Product-Spec-SureSource-3000.pdf>.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ação socioambiental 27

Alternative Transient Program (ATP) 88

Armazenamento de energia elétrica 129, 131, 138, 143, 144

Atenção básica de saúde 193, 201, 203

B

BPMN 193, 194, 195, 197, 198, 204, 205

C

Cálculo estrutural 16

Chuva 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Compensações sociais 27

Custo operacional 66, 76

D

Descargas disruptivas 3

Desempenho dielétrico 1, 2, 13

Distribuição de energia 144

E

Eficiência energética 53, 54, 55, 56, 61, 62, 64, 66, 67, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 117, 127, 137, 144

Eletrobras 28, 33, 38, 39, 40, 58, 64, 65, 79, 86, 163

Eletronorte 27, 28, 31, 33, 38, 39, 40

Energia solar 66, 67, 68, 73, 76, 114, 115, 116, 127, 128, 136, 139, 141, 145

Energia solar fotovoltaica 66, 76, 127, 128, 136, 139, 141

Envoltórias 146, 148, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 183

Extração de parâmetros 174, 183, 184, 186

F

Filtro morfológico 146, 151, 152, 154, 157, 159

Funções de transferência 88, 89

G

Geração de energia 61, 63, 66, 67, 68, 71, 76, 84, 87, 129, 130, 139, 140, 141

Gerador síncrono 146, 149, 150, 153, 159, 187

H

Harmônicos 160, 161, 163, 164, 165, 167, 171, 172

HarmZs 89, 90, 98, 160, 161, 163, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 172

Hidrogênio 129, 131, 132, 138, 139, 141, 142, 143, 144

I

Iluminação pública 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Isoladores 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17

M

Máquina síncrona 147, 148, 149, 152, 174, 175, 177, 178, 179, 181, 182, 183, 184, 185, 186

Modelagem de processos 193, 197

Modelo de acompanhamento 88, 93

Modelos racionais 88, 89, 90

O

Operador nacional do sistema elétrico 41, 133, 143, 161

P

Painéis fotovoltaicos 66, 69, 76, 84, 131, 136, 137, 142

Painéis solares flutuantes 129, 130

Perda de excitação 146, 147, 148, 152, 153, 154, 157, 158, 159

Plano de corte manual de carga 41, 42, 46, 48, 51

Potência ativa 47, 146, 148

Procedimentos de redes 160

Procel Reluz 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Programa brasileiro de etiquetagem 56, 77, 78, 82, 86, 87

Q

Qualidade da energia 100, 103

R

Reatância 174, 175, 177, 178, 180, 183, 186

S

Sistema interligado nacional 15, 41, 119, 138, 161, 162, 171

U

UHE Tucuruí 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 40

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

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4