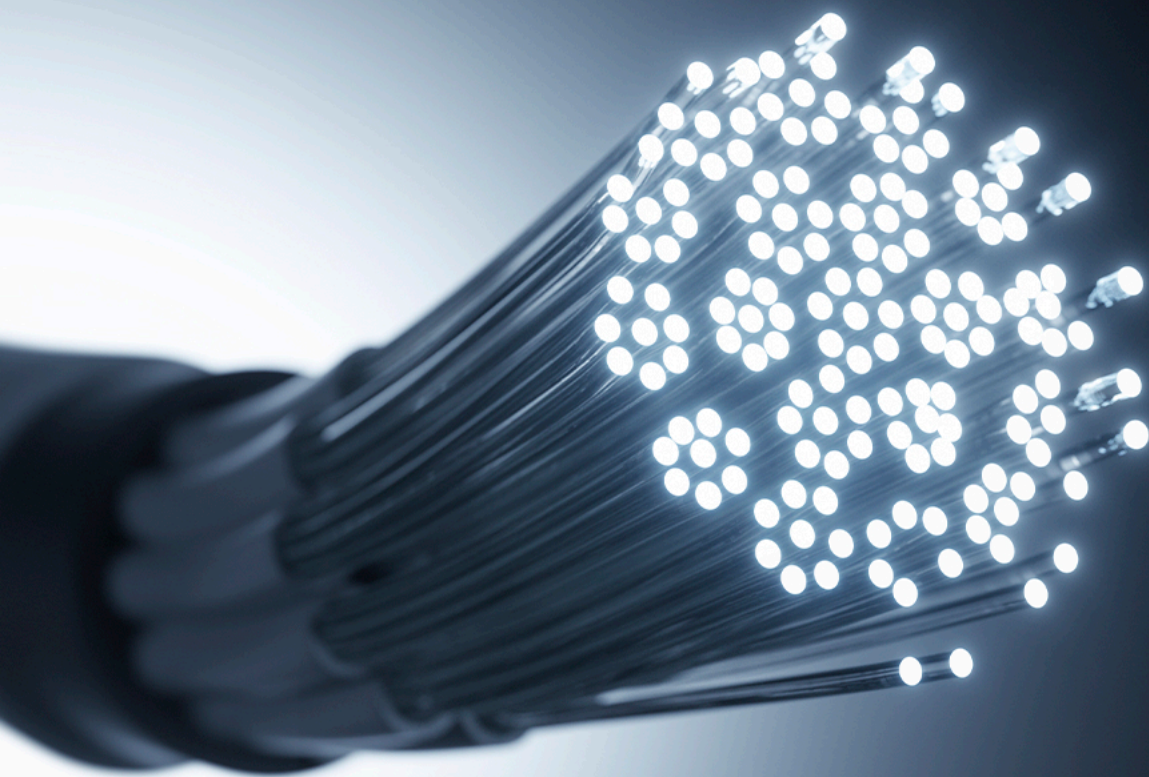


COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA

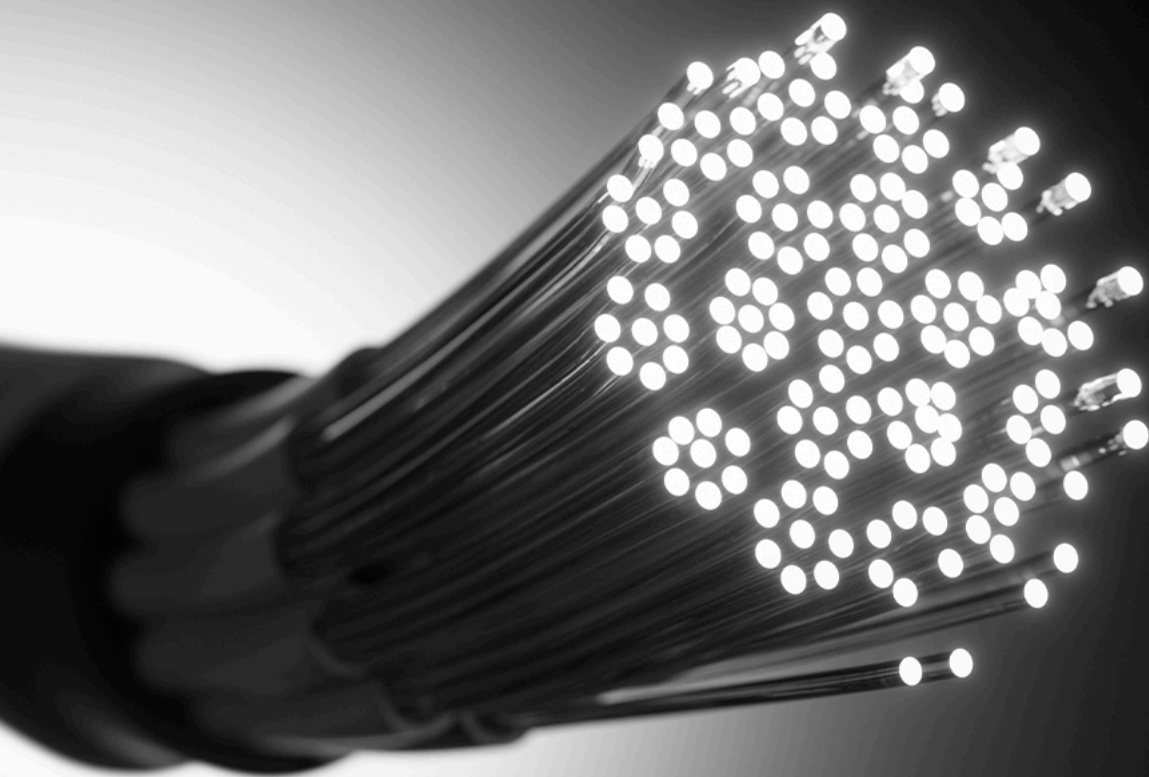


LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA



LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

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.

Open access publication by Atena Editora



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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
 Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
 Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
 Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
 Prof^a Dr^a Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
 Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
 Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
 Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
 Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
 Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
 Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
 Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
 Prof^a Dr^a Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
 Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
 Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
 Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
 Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
 Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
 Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
 Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
 Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
 Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
 Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
 Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
 Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
 Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
 Prof^a Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
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 Federal 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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
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 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

Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) | |
|---|---|
| C691 | Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5983-260-6 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.606212207 1. Engenharia elétrica. 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

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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Elétrica é um dos ramos mais abrangentes da Engenharia, pois envolve praticamente tudo o que fazemos em nosso dia a dia. Engloba desde sistemas de potência, geração de energia, conversão eletromecânica de energia, eletrônica, telecomunicações, até engenharia biomédica, sistemas digitais e computadores, controle, automação e robótica. É considerada uma área transdisciplinar e versátil, a qual passa por constantes desafios, conforme cresce a demanda por sistemas mais econômicos e eficientes.

Nesse contexto, o e-book “*Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Elétrica*” apresenta uma seleção de 12 artigos que discutem trabalhos e pesquisas desenvolvidos por professores e acadêmicos de várias regiões do Brasil, tendo como base uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos nesta área tão promissora.

Este volume aborda temas envolvendo inteligência computacional, para projeto de controladores e manutenção preditiva de máquinas elétricas; fluxo de carga em sistemas elétricos de potência; sistemas fotovoltaicos; fontes de energia alternativas renováveis; segurança de instalações elétricas; tratamento térmico de resíduos, entre outras. Dessa forma, esta obra contribuirá para aprimoramento do conhecimento de seus leitores e servirá de base referencial para futuras investigações.

A todos, uma ótima leitura!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A MANUTENÇÃO PREDITIVA NA ANÁLISE DE AVARIAS EM ROLAMENTOS, UTILIZANDO ALGORITMOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Fábio Muniz Mazzoni

André da Silva Barcelos

Antonio J. Marques Cardoso


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122071>

CAPÍTULO 2..... 15

MÉTODOS MATEMÁTICOS DE MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO: LÓGICA FUZZY

Joelson Lopes da Paixão

Alzenira da Rosa Abaide


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122072>

CAPÍTULO 3..... 39

UM ESTUDO SOBRE A ANÁLISE E PROJETO DE CONTROLADORES FUZZY

Géferson Rodrigo Sabino Silva

Wallysonn Alves de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122073>

CAPÍTULO 4..... 47


FLUXO DE CARGA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA – UM ESTUDO DE CASO USANDO A LINGUAGEM AMPL

Hugo Andrés Ruiz Flórez

Diogo Marujo

Gloria Patricia Lopez Sepulveda

Alexander Molina Cabrera

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122074>

CAPÍTULO 5..... 62

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE BRIQUETES DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS SUBMETIDOS A PIRÓLISE

Victória Oliveira Diaz de Lima

Matheus de Paula Gonçalves


Débora Hungaro Micheletti

Fernanda Bach Gasparin

Amanda de Araújo Drago

Aline Bavaresco dos Santos

Adriana Ferla de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122075>


CAPÍTULO 6..... 73

ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA NO CAMPUS UFRPE - UACSA

Reinel Beltrán Aguedo

Paula de Tarsia Borba de França

Ania Lussón Cervantes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122076>

CAPÍTULO 7..... 86


INTEGRAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS RENOVÁVEIS DE ENERGIA COM RESTABELECIMENTO OTIMIZADO PARA O AGRONEGÓCIO

Eloi Rufato Junior

Bruno Dias Camargo

Elison de Souza Moreira

Felipe de Souza Kalume

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122077>

CAPÍTULO 8..... 116

MEDIDOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Bruno Tiago Carneiro Moraes

Felipe Cléber Silveira


Averton da Silva Portigo

Dalziel Soares de Souza

Rafael José Fonseca Barbosa

Franciani Diniz Branco

Marcus Vinícius O. Braga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122078>

CAPÍTULO 9..... 120

FILTRO DE MICROFITA DE BANDA LARGA COM GEOMETRIA ELÍTICA

Paulo Fernandes da Silva Júnior

Ewaldo Eder Carvalho Santana

Paulo Henrique Bezerra de Carvalho


Danilo Diniz Meireles

Francarll Oliveira Moreno

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Pedro Carlos de Assis Júnior

Raimundo Carlos Silvério Freire

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122079>

CAPÍTULO 10..... 135

TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA


Eveline Trindade

Maristela Furman

Aline Bavaresco dos Santos

Dilcemara Cristina Zenatti

Adriana Ferla de Oliveira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220710>

CAPÍTULO 11 143

SEGURANÇA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM EMPRESAS TERCEIRIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Anderson Francisco Kaiser

Marcos Hister Pereira Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220711>

CAPÍTULO 12 158

REDUCTION OF THE ECOLOGICAL IMPACT OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS WHEN USING SILICONE LIQUID IN THE PROVINCE OF ICA - 2013

Primitivo Bacilio Hernández Hernández


Omar Michael Hernández García

Aníbal Bacilio Hernández García

Jessenia Leonor Loayza Gutiérrez

Walter Merma Cruz

Edward Paul Sueros Ticona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220712>

SOBRE A ORGANIZADORA 170

ÍNDICE REMISSIVO 171

INTEGRAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS RENOVÁVEIS DE ENERGIA COM RESTABELECIMENTO OTIMIZADO PARA O AGRONEGÓCIO

Data de aceite: 01/07/2021

Eloi Rufato Junior

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica
COPEL - Departamento de Energia Elétrica.

Bruno Dias Camargo

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica

Elison de Souza Moreira

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica

Felipe de Souza Kalume

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica

RESUMO: O presente trabalho refere-se à apresentação das alternativas de matrizes e soluções energéticas para o agronegócio no estado do Paraná, bem como as tecnologias que participam dos processos de captação, gerenciamento e distribuição de energia. O Brasil é um dos maiores produtores agropecuários do mundo e ainda não possui ampla implementação de tecnologias para a integração e reconfiguração de fontes independentes de energia voltadas para o agronegócio e propriedades rurais, o que a longo prazo reduziria custos para as concessionárias

de energia elétrica e usuário e aumentariam a qualidade do fornecimento de energia. A metodologia de pesquisa utilizada é descritiva, utilizando-se de casos já existentes ao redor do mundo, as relacionando com o agronegócio do Paraná, e as tecnologias disponíveis e acessíveis do mercado, bem como seus respectivos usos e funcionamentos e a também a criação de um estudo de caso utilizando o Paraná como cenário e 3 propriedades simuladas. O projeto criado como estudo de caso utiliza as melhores opções de fontes alternativas para a geração de energia no agronegócio e utiliza tecnologias que já foram utilizadas em projetos pilotos da COPEL para controle e restabelecimento da energia. O fluxo de potência e os cenários de reconfiguração das propriedades do estudo de caso são discutidos e também é apresentada análise da viabilidade técnico econômica do projeto.. Foram empregados dados da Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SEAB) para verificação da relação entre Agronegócio e Energia Elétrica. As alternativas apresentadas ao longo do trabalho mostram a capacidade da autonomia das propriedades se utilizando dos seus próprios recursos disponíveis e a viabilidade dessa implementação. A junção dos potenciais energéticos e as redes inteligentes mostram um cenário promissor no fornecimento de energia elétrica de qualidade, redução de custos para todos os envolvidos e de sustentabilidade ambiental, o que apresenta um grande estímulo ao investimento na implementação de microrredes e geração distribuída no estado do

Paraná.

PALAVRAS - CHAVE: Redes Inteligentes. Reconfiguração Automática. Fontes Renováveis. Agronegócio.

ABSTRACT: This work refers to alternatives of different sources and energetic solutions for agribusiness in the state of Paraná, as well as the technologies that participate in the processes of development, management and distribution of energy. Brazil is one of the largest agricultural producers in the world and still does not have a wide implementation of technologies for the integration and reconfiguration of independent energy sources aimed at agribusiness and rural properties, which in the long run would reduce costs for the electricity concessionaires and user and increase the quality of the power supply. The research methodology used is descriptive, using cases that already exist around the world, relating them to the agribusiness of Paraná, and the available and accessible technologies of the market, as well as their respective uses and functions and also the creation of a case study using Paraná as a scenario and 3 simulated properties. The project created as a case study uses the best options of alternative sources for energy generation in agribusiness and uses technologies that have already been used in COPEL's pilot projects to control and restore energy. The power flow and the reconfiguration scenarios of the case study properties are discussed and an analysis of the technical and economic feasibility of the project is also presented. Data from Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), National Electricity Agency (ANEEL) and Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SEAB) were used to verify the relationship between Agribusiness and Electric Energy. The alternatives presented throughout the work show the capacity of the properties' autonomy using their own available resources and the feasibility of this implementation. The combination of energy potentials and smart grids shows a promising scenario in the supply of quality electricity, cost reduction for all involved and environmental sustainability, which presents a great incentive to invest in the implementation of micro networks and distributed generation in the state of Paraná.

KEYWORDS: Smart Grids. Automatic reconfiguration. Renewable sources. Agribusiness.

1 | INTRODUÇÃO

A reconfiguração automática é uma das tecnologias mais atrativas e relevantes para concessionárias de energia elétrica, justamente por trazer independência para a rede em alguns casos de perda de fornecimento e maior aproveitamento dos recursos já utilizados, resultando na diminuição da necessidade de construção de novas infraestruturas e/ou substituição de equipamentos já existentes nas redes de distribuição, transporte e armazenamento, colocando todo o investimento somente na nova tecnologia a ser estudada e implementada. Quando o sistema está operando, a essência recai no aumento de sua eficiência e na diminuição de custos operacionais, fazendo o sistema operar no estado de mínimas perdas que consiste basicamente na melhor distribuição do fluxo de potência, tendo impacto direto na vida útil dos equipamentos e no perfil de tensão dos circuitos de alimentação.

Existem várias tecnologias relacionadas a redes inteligentes, mas geralmente só

são eficientes apenas para os problemas específicos aos quais foram desenvolvidos e dentro deste contexto é importante o melhor entendimento das ferramentas disponíveis que podem ser implementadas. O objetivo deste estudo é discorrer sobre a criação de pequenas zonas descentralizadas de geração independente de energia alternativa renovável que funcionem como ilhas, e com o potencial de sustentar-se autonomamente em relação ao fornecimento primário de energia, formando microrredes e, de acordo com o BEN de 2019 (dados referentes ao ano de 2018), as energias renováveis correspondem a 45,3% da Oferta Interna de Energia e 83,3% da matriz elétrica nacional.

As propriedades agrícolas apresentam alto potencial energético natural renovável, e ao mesmo tempo baixo aproveitamento deste recurso. No mundo a contribuição da biomassa para o suprimento de energia é de 10 a 14%, enquanto no Brasil 8,5% da matriz elétrica brasileira é composta por biomassa, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018). Em complemento, é possível a escolha da utilização de outras fontes de energia, como a fotovoltaica (0,5% da Matriz Elétrica Brasileira em 2018), cuja geração elétrica cresceu em 316,1% do ano de 2017 para o ano de 2018 e a eólica (7,6% da Matriz Elétrica Brasileira em 2018) que teve sua geração aumentada em quase quatro vezes em menos de cinco anos (de 12.210GWh em 2012 para 48.475GWh em 2018), segundo os dados do BEN, fornecidos pela EPE.

Essa produção autônoma é tão somente uma alternativa, pois seu funcionamento se dá de maneira complementar ao fornecimento da concessionária de energia, fazendo assim necessário o uso de uma ferramenta de integração das fontes de energias renováveis alternativas às já fornecidas por padrão. O método a ser utilizado nesse contexto são as redes inteligentes, também conhecidas como Smart Grids, que, segundo Farhangi (2010), ocorrem como sendo a convergência de tecnologia de informação e comunicação com a engenharia de sistemas de potência, tendo em vista, essencialmente, prover uma total visibilidade e amplo controle sobre ativos e serviços, autocorreção e resiliência contra anomalias do sistema e ser capaz de se auto configurar e se adaptar às transações de energia em todo o conjunto.

2 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho realizado envolve inicialmente um levantamento bibliográfico, a partir de materiais já elaborados, como livros e artigos, referente aos assuntos de fontes alternativas de energia e redes inteligentes, mantendo o foco para as zonas rurais. Para a etapa de estudo de caso e viabilidade foi realizada a análise de uma possível propriedade onde tem-se interesse de implementar o modelo, e realizado o levantamento dos dados sobre potencial energético, características da rede elétrica do local e possíveis vizinhos para integração, assim como análise dos custos para implementação do projeto. Para a construção do protótipo foram analisados os modelos já existentes no mercado, utilizados

pelas concessionárias de energia, como, por exemplo, o Intellirupter da S&C e o Self Healing da Cooper, e a partir disso foi confeccionado o modelo para utilização na integração das fontes alternativas de energia da comunidade agrícola em estudo e reconfiguração automática da rede.

2.1 Fontes Alternativas de Energia

Segundo Tiepolo (2014), historicamente o Estado do Paraná tem sido um dos maiores produtores de energia elétrica do país, quase em toda a sua totalidade através de hidrelétricas. Entretanto, o aproveitamento desta fonte no estado, assim como no Brasil, está em declínio devido ao esgotamento do potencial hídrico e, também, devido à pressão da sociedade quanto aos impactos ambientais, sociais e econômicos. A geração de energia eólica, biomassa e fotovoltaica tem sido pesquisada no estado para superar essas limitações. A regulamentação criada em 2012, e sua aprimoração em 2015 realizada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), tornou mais acessível a geração distribuída para um número maior de consumidores, possibilitando a conexão de geradores de até 5 MW, oriundos de fontes renováveis e cogeração qualificada, na rede de distribuição (Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2018).

2.1.1 Energia Hidrelétrica

A geração de energia hidrelétrica consiste inicialmente no aproveitamento da energia potencial fornecida pela água, a partir da vazão de rios e lagos ou ainda reservatórios, para produção de energia mecânica que será convertida, por meio de geradores, em energia elétrica (REIS, 2011). Segundo a ANEEL, em 2002, a energia hidrelétrica era apresentada como a principal fonte geradora de energia elétrica mundial, representando cerca de 20% de toda geração. No Brasil, esta forma de energia representou 66,6% da matriz elétrica nacional em 2018 (BEN, 2019).

As usinas hidrelétricas são classificadas a partir de suas características de utilização da água para geração de energia e sua potência gerada. Essa classificação se dá na seguinte forma (REIS, 2011): Micro centrais - $P \leq 100$ kW; Mini centrais - $100 < P \leq 1000$ kW; Pequenas centrais - $1 < P \leq 30$ MW; Médias centrais - $10 < P \leq 100$ MW; Grandes centrais - $P \geq 100$ MW.

Para a utilização de reservatórios ou tanques (presentes em muitas propriedades rurais), como acumuladores de água para geração, as instalações devem receber algumas mudanças e adições dos pontos de captação de água. Uma microcentral hidrelétrica, de modo geral, possui a seguinte estrutura (NOGUEIRA, 2004):

- Barragem vertedoura - utilizada para armazenar a energia potencial das águas;
- Tomada de água - trecho que capta a água da barragem para a geração de energia elétrica;

- Canal de adução - caminho que conduz a água até a turbina geradora;
- Câmara de carga - dispositivo que realiza a transição entre o canal de adução e o conduto forçado;
- Conduto forçado - trecho que garante maior queda e energia potencial necessária para a geração;
- Casa de máquinas - onde as turbinas e equipamentos geradores são abrigados;
- Canal de fuga - trecho que devolve a água utilizada pelas turbinas ao curso do rio.

A potência máxima, em kW, fornecida pode ser calculada com a equação (I) (NOGUEIRA, 2004).

$$P = \gamma * g * Q * H * \eta * P / 1000 \quad (I)$$

Onde γ é a massa específica da água, g é a constante de aceleração gravitacional ($\sim 9,8 \text{ m/s}^2$), Q é a vazão disponível do curso d'água, em m^3/s , H é a queda líquida, em m e η é o rendimento do conjunto turbina-gerador.

2.1.2 Biomassa e Biogás

O conceito compreende todas as matérias orgânicas utilizadas como fontes de energia. Resíduos agrícolas, madeira e plantas – como a cana de açúcar, o eucalipto e a beterraba – são exemplos de biomassa. Outra forma de aproveitamento da biomassa é o biogás, sendo este uma fonte barata e abundante de energia, podendo ser obtido através de resíduos agrícolas, ou até excrementos animais e humanos. A formação do biogás acontece durante a decomposição da matéria viva, onde são lançados na atmosfera gases e calor.

Junto à energia hidrelétrica, a energia de biomassa é responsável pelo suprimento da maior parte de energia consumida no Brasil. O que traz uma situação privilegiada ao Brasil, no que se refere a suas fontes primárias de oferta energética. Dados da COPEL (Companhia Paranaense De Energia Elétrica), 30% das necessidades de energia no país são supridas por biomassa, usando lenha para queima direta em padarias e cerâmicas, carvão vegetal para redução de ferro gusa em fornos siderúrgicos e combustíveis alternativos em fábricas de cimento e queima de carvão mineral, álcool etílico ou álcool metílico no Sul.

Nesse contexto se torna vantajoso para o Paraná investir no aproveitamento de biomassa e/ou biogás para a produção de energia elétrica, pois possui uma grande área de produção agrícola, dados da SEAB (Secretaria de Agricultura e Abastecimento) mostram que comparado ao resto do Brasil, o Paraná produziu, no ano de 2016, 17,77% da aveia (em grão), 17,69% da batata-inglesa, 30,99% do centeio, 53,68% da cevada, 22,78% do feijão, 20,95% do Fumo, 17,67% da Mandioca, 20,97% do milho, 17,57% da soja, 51,02% do Trigo entre outros produtos, além da pecuária. Esses dados dão uma noção do potencial

de geração de energia com biomassa e biogás a partir desses insumos.

2.1.3 Energia Solar Fotovoltaica

Os painéis solares transformam a energia solar em energia elétrica, fornecendo tensão em corrente contínua. Além da geração, é necessário realizar a conversão e a disponibilização da energia, para isso é utilizado o inversor, o qual é o componente responsável pela conversão da energia gerada pelo sistema fotovoltaico de corrente contínua para corrente alternada, gerando a tensão elétrica na frequência da rede local, com maior teor de harmônicos e onda da forma senoidal. Os inversores de última geração são equipados com circuitos microprocessados com o intuito de otimizar a geração de energia elétrica com rápida atuação sobre a energia gerada pelos módulos solares (RÜTHER, 2004 apud GROTH, 2013).

Para a otimização e melhor aproveitamento da potência dos painéis solares, estes são associados em série ou em paralelo, de modo a atingir uma faixa de tensão mais elevada para a conversão da energia. Um grupo de painéis conectados em série são comumente denominados strings, que serão responsáveis pelo nível de tensão do conjunto conectado aos inversores, e a associação das strings em paralelo são denominados de arrays, que possibilita a soma das correntes de cada string associada, elevando a potência conectada aos inversores (Kasim, 2020).

Segundo Groth (2013), para complementar, são utilizados alguns componentes que proporcionam o funcionamento correto e seguro de um sistema fotovoltaico, entre eles estão: disjuntores e fusíveis (proteção contra corrente de sobrecarga e curto-circuito); Diodos de by-pass e de bloqueio (evita que uma célula com baixo rendimento interfira no desempenho das outras); aterramento e proteção contra descarga atmosférica; baterias (armazenam energia produzida, suportando o período de baixa geração); e, também, sistemas de monitoramento e identificação de falhas.

2.2 Redes Inteligentes

Segundo Huayllas (2015), uma microrrede pode ser composta por uma ou mais fontes associadas a uma carga, podendo operar de forma independente ou ligada à rede de distribuição principal. Para o consumidor, uma microrrede tem o objetivo de reforçar a confiabilidade, aumentar a eficiência e melhorar a qualidade da tensão. A estrutura de uma microrrede pode variar de acordo com a carga e com as fontes de energia disponíveis.

Os problemas que a construção de uma microrrede visa resolver estão relacionados a interrupções na rede de distribuição que geram custos adicionais, implementação de novas tecnologias e preocupações sociais emergentes que estão causando ruptura na indústria e à infraestrutura existente que não é projetada para mudanças rápidas. Em relação às interrupções na rede de distribuição, são levados em consideração: a satisfação do cliente, o tempo destrutivo, desastres naturais e desafios geográficos (S&C, 2018).

2.2.1 Conceito de microrrede

A S&C (2018) conceitua a microrrede como um grupo de cargas interconectadas e recursos de energia distribuídos dentro de limites elétricos definidos, que atuam como uma única entidade controlável em relação à rede. Uma microrrede pode se conectar e desconectar da rede para permitir que ela opere em uma rede conectada ou em modo de ilha, o que é mostrado esquematicamente na Figura 1.

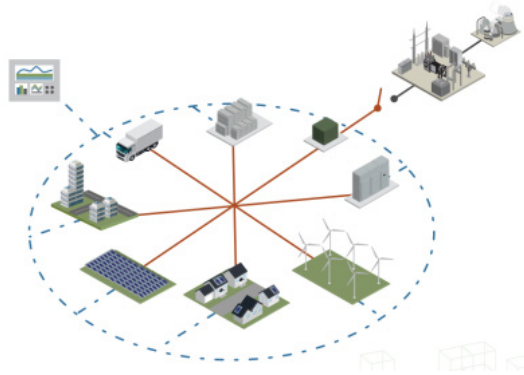


Figura 1 - Modo de operação de uma microrrede.

Fonte: S&C(2018).

Huayllas (2015) define o modo de operação conectado à rede como uma forma de oferecer suportes reativos a rede, controlando a tensão local e injetando potência ativa na mesma. O modo de ilha é dividido em dois modelos, o planejado, o qual resulta na geração de pequenos transitórios de tensão e, apesar de alguns possíveis problemas de desequilíbrio entre carga e geração, é um modo atrativo para os consumidores no ponto de vista econômico, e o forçado, que ocorre devido à presença de falhas na rede de distribuição pela presença de perturbações.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas soluções que podem ser tomadas relacionadas ao fornecimento de energia, todas elas acompanhadas com os seus pontos positivos e negativos.

| Solução | Prós | Contras |
|---|---|--|
| Não Fazer Nada | Sem nenhum custo hoje | Torna-se caro a longo prazo pois problemas crescem e ainda causam interrupções |
| Reprojetar A Infraestrutura Grandes Capacitores Usinas De Pico | Obter exatamente o que você quer e o que você precisa Amortece ou equilibra picos de carga | Extremamente caro e demorado Caro e fornece apenas alguns segundos de energia de back-up |
| Microrredes | Pequenas, precisam ligar somente quando a carga excede a geração primária ou quando um nível de importação seja atingido Solução escalável, podem ser dimensionadas para diversas necessidades, reage automaticamente quando há um problema e pode oferecer várias vantagens econômicas. | Caro, não pode ser dimensionado ao longo do tempo para atender as necessidades de mudança, além de contribuir com emissão de carbono Caro, sistemas complexos podem exigir mais tempo para projetar e instalar do que outras soluções |

Tabela 1 - Prós e Contras para diferentes soluções para fornecimento de energia

Fonte: Autoria Própria (2021).

2.2.2 Estrutura de Projeto para uma Microrrede

Para o estabelecimento de uma microrrede são necessários alguns procedimentos. O planejamento e levantamento de dados energéticos da propriedade são fundamentais. Segundo a S&C (2018) a execução de um projeto de implementação de uma microrrede segue 7 passos essenciais:

1. *Avaliação de viabilidade:* Cada microrrede possui característica de geração e operação diferente, desta maneira o estudo do impacto financeiro é necessário para cada projeto;
2. *Projeto do sistema:* Totalmente atrelada a avaliação de viabilidade, esta etapa de projeto visa a escolha das tecnologias que serão implementadas, tipos, tamanhos, localização e métodos de integração;
3. *Planejamento financeiro:* Nesta etapa define-se as formas de investimento, os benefícios, o retorno para quem implementou o projeto, o capital necessário para a operação do sistema e se haverá investimento de terceiros;
4. *Projeto de engenharia:* Para a conclusão com êxito de um projeto deste porte se faz necessário um certo nível de experiência com microrredes e familiaridade com sistemas de distribuição;
5. *Construção:* A instalação do sistema exige uma prévia experiência com trabalho em ambientes eletrificados. Na aquisição dos equipamentos é importante orçar os custos operacionais, ciclo de vida e custo de implantação;
6. *Comissionamento do Sistema:* Nesta etapa se realiza os testes de funcionamento da rede, verificação de geração e inspeção do local;
7. *Operação e otimização:* Além da manutenção regular, para manter uma microrrede operando com desempenho de alto nível requer a construção de controladores especificamente para microrredes. A utilização destes equipamentos pode maximizar a eficiência do sistema, utilizando previsões de tempo, análise de mercado e venda de energia e dados de desempenho do sistema.

Dentro deste contexto, a estrutura das micro grids se dividem em 5 grandes grupos:

1. *Ativos Existentes*: Compreende todas as cargas existentes, fontes geradoras e distribuição de serviço público;
2. *Hardware*: Aqui situa-se todos os tipos de tecnologias empregadas para a operação da microrrede. Estas tecnologias, como já citado, serão escolhidas a partir dos critérios de operação desejados.
3. *Serviços de integração*: Segundo Fang et al. (2012), o sistema de infraestrutura inteligente integra informação e comunicação. Uma microrrede não funciona sem uma integração estável e eficiente, sendo essencial para garantir que *hardware*, *software* e controles reajam de forma rápida e inteligente a oscilações do sistema;
4. *Controles*: Os controladores são responsáveis pela coordenação dos componentes do sistema. Os controladores operam em três níveis, em nível de ciclo onde se detecta e comunica-se eventos de forma instantânea na microrrede, em nível de segundos onde ocorre a tomada de decisão a partir dos dados coletados e por fim em nível de horas, onde é permitido o operador da microrrede realizar mudanças nos critérios de operação;
5. *Serviços de implantação*: São o conjunto de serviços e ações desde a implementação da rede até sua operação em longo prazo. Após a construção do sistema é necessário tomar medidas para garantir a operação contínua de toda a rede.

2.2.3 Reconfiguração Automática

O termo reconfiguração é definido por Pfitscher (2013) como a mudança na topologia da rede, através de fechamento e abertura de chaves, com o objetivo de reduzir perdas, melhorar níveis de tensão, balancear cargas e melhorar a qualidade do serviço. Segundo Pfitscher (2013), a reconfiguração de uma rede pode acontecer em três situações: quando há a necessidade de atender consumidores que estão sem energia por alguma falha na distribuição, quando há a necessidade de manutenção de alguma região ou quando visa a melhora do desempenho da rede.

De acordo com a S&C (2019) as tecnologias de reconfiguração automática também apresentam baixos índices de DEC, FEC e FIC que são indicadores que a ANEEL (2012) utiliza para avaliar a qualidade relacionada ao fornecimento de energia elétrica, e são descritos como:

- DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora: Intervalo de tempo que, em média, em cada unidade consumidora considerada ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica.
- FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora: Número de interrupções ocorridas, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão.

- FIC – Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora: Número de interrupções ocorridas, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão.

2.3 Algumas Conformidades

A Copel (2019) disponibiliza as normas técnicas (NTC) para o acesso de geração distribuída em seu sistema elétrico, como as seguintes:

NTC 905100 - Acesso de Geração Distribuída ao Sistema da Copel (com comercialização de energia): fornece os requisitos para acesso de geradores de energia elétrica ao sistema elétrico de distribuição da Copel em Média Tensão - MT (13,8 e 34,5 kV) e em Alta Tensão - AT (69 e 138 kV), excluindo as Demais Instalações de Transmissão – DIT pertencentes às transmissoras e os casos de adesão ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica (Micro e Minigeradores).

NTC 905200 - Acesso de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema da Copel (com compensação de energia): fornece os requisitos para acesso de geradores de energia conectados através de unidades consumidoras optantes pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica, instituído pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012

NTC 903105 - Geração Própria - Operação em Paralelismo Momentâneo: A unidade consumidora poderá possuir sistema de geração própria, destinado a operar nos casos emergenciais ou a critério do consumidor, com a possibilidade de operação em paralelismo momentâneo com o sistema de fornecimento da Copel.

NTC 903107 - Geração Própria - Operação Isolada em Emergência: A unidade consumidora poderá possuir sistema de geração própria, destinado a operar nos casos emergenciais ou a critério do consumidor, sem a possibilidade de operação em paralelo com o sistema de fornecimento da Copel.

3 | ESTUDO DE CASO

Nesta sessão é apresentado um projeto conceitual de uma microrrede para fins de análise. O projeto apresenta a integração das fontes estudadas ao decorrer do trabalho (microgeração hidrelétrica, fotovoltaica e biomassa) e aborda a geração de energia em três propriedades com características encontradas no estado do Paraná. A primeira propriedade trata-se de uma granja, com grandes galpões aviários que permitem a instalação de painéis solares no telhado do mesmo, a segunda é voltada para criação de porcos, com potenciais energéticos de biomassa, e a terceira é focada em produção agrícola, possui um riacho utilizado para irrigação das plantações, sendo aproveitado para geração hidrelétrica.

3.1 Propriedade com Geração Fotovoltaica

Em propriedades voltadas para criação agrícola, poucas horas sem energia elétrica já podem acarretar em grandes perdas, como em propriedade em Adamantina (G1, 2020).

Estas propriedades possuem grandes galpões que podem ser utilizados para a instalação de painéis fotovoltaicos atrelados a um banco de baterias, o que resolveria os problemas com queda de energia e não necessitaria de geradores poluentes, como os a diesel.

3.1.1 Consumo da Propriedade

A propriedade em questão tem equipamentos que possuem cargas totalizando o valor de 17.201,28 kWh por mês. Utilizando a equação (II) é possível calcular o custo mensal (C\$) com a energia elétrica para a propriedade, levando em consideração as tarifas convencionais para propriedades rurais disponibilizadas pela Copel (2020) de 0,31537 R\$/kWh para TE e 0,30207 R\$/kWh para TUSD, ambas com impostos inclusos.

$$C\$ = C * (TE + TUSD) \quad (II)$$

Com o cálculo é obtido um custo mensal de R\$ 10620,76.

3.1.2 Geração Fotovoltaica

Para a propriedade, é considerado um conjunto de painéis numa potência nominal de 488,4 kWp. A potência de pico dos painéis solares (Wp), são mensurados a uma exposição a radiação solar de 1000 W/m². Para o projeto, serão usados painéis solares da empresa paranaense Balfar Solar. Para atingir a potência nominal desejada é utilizada a equação (III).

$$P = P_{un} * Qtde \quad (III)$$

Sendo P a potência nominal desejada, sendo considerada a de 488,4 kWp, Pun a potência de cada painel, no projeto são utilizados painéis de 370Wp. Assim, são necessários 1320 painéis para totalizar 488,4 kWp, satisfazendo o valor desejado. Os painéis são instalados em um modelo chamado de arranjo fotovoltaico. Para o cálculo da área ocupada pelo arranjo é utilizada a equação (IV).

$$A_{tot} = A_{un} * Qtde \quad (IV)$$

Sendo Atot a área total ocupada pelos painéis, a área de cada painel individual e Qtde a quantidade de painéis. Segundo dados da Balfar Solar (2019), os painéis solares possuem uma área de aproximadamente 1,94 m² (0,992 x 1,956 m), assim a área total dos 1320 painéis ocupará uma área com cerca de 2560,8 m², instalados no telhado dos galpões presentes na propriedade. A instalação é capaz de fornecer 488,4 kW por hora, com irradiação média mínima de 1000 W/m², segundo dados do Atlas Solar Paraná (2017) a irradiação anual média para o estado está entre 4 a 5,5 horas por dia.

Utilizando a equação (V) é possível calcular o valor gerado médio de energia por dia.

$$E = t_{med} * P_{hr} * I_{rrmed} \quad (V)$$

Considerando t_{med} o tempo médio de 5h diárias, P_{hr} a potência gerada por hora e I_{rmed} a irradiação média mínima, é possível concluir que a instalação é capaz de fornecer 2442 kWh de energia por dia.

3.1.3 Geração Fotovoltaica

No cenário nacional, possuem vários fabricantes de transformadores e inversores, que possibilitam a transmissão de energia nas redes de distribuições locais de média tensão e nas linhas de longas distâncias de alta tensão. A WEG disponibiliza soluções para energia solar, como o inversor SIW500H – ST100 M1, modelo de 100 kW de saída, que é utilizado no projeto.

O inversor WEG (201-?) modelo SIW500H – ST100 M1 possui 20 entradas, com tensões que variam de 200 V a 1000 V, para uma saída de 380 VCA 60 Hz, que é a utilizada neste projeto, e uma corrente de 26 A por MPPT. O rastreamento do MPPT é feito em duas entradas paralelas.

Com estas informações, é possível mensurar o arranjo dos painéis em *strings* a serem conectadas e monitoradas pelo inversor, que possui monitoramento e diagnóstico de falhas para cada *string* instalado. Da Silva (2015) relata que como a instalação de *strings* e *arrays* devem ser elaboradas para a conexão em inversores de carga.

Para calcular a quantidade de painéis por entrada é utilizada a equação (III), substituindo os valores de potência pelos respectivos valores de tensão, assim, considera-se P o valor de tensão na entrada do inversor, para o caso do estudo de 1000 VCC, Pun a tensão de operação em potência máxima de cada painel de 40,7 VCC conforme Balfar Solar (2019). Com isso, obtém-se o valor de 24,6 painéis, que é arredondado para 25, totalizando-se 976,8 VCC na entrada do inversor.

Cada string possui uma potência total de 8.880 W, que é dada pela multiplicação direta da quantidade de painéis pela potência de cada um, conforme a equação (VI).

$$P_{string} = P_{un} * Qtde \quad (VI)$$

Como os painéis estão em série, cada string fornece uma corrente máxima de 9,11 A. Dessa forma, instalando 1 string por entrada, e utilizando 6 entradas é possível respeitar a corrente máxima do equipamento de 26 A por MPPT.

Com a utilização de 11 entradas, conectando uma string por entrada, é possível atingir a potência de 97,68 kW por inversor (11 strings, 24 painéis por string, 370W por painel). Assim, serão instalados 5 inversores SIW500H - ST100 M1 nesta configuração, totalizando 488,4kW instalados. Considerando a eficiência de 98%, obtém-se um valor de 2393,1 kWh de geração diária, em relação aos 2442 kWh diários.

Para o armazenamento de energia, a WEG possui uma linha completa de nobreaks em seu portfólio, dentre os produtos, destaca-se o modelo Enterprise de 380 V. O

equipamento possui uma saída trifásica 380 VAC 60 Hz, o mesmo valor de sua entrada, e não coincidentemente, o mesmo valor de trabalho do inversor dos painéis, o que possibilita o trabalho integrado destes equipamentos sem a utilização de transformadores no conjunto. A eficiência máxima do equipamento é de 90%, o que nos indica que para a potência instalada de 160 kW, é possível utilizar 144 kW, como calculado na equação (VII).

$$160kW * 0,9 = 144kW \quad (VII)$$

De acordo com WEG (2020), das especificações de baterias para equipamentos 380V, para a operação do equipamento devem ser instaladas 62 baterias. A partir do valor de consumo de 17.201,28 kWh, tem-se uma média de consumo diária de 573,38 kWh ou ainda 23,89 kW médio por hora. Considerando a utilização média de potência da propriedade por hora, o nobreak instalado teria a autonomia de 6,02 horas, como calculado na equação (VIII).

$$160 kW / 23,89 kW = 6,02 \quad (VIII)$$

3.1.4 Distribuição e Integração com a Rede Local

O transformador CST ONAN da fabricante WEG, de 500 kVA, é ideal para esta aplicação, com tensão de 0,38 kV 60 Hz na entrada/saída de baixa e 13,8 kV na entrada/saída de alta, é instalado em postes ou com suporte com rodas.

Os equipamentos principais, como geradores, transformadores e barramentos, formam zonas primárias de proteção, que devem possuir dispositivos de segurança na entrada e na saída da energia elétrica de cada zona. Os dispositivos geradores comumente possuem o seu próprio sistema de proteção, já dimensionado para a sua operação. Na configuração proposta, a proteção é feita em diferentes níveis de tensão, no primário do transformador é conectado uma rede de baixa tensão, com diferença de potencial de 380V, no secundário do transformador é conectado uma rede de média tensão, com diferença de potencial de 13,8kV.

Para a proteção de circuitos elétricos em baixa tensão, é comum a aplicação de disjuntores de caixa moldada, e a fabricante WEG disponibiliza uma linha completa de soluções, denominada Disjuntores em Caixa Moldada DW, que disponibiliza, em alguns modelos com correntes mais elevadas, proteção eletrônica e ajustes para correntes de trabalho e falha (WEG, 2021).

A configuração da conexão em baixa tensão é padronizada pela concessionária, e deve ser utilizado o método estrela aterrado (Copel, 2018). A corrente trifásica do circuito pode ser calculada com a equação (IX).

$$I = \frac{Pot}{V * \sqrt{3}} \quad (IX)$$

Com a instalação de potência total de 488,4 kW e tensão de linha (diferença de potencial entre duas fases) de 380V, a corrente de linha total calculada é de 742,05 A. A configuração estrela aterrada disponibiliza um nível de tensão de fase (diferença de potencial entre fase e neutro) igual a 220V (segundo equação (X)) e corrente de neutro máxima igual a corrente de linha máxima. Assim, o disjuntor comercial para esta aplicação é o de corrente nominal (I_n) igual a 800A modelo DWB800S800-4DA, com capacidade de interrupção de 50kA, atendendo às normas da concessionária (Copel, 2018).

$$V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad (X)$$

De acordo com a WEG, para a proteção térmica (sobre carga) em circuitos de distribuição, a corrente de ajuste é a própria I_n , ou seja 800A, e para a proteção magnética (curto circuitos) a corrente de ajuste é na faixa de cinco vezes a I_n , 4000 A. O dispositivo possui ajuste para proteção de condutor neutro, que pode ser feito em 100% do valor da corrente de fase, 50% ou sem proteção, que para este projeto, a proteção deve estar no nível de 100% (WEG, 2020). Os cabos elétricos para a transmissão de energia devem suportar a corrente nominal dos dispositivos de segurança que é de 800A, e nesta faixa de corrente, o fabricante General Cable disponibiliza o modelo ENERGY RV/XV 0,6/1kV E, condutor singelo com bitola de 400mm², que suporta uma corrente máxima de 823 A, e deve ser instalado 1 condutor por fase (General Cable, 2020).

Para a proteção em média tensão, com nível de 13,8 kV, utiliza-se o interruptor de falhas *IntelliRupter* da S&C. O dispositivo possui, além de monitoramento de falhas e religamento automático, opções para configuração e monitoramento remoto, o que amplia a faixa de controle da rede, com modelos comerciais para nível de tensão até 15,5 kV e segurança até 630 amperes.

A conexão em média tensão, de acordo com a concessionária de energia, é realizada na configuração delta, com nível de tensão de linha de 13,8 kV (Copel, 2018). Para o cálculo da corrente de linha (I_L), utiliza-se a equação (X), obtendo-se o valor de 20,33 A. Para esta configuração, a corrente de fase (I_F) se dá pela equação (XI), ou seja, 11,80 A. Para a média tensão, a corrente de ajuste adotada é igual a 1,3 vezes a I_n , ou seja, 26,43 A para corrente de linha, e 15,34 A para corrente de neutro. Para esta faixa de corrente, pode-se utilizar o modelo cabo para média tensão FOREX 8,7/15 kV, sendo utilizado 1 cabo por fase, com bitola mínima de 25mm² e capacidade de corrente de 156 A (General Cable, 2021).

$$I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \quad (XI)$$

O diagrama unifilar do projeto de instalação é mostrado na Erro: Origem da referência não encontrada, onde os religadores da fonte fotovoltaica estão simbolizados como um único religador, como deverá ser o funcionamento dos mesmos em conjunto.

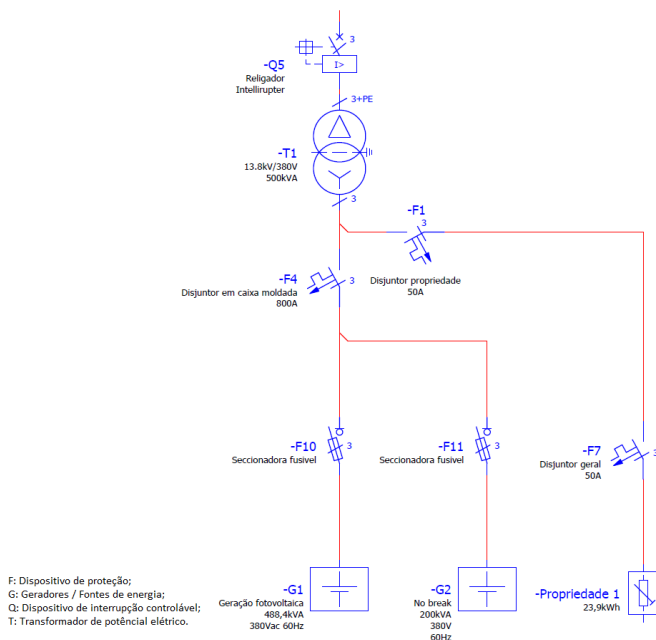


Figura 2 - Projeto de propriedade com Geração Fotovoltaica.

Fonte: Autoria Própria (2021).

3.2 Propriedade com Geração a Biomassa

Nesta propriedade, a biomassa provém das fezes de porcos, que são criados para consumo, e se não utilizada um grande potencial energético será desperdiçado. Para o projeto de geração, é considerado uma produção média de 2000 porcos a cada trimestre. Para a geração do biogás a partir das fezes de suínos, a propriedade deve possuir biodigestores, que armazenam as fezes até que o biogás seja gerado, a partir da digestão de bactérias (NUNES, 2017). Para geração, serão considerados a biomassa já transformada em biogás e filtrada, pois o manejo e técnicas empregadas para a transformação dos resíduos em energia consumível pelos geradores fogem do escopo deste trabalho..

3.2.1 Consumo da Propriedade

A propriedade tem um consumo total no valor de 14.172,32 kWh por mês. Utilizando a equação (II) é obtido o custo mensal com a energia elétrica para a propriedade de R\$ 8750,55, levando em consideração as tarifas convencionais para propriedades rurais disponibilizadas pela Copel (2020) de 0,31537 R\$/kWh para TE e 0,30207 R\$/kWh para TUSD, ambas com impostos inclusos.

3.2.2 Geração a Biomassa

Segundo Nunes (2017), porcos geram cerca de 0,1431 a 0,2400 m³ de biogás ao dia, e foi adotado, para este trabalho, uma geração média de 0,2 m³ ao dia, e com um total de 2500 porcos a propriedade é capaz de gerar 16,7 m³/h, seguindo os cálculos da equação (XII), que será filtrado para geração de energia.

$$0,2m^3\text{porciodiaporporco} * 2500\text{porcos}/24\text{h} = 20,83m^3/h \quad (\text{XII})$$

Para a utilização do biogás em geradores de energia, o combustível base deve ser filtrado e separado de agentes nocivos, porém, para o dimensionamento correto do sistema de filtragem do biogás, é necessário análise de amostras, e assim como em outros trabalhos acadêmicos, será adotado um biogás com um nível energético baixo, com 65% de metano em sua composição (NUNES, 2017).

Para biogás com 65% de concentração de metano, a ERBR (2020) disponibiliza biogeradores como, o modelo GMWM50, que consome 20m³/h, com uma geração máxima de 32 kWh em 24 horas. Considerando o tempo de manutenção mensal que o gerador necessita e o consumo da propriedade, foi utilizado um fator de utilização de 62,5%, com uma geração diária de 480 kWh/dia (Equação (XIII)) e uma produção mensal de até 14.400 kWh (Equação (XIV)).

$$32kW * 24h * 0,625 = 480kWh \quad (\text{XIII})$$

$$32kW * 24h * 30dias * 0,625 = 14.400kWh \quad (\text{XIV})$$

A propriedade tem um consumo mensal de 14.172,32 kWh e será gerado um total de 14.400 kWh, isso significa que sobrarão 227,68 kWh por mês. Além da utilização de geradores desenvolvidos para consumo de biogás, outra alternativa é a utilização de motores a combustão interna, como os a gasolina, convertidos para utilização a biogás conforme analisa Bruna Campos (2019), no trabalho citado é abordado um projeto de P&D na cidade de Entre Rios do Oeste no estado do Paraná, e financiado pela fornecedora de energia local COPEL.

3.2.3 Distribuição com a Rede Local

O modelo de gerador utilizado disponibiliza energia em sua saída em 380 VAC 60 Hz, trifásico, que pode facilmente ser utilizado pela propriedade e somente necessita de transformador para ligação à rede local. A fabricante nacional WEG também atende este ramo de potência, disponibilizando o menor transformador de seu portfólio, com uma potência de 45 kVA, com entrada/saída em baixa de 380 VAC 60 Hz, e entrada/saída 13,8 kV AC 60 Hz.

Assim como no projeto de geração da propriedade de energia solar, o transformador forma uma zona primária, necessitando um dispositivo de proteção na entrada e na saída

de energia elétrica. Para a proteção em baixa tensão será utilizado disjuntores em caixa moldada, e para a média tensão a ligação com a rede é feita a partir do *IntelliRupter*. A conexão em baixa tensão é feita em estrela aterrado, e em média tensão em delta.

Com a equação (IX), pode-se calcular o valor de corrente trifásica que é fornecido quando a geração está em potência máxima, de 32 kW com diferença de potencial de 380 V. A corrente de linha e de fase calculada é de 48,62 A. O valor comercial de disjuntor para esta faixa é de 50 A de corrente nominal (I_n) com código DWB160N50-4DF, com capacidade de interrupção de até 36kA (WEG, 2021). Este modelo possui ajuste térmico (sobrecarga) na ordem de 50 A, e proteção magnética fixa (curto circuito), conforme critérios de curva de disparo disponíveis na norma NBR IEC 60947-2 (WEG, 2021). Os cabos indicados para a instalação de baixa tensão são do modelo ENERGY RV/XV 0,6/1kV E, um condutor por fase, com bitola 6mm², com capacidade de até 54 A (General Cable, 2021).

A corrente trifásica em alta tensão pode ser calculada com a equação (IX), com potência máxima de 32 kW e nível de tensão de 13,8 kV, o valor obtido é de 1,34 A para corrente de linha, e de 0,77 A para corrente de neutro. O ajuste de corrente de falta deve ser feito com $1,3 \times I_n$, 1,74 A para corrente de linha e 1 A para corrente de neutro. Para esta faixa de corrente, pode-se utilizar o modelo cabo para média tensão FOREX 8,7/15 kV, sendo utilizado 1 cabo por fase, com bitola mínima de 25mm² e capacidade de corrente de 156 A (General Cable, 2021). O gerador utilizado deve possuir sistema de segurança próprio, com chave seccionadora, fusíveis ou disjuntores, conforme indicação do fabricante, o diagrama unifilar do projeto de instalação é mostrado na Erro: Origem da referência não encontrada.

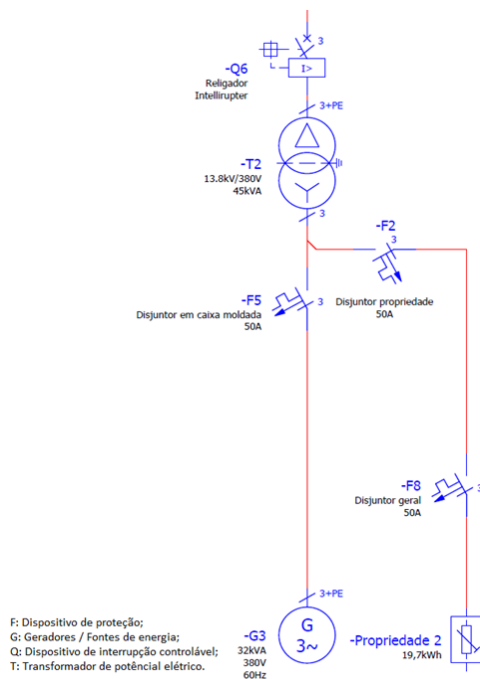


Figura 3 - Projeto de propriedade com geração a biomassa.

Fonte: Autoria Própria (2021).

3.3 Propriedade com Minigeração Hidrelétrica

A terceira propriedade conta com recursos naturais privilegiados, dentro da propriedade passa um córrego que já é utilizado para irrigação das lavouras. Este é aproveitado no estudo para a minigeração hidrelétrica, que já é utilizada em meio urbano e alguns fabricantes possuem soluções com esta finalidade.

3.3.1 Consumo da Propriedade

A propriedade possui cargas que totalizam o consumo de 14.851,68 kWh por mês. Utilizando a equação (II) para cálculo do custo mensal com a energia, é obtido o valor de R\$ 9170,02, levando em consideração as tarifas convencionais para propriedades rurais disponibilizadas pela Copel (2020) de 0,31537 R\$/kWh para TE e 0,30207 R\$/kWh para TUSD, ambas com impostos inclusos.

3.3.2 Minigeração Hidrelétrica

O conjunto instalado na propriedade possui uma queda de 10 metros com uma vazão de 6 m³/s pelo conduto forçado. Considerando um rendimento médio da turbina de 0,77, e do gerador elétrico de 0,95, aplicando a equação (I), obtém-se um valor de 430,122

kW do conjunto instalado.

Para auxiliar na escolha de turbinas de geração, a HISA, do Grupo WEG, disponibiliza um guia para seleção, disponibilizando 3 modelos básicos de turbinas, modelo Pelton, Francis e Kaplan. Cada modelo é adotado a um tipo de vertedouro, com pequenas vazões e grandes quedas, ou pequenas quedas e grandes vazões.

Utilizando o gráfico guia (HISA, 2018) para seleção de turbinas e das informações da propriedade (queda de 10 m com vazão de 6 m³/s), a turbina que mais se adequa ao projeto é o modelo Kaplan, com capacidade de geração de 500 kW, em conjunto com hidrogerador WEG GH10, de 500 kVA, fornecidos na tensão de 380V 60Hz (WEG, 2015), o que possibilita o aproveitamento total dos 430,122 kW disponíveis na planta de geração.

Gerando energia 6 horas diárias, entre os meses de outubro a março (151 dias em anos não bisextos), que possuem os maiores volumes de chuva para o estado (CLIMATE, [20-?]), de modo que a irrigação das lavouras não sejam afetadas, utilizando a equação (I) para cálculo de kWh, a propriedade gera 2.580,737 kWh/dia e 389.690,532 kWh/ano.

3.3.3 Distribuição e Integração com a Rede Local

Assim como mencionado nas seções anteriores, os transformadores constituem zonas primárias de proteção, que necessitam de dispositivos para segurança na entrada e na saída de energia elétrica. Para baixa tensão, será instalado disjuntor de caixa moldada, e em média tensão, religadores *IntelliRupter*. A conexão realizada em baixa tensão é na configuração estrela aterrada, e em média tensão delta.

Quando a fonte hidrelétrica estiver fornecendo a potência total de 430,122kW, com nível de tensão de linha igual a 380V, a corrente de linha e de neutro máxima da transmissão será de 653,50 A (calculado com a equação (IX)). Nesta faixa de tensão, o disjuntor comercial é o mesmo utilizado para proteção de baixa tensão na fonte geradora fotovoltaica, código DWB800S800-4DA, e os parâmetros para ajuste são os mesmos calculados. Os cabos de distribuição são do modelo ENERGY RV/XV 0,6/1kV E, sendo um condutor singelo com bitola de 400mm² por fase, que suporta uma corrente máxima de 823 A (General Cable, 2020).

A corrente de linha em média tensão, para a potência de 430,122kW e diferença de potencial em 13,8kV, é de 18,00 A, e a corrente de neutro é de 10,39 A (calculadas com a equação X). Para a corrente de ajuste de falta é de 1,3 x I_n, sendo 23,39 A para corrente de linha e 13,51 A para corrente de neutro.

São indicados para a instalação em média tensão, cabos com bitola mínima de 25mm², 1 condutor por fase, modelo FOREX 8,7/15 kV da General Cable, com capacidade máxima de 156A quando instalados em ar livre (General Cable, 2021).

O gerador de energia utilizado deve possuir seu próprio sistema de segurança, com chave seccionadora, fusíveis ou disjuntores, conforme indicação do fabricante, o diagrama

unifilar do projeto de instalação é mostrado na F, os religadores estão ilustrados em uma única peça, assim como deve ser o seu funcionamento interligado.

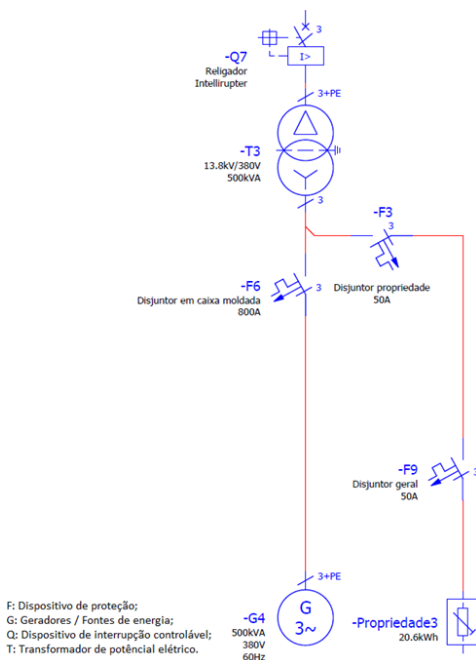


Figura 4 - Projeto de propriedade com geração hidrelétrica.

Fonte: Autoria Própria (2021).

3.4 Integração das Fontes e Gerenciamento da Microrrede

Os interruptores de falha com chaves seccionadoras com fusíveis integradas, *IntelliRupter*, utilizados para conexão das propriedades geradoras à rede, são essenciais para a integração e proteção das fontes de energia, além da instalação destes equipamentos em cada propriedade, é necessária instalação de mais dois religadores antes e depois da microrrede, o que possibilita o ilhamento e compartilhamento de carga entre as propriedades em momento de falhas na rede de distribuição local. Estes equipamentos realizam o seccionamento automático em caso de falhas e resets quando a falha é normalizada, de forma independente e com troca de informações entre eles. Mas, para um maior controle da rede e desligamento das propriedades em caso de manutenção, é interessante a instalação de equipamentos com supervisor, e que possibilitem o seccionamento remoto, para manutenção das fontes geradores, ligação de novas fontes geradoras, etc. Para isto, cada propriedade está equipada com um módulo IntelliNode™ Interface Module do sistema IntelliTeam SG Automatic Restoration System da S&C.

De acordo com a S&C (20-?) o IntelliTeam SG Automatic Restoration System realiza

a supervisão e controle da rede e automaticamente configura o sistema de distribuição depois de uma falha e rapidamente recompõe o serviço para os segmentos que não foram afetados pela falha.

3.4.1 Fluxo de Potência para Cenários de Reconfiguração da Rede

Foi utilizado o software ETAP (2021) para a realização da simulação do fluxo de potência. No estudo foram considerados cinco cenários, o primeiro deles é o padrão, com todos os equipamentos em pleno funcionamento; no segundo é considerada a perda da concessionária; e nos outros três cenários ocorre a perda de cada fonte geradora separadamente.

3.4.2 Cenário 1 – Padrão

Na Erro: Origem da referência não encontrada é mostrado o diagrama unifilar para a simulação do fluxo de potência no cenário padrão, onde não há perda de nenhum equipamento, sendo considerados todos em pleno funcionamento.

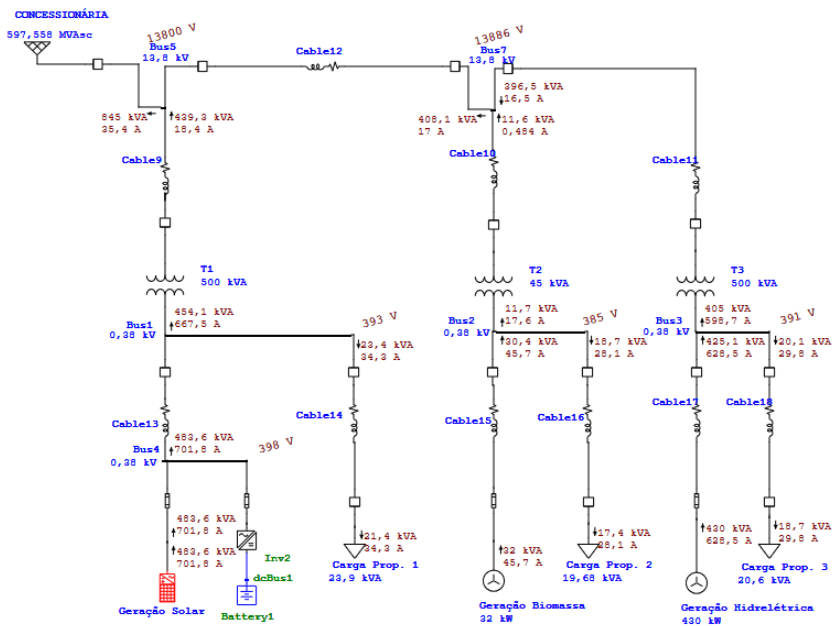


Figura 5 - Fluxo de Potência para o Cenário Padrão

Fonte: Autoria própria (2021) com simulação ETAP.

A propriedade de geração solar gera 483,3 kW, com corrente de 701,8 A, alimentando o ramo de sua carga com 23,4 kW e ficando com 454,1 kW de excedente enviado para a concessionária com 667,5 A na baixa tensão e 18,4 A na média tensão. Com a perda

proveniente dos cabos, a carga dessa propriedade é abastecida com 21,4 kW.

A propriedade de geração a biomassa gera 32 kW, com corrente de 45,7 A, enviando 18,7 kW para o ramo de sua carga e disponibilizando para a concessionária o excedente de 11,7 kW com 17,6 A na baixa tensão e 0,48 A na média tensão. Com a perda gerada nos cabos, a carga dessa propriedade é abastecida com 17,4 kW.

No caso da propriedade de geração hidrelétrica, há geração de 430 kW, com corrente de 628,5 A, para a sua carga é enviado 20,1 kW, após a perda relativa aos cabos, é abastecida com 18,7 kW e corrente de 29,8 A. Assim, a geração excedente é de 405 kW que é enviada para a concessionária com 596,7 A na baixa tensão e 16,5 A na média.

Então, para essa situação o fluxo tem a alimentação de cada propriedade feita pela sua própria fonte e o excedente total de 845 kW, após as perdas, enviado para a concessionária.

3.4.3 Cenário 2 – Modo Ilha

Quando há a perda da conexão com a concessionária, oriunda de um rompimento de cabo ou falha de algum dispositivo, há a abertura do *IntelliRupter* Q1. Para esse cenário não há geração excedente sendo enviada para a concessionária, dessa forma a propriedade de geração solar gera 26,5 kW que abastece suas cargas com 21,8 kW (após perdas) e é enviado 5,12 kW para abastecimento da propriedade de geração de biomassa, a qual gera 9,82 kW que são enviados diretamente para abastecimento de suas próprias cargas, as quais além do valor oriundo da geração solar, também recebe 6,48 kW da geração hidrelétrica. A propriedade de geração hidrelétrica também gera 24,7 kW para abastecimento de suas próprias cargas.

3.4.4 Cenário 3 – Falta Geração Propriedade 01

Com a abertura do disjuntor F4, devido a alguma falha na geração Solar, a geração da propriedade 03 (geração hidrelétrica), produzindo 430 kW e corrente de 628,5A, passa a fornecer energia para a propriedade 01, com 21,8 kW e corrente de 33,2 A, e a propriedade 02 (geração a biogás) continua gerando sua própria energia. Os excedentes gerados, de 383,8 kW, são enviados à concessionária.

3.4.5 Cenário 4 – Falta Geração Propriedade 02

Neste cenário, o fluxo fica de acordo com a apresentada na Figura 36, há a abertura do disjuntor F5 devido a uma falha na geração da propriedade 02. Dessa maneira, a propriedade 03 (geração hidrelétrica) fornece energia para a propriedade 02, para as cargas da própria propriedade.

É possível analisar no fluxo de potência proveniente da geração hidrelétrica para abastecer a propriedade 02 de 18,3 kW e corrente de 0,76 A na média tensão e 27,7 A na

baixa tensão do transformador. O excedente, de 815,4 kW, oriundo da geração solar (439,3 kW) e da geração hidráulica (378,3 kW), é enviado para a concessionária.

3.4.6 Cenário 5 – Falta Geração Propriedade 03

Neste último cenário apresentado ocorre a abertura do disjuntor F6 devido a falha na geração hidrelétrica. Segundo o fluxo de potência, para o abastecimento da propriedade 03, são enviados 8,4 kW da geração solar e 11,8 kW proveniente da geração a biomassa, totalizando assim 20,1 kW para abastecer a propriedade 03 com corrente de 0,8 A na média tensão e 30,6 A na baixa tensão do transformador. O excedente, de 429,5 kW, oriundo da geração solar, é enviado para a concessionária.

4 | VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA

A REN (Resolução Normativa) 482/2012 que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição elétrica. O Sistema de Compensação de Energia Elétrica, apresentado na REN 482/2012, permite que o excedente gerado pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetado na rede da distribuidora. De acordo com a ANEEL (2016), quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura dos meses subsequentes. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses. Há ainda a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão. Para os cálculos foi utilizado a tarifa de 0,61744 R\$/kWh da COPEL para o grupo B2 - Rural, considerando os impostos federais e estaduais. A Propriedade 1 é a com Geração Fotovoltaica, a Propriedade 2 é a com Biogás e a Propriedade 3 é a com Geração Hidrelétrica.

O consumo médio mensal da propriedade 1 é o mesmo para todos os meses do ano, sendo de 17.226,03 kWh, a diferença é na energia injetada na propriedade. Em condições normais de operação, de outubro a março a propriedade 1 entrega todo o excedente gerado (48.107,30 kWh) para a COPEL. E de abril a setembro parte da energia gerada pela propriedade 1 é destinada a propriedade 3 (15.000,00 kWh) e parte para a COPEL (50.333,33 kWh). Isso acontece pois a propriedade 3 não estará produzindo energia durante esse período devido ao perfil das chuvas no estado. Durante todo ano a propriedade 1 gera energia suficiente para suprir o consumo anual de sua própria carga, fazendo com que a fatura cobrada pela COPEL para a propriedade seja de R\$ 0.

O consumo médio mensal para a propriedade 2 é o mesmo para todos os meses do ano, sendo de 14.172,32 kWh. Em condições normais de operação (todas as fontes conectadas entre si e com a concessionária COPEL) a propriedade 2 é capaz de produzir a própria energia que consome. Durante todo ano a propriedade 2 gera energia suficiente

para suprir o consumo anual de sua própria carga, fazendo com que a fatura cobrada pela COPEL para a propriedade seja de R\$ 0. Essa propriedade é a que apresenta menor excedente de geração.

O consumo médio mensal para a propriedade 3 é o mesmo para todos os meses do ano, sendo de 14.851,6 kWh, a diferença é na energia injetada na propriedade. Em condições normais de operação (todas as fontes conectadas entre si e com a concessionária COPEL), de outubro a março a propriedade 3 entrega todo o excedente gerado (62.570,51 kWh) para a COPEL. E de abril a setembro recebe parte da energia gerada pela propriedade 1 (15.000,00 kWh). Durante todo ano a propriedade 3 gera energia suficiente para suprir o consumo anual de sua própria carga, fazendo com que a fatura cobrada pela COPEL para a propriedade seja de R\$ 0.

A Tabela 2 apresenta o custo de instalação do projeto por kW. Esses são dados de 2019 apresentados pela International Renewable Energy Agency (IRENA) (2020) que levam em conta os custos médios de investimento do projeto e também os custos médios de operação e manutenção. Os dados da IRENA (2020) levam em conta uma vida útil de 25 anos para a propriedade com geração fotovoltaica, 20 anos para a propriedade com geração a biogás e 30 anos para a propriedade com mini geração hidráulica. Para a conversão do custo foi utilizado o valor do dólar comercial no mês de abril de 2021, sendo de R\$ 5,34, de acordo com dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2021). Também é levado em conta o preço de 3 Intellirupters, o preço foi retirado de City Of Rochelle (2017) como sendo de US\$ 52.985,00. O preço dos outros 4 Intellirupters são considerados como pagos pela concessionária de energia hidrelétrica.

| Geração | Custo De Instalação (Us\$/Kw) | Custo De Instalação (R\$/Kw) | Potência Instalada (Kw) | Custo De Instalação (R\$) |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Solar Fotovoltaica | 1040 | 5.361,41 | 488,4 | 2.618.512,64 |
| Biomassa E Biogás | 2000 | 10.310,4 | 20 | 206.208,00 |
| Energia Hidrelétrica | 1641 | 6.459,68 | 500 | 3.229.840,00 |

Tabela 2 - Custo da instalação e geração de energia.

Fonte: Adaptado de IRENA (2020).

4.1 Comercialização de Energia

No final do ano de 2020, a COPEL abriu uma chamada pública (Chamada Pública COPEL DIS GD 001/2020) com o interesse na compra de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração distribuída para a constituição de microrredes. Para a participação é necessário um mínimo de 1 MW de potência instalada, e o projeto aqui apresentado tem 1,0084 MW, e é necessário que todos os ativos devam estar aptos para a operação em modo ilha. O preço máximo estabelecido é de 311 R\$/MWh e é o valor a ser utilizado no cálculo do retorno do investimento, em um cenário onde a energia excedente esteja sendo comercializada.

Para a execução do projeto, assim como MS Aziz (2020) e Nunes (2017) demonstram, é necessário, no mínimo, o cálculo do capital inicial, o Payback e taxa interna de retorno do projeto (TIR ou em inglês IRR). O payback e a TIR, são ferramentas que verificam a viabilidade econômica do projeto, o primeiro nos dá quantos anos são necessários para reaver o montante investido, já a TIR nos mensura qual será o percentual de retorno do projeto.

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento (Payback) foi usada tanto a economia mensal quanto os valores de venda de energia, de acordo com a equação (XV), e o tempo de Payback é apresentado na Tabela 3.

$$Payback = Investimento\ Inicial / (Economia\ Mensal + Venda\ Mensal)$$
 (XV)

| Geração | Custo De Instalação (R\$) | Economia Mensal (R\$) | Venda Mensal De Excedente (R\$) | Payback (Anos) |
|----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------|
| Solar Fotovoltaica | 2.995.318,14 | 10.575,00 | 12.628,87 | 10,76 |
| Biomassa E Biogás | 624.699,90 | 8.688,82 | 70,81 | 5,94 |
| Energia Hidrelétrica | 2.539.089,90 | 9.108,28 | 9.752,74 | 11,22 |

Tabela 3 - Tempo para Payback
Fonte: Autoria Própria (2021).

A coluna da Tabela 3 que representa a venda de excedentes é o valor médio da venda mensal de cada propriedade. Esse valor é dado pelo produto do crédito médio mensal de cada propriedade pelo valor máximo de venda de 311 R\$/MWh. Esses mesmos valores da venda, após o investimento ser pago, é o lucro médio mensal de cada propriedade.

As figuras Figura 7, Figura 8 e Erro: Origem da referência não encontrada representam o gráfico do fluxo de caixa anual de cada propriedade (propriedade 1, propriedade 2 e propriedade 3, respectivamente) ao longo da vida útil de cada projeto de geração. O ponto onde o valor do fluxo de caixa se iguala a zero é o valor do Payback.

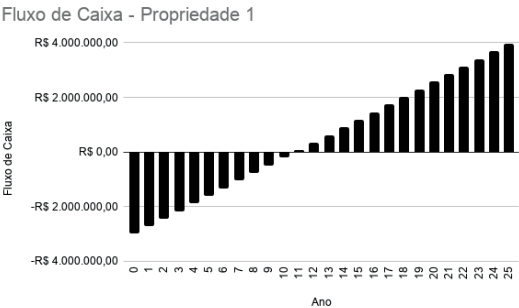


Figura 7 - Fluxo de caixa da Propriedade 1.
Fonte: Autoria Própria (2021).

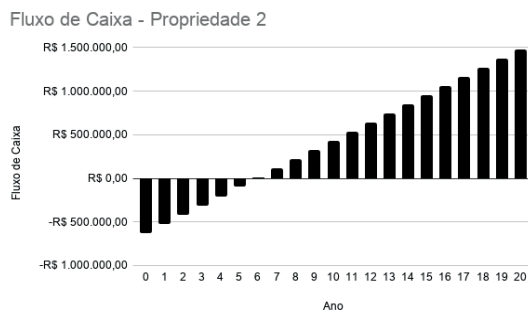
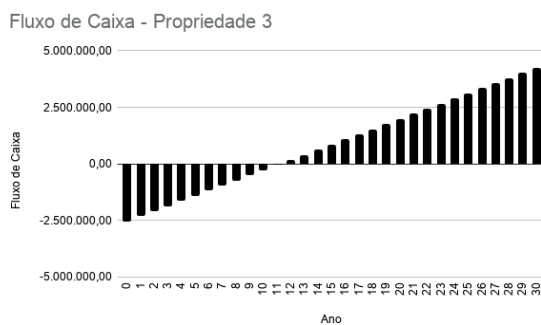


Figura 8 - Fluxo de caixa da Propriedade 2.

Fonte: Autoria Própria (2021).



Fonte: Autoria Própria (2021).

Para o cálculo da TIR foi utilizada a Equação (XVI) em um período de 25 anos para a propriedade com geração fotovoltaica, 20 anos para a propriedade com geração a biogás e 30 anos para a propriedade com minigeração hidráulica, e os valores apresentados foram de 3% para a propriedade com geração Fotovoltaica, 13% para a propriedade com geração a Biogás e 5% para a propriedade com Geração Hidrelétrica. Levando em conta a taxa SELIC em abril de 2021 de 2,75% ao ano (Banco Central do Brasil, 2021) como valor que representa a taxa mínima de atratividade, esses valores nos apresentam que o investimento no projeto é algo viável por serem maiores que a taxa SELIC.

$$i = inFC * i(1 + TIR)^i - InvestimentoInicial = 0 \quad (XVI)$$

Onde 'FC' é o fluxo de caixa, 'i' o período de cada investimento e 'n' o período final do investimento.

5 | CONCLUSÃO

Em um mundo onde o uso de energia elétrica se tornou vital, novos caminhos para a gestão dessa demanda e suprimento crescentes se tornam primordiais. As ferramentas

que são utilizadas para o gerenciamento de toda essa cadeia de fluxo não são novas, mas a possibilidade da integração e independência cada vez maior do usuário final ainda é algo de grande interesse para as companhias de energia elétrica, pela descentralização e principalmente pela redução da enorme carga que recai sobre as principais fontes atuais utilizadas na geração de energia, que apesar de renováveis, necessitam de um tempo útil para se restabelecer

O Paraná e seu potencial em geração de energias renováveis, como o biogás, a fotovoltaica e as micro geradoras hidrelétricas, e por suas áreas cujo fornecimento de eletricidade pode ser facilmente prejudicado, principalmente por condições adversas de tempo e a demora na sua manutenção apresenta potencial para inovação e investimento em novas maneiras de gerar, distribuir, transportar e armazenar energias. O consumidor final, neste estudo o agronegócio, também poderá se tornar o seu próprio fornecedor de energia elétrica e ainda contribuir com a sociedade ao seu redor e ser beneficiado compartilhando o excedente de geração seja através de sistema de Compensação de Energia Elétrica ou através da venda.

As fontes apresentadas no trabalho demonstram a capacidade de dar autonomia para cada propriedade no seu próprio fornecimento energético e com qualidade. A geração distribuída pode ser implementada em qualquer local que apresente um potencial de geração, pela quantidade de insumos disponíveis, junto a um estudo sobre o consumo da propriedade e o capital de investimento. Além disso, propriedades vizinhas podem se unir para compartilhar essa energia entre si em uma microrrede, e em caso da falta de alguma das unidades de geração e fornecimento, existe a possibilidade de alguma outra propriedade suprir essa demanda das cargas pelo restabelecimento otimizado da rede, o que aumenta a certeza de um fornecimento contínuo, e existem tecnologias habilitadoras para isso como apresentado ao longo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Cadernos Temáticos ANEEL **Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica**, 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em: 25 de março de 2021.

AZIZ, Muhammad Shahbaz. **Rural Electrification through an Optimized Off-grid Microgrid based on Biogas, Solar, and Hydro Power**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9048222>. Acesso em: 13 de novembro de 2020.

BALFAR SOLAR. **Datasheet Painei Nacional BS72M – 370W, 2019**. Disponível em: <http://balfarsolar.com.br/wp-content/uploads/2019/10/BALFAR-DATASHEET-MONO-370W.pdf>. Acesso em: 25 de Outubro de 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **[Site Institucional]**, 2021. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>. Acesso em: 09 de abril de 2021.

CAMPOS, Bruna Andrade. **Modelagem de sistemas de geração distribuída com motores de combustão interna invertidos a biogás**, 2018. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNIOESTE-1_a787378c97129ce80afa1fe29f6eaf68. Acesso em: 29 de outubro de 2020.

CITY OF ROCHELE. **Universal Utility Supply Co.**, 2017. Disponível em: <https://www.cityofrochelle.net/government-documents/city-council-agendas-and-minutes/agendas/2017-city-council-meeting-documents/2017-09-11-agenda/5090-5-uusco-quote/file.html>. Acesso em: 26 de abril de 2021.

CLIMATE. **Dados climatológicos Paraná**. [20-?]. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/argentina/entre-rios/parana-1897/>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2021.

COPEL. [Site Institucional]: **Biomassa**, 2016. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F24349F1A246428E1032574240049F201>. Acesso em: 01 de novembro de 2018.

COPEL. **Normas técnicas Copel: NTC905200**, 2018. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/verdocatual/E59DF9E94B635F678325831D0047F719/\\$FILE/NTC905200_Rev04102018.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/verdocatual/E59DF9E94B635F678325831D0047F719/$FILE/NTC905200_Rev04102018.pdf). Acesso em: 09 de abril de 2021.

COPEL. **Taxas e Tarifas**, 2020. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2019: Ano base 2018**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.

ERBR. **Grupo Geradores**, 2020. Disponível em: <https://www.erbr.com.br/produtos/1/grupo-geradores>. Acesso em: 01 de novembro de 2020.

FANG, X. S; MISRA, G; XUE, E D; YANG. 2012. **“Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey”**. IEEE Communications Surveys Tutorials 14 (4): 944–80. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SURV.2011.101911.00087>. Acesso em: 17 de novembro de 2018.

FARHANGI, Hassan. **The path of the smart grid**. IEEE power and energy magazine, v. 8, n. 1, 2010.

G1 PRESIDENTE PRUDENTE E TV FRONTEIRA. **Sem energia elétrica e sistema de ventilação, cerca de 6 mil aves morrem por causa do forte calor em granja em Adamantina**, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/presidente-prudente-regiao/noticia/2020/10/01/sem-energia-eletrica-e-sistema-de-ventilacao-cerca-de-6-mil-aves-morrem-por-cao-do-forte-calor-em-granja-em-adamantina.ghtml>. Acesso em: 28 de outubro de 2020.

GENERAL CABLE. **Cabos de baixa tensão**, 2020. Disponível em: https://www.generalcable.com/eu/assets/CatalogLibrary/Power-and-Low-Voltage/0200-C0050-0P-Low-Voltage-eBook-2020_07.pdf. Acesso em: 29 de abril de 2021.

GENERAL CABLE. **Cabos de média tensão**, 2021. Disponível em: <https://www.generalcable.com/assets/documents/LATAM%20Documents/Brazil%20Site/Catalogo-Cabos-de-Media-Tensao.pdf?ext=.pdf>. Acesso em: 09 de abril de 2021.

GROTH, Júlio Augusto. **Usina de geração fotovoltaica**. 2013.

HUAYLLAS, T. **Micro-redes elétricas: Estado da Arte e contribuição para o dimensionamento, aplicação e comercialização da energia produzida**. 2015.

IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2019**, 2020. *International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf. Acesso em: 25 de março de 2021.

KASIM, Naseer, HUSSAIN, Hazim. **Performance Improvement of CIGS PV Solar Grid Tied System Using Planer Concentrators, Case Study : Baghdad**. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342736081_Performance_Improvement_of_CIGS_PV_Solar_Grid_Tied_System_Using_Planer_Concentrators_Case_Study_Baghdad. Acesso em: 05 de novembro de 2020.

NOGUEIRA, Carlos. **Dimensionamento de sistemas integrados de energia em ambientes rurais**, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88061/208617.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2021.

NUNES, Angelo. **Análise de viabilidade econômica de geração de energia elétrica a partir de biogás de suinocultura**, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/178021>. Acesso em: 30 de outubro de 2020.

PIFTSCHER, L. **Reconfiguração Automática das redes de distribuição de energia elétrica com monitoramento em tempo real**. 2013.

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**, 2011. Barueri, SP: Manole.

S&C. **Rethinking Your Lateral Protection Strategy**, 2019. Disponível em: <https://www.sandc.com/globalassets/sac-electric/documents/sharepoint/documents---all-documents/educational-material-461-4500.pdf?dt=637423025391886889>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2021.

S&C Eletric Company. **Soluções para Microrredes**, 2018. Disponível em: <https://www.sandc.com/pt/solucoes/solucoes-para-microrredes/>. Acesso em: 17 de novembro de 2018.

TIEPOLO, G.; JUNIOR, Osiris Canciglieri; JUNIOR, Jair Urbanetz. **Estudo do potencial de participação das fontes renováveis de energia na matriz elétrica do Estado do Paraná**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. 2014.

TIEPOLO, G.M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONÇALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S.; ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1ª Edição. Curitiba: UTFPR, 2017.

WEG. **DWB e DWA - Disjuntores em Caixa Moldada**, 2021. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h83/hd0/WEG-disjuntores-em-caixa-moldada-dw-50009825-catalogo-pt.pdf>. Acesso em: 28 de abril de 2021.

WEG. **Energia Hidrogeradores**, 2015. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h28/hf8/WEG-hidrogeradores-50005371-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2021.

WEG. **Nobreak enterprise: tecnologia avançada para proteção de sistemas críticos**, 20-?. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7e/hb0/WEG-nobreak-enterprise-50102821-pt.pdf>. Acesso em: 29 de outubro de 2020.

WEG. **SIW - Inversores String**, 201-?. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/ha4/h35/WEG-inversores-string-SIW500H-SIW300H-50076575-pt.pdf>. Acesso em 28 de outubro de 2020.

WEG. **Transformador Óleo 500kVA**, 2020. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Transformadores-e-Reatores-a-%C3%93leo/Transformadores-de-Distribui%C3%A7%C3%A3o-a-%C3%93leo/301-a-3-000-kVA/Transformador-%C3%93leo-500-0kVA-13-8-0-38kV-CST-ONAN/p/14367708>. Acesso em: 28 de outubro de 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agronegócio 11, 45, 86, 87, 112

AMPL 10, 47, 48, 49, 52, 53, 55, 58, 59, 61

Arduino Uno 116, 117, 118

B

Biocombustíveis Sólidos 62

Biomassa 24, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 88, 89, 90, 91, 95, 100, 101, 103, 107, 108, 113, 135, 136, 137, 141, 142

C

Canteiro de Obras 143, 144, 145, 150, 151, 152, 154, 156

Carbonização 62, 64, 68, 69, 71

Construção Civil 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 154, 156

Consumo 11, 24, 63, 78, 83, 96, 98, 100, 101, 103, 108, 109, 112, 116, 117, 118

Controladores Fuzzy 10, 39, 44, 45

Cooperativa 143, 145, 148, 149, 151, 153, 156

Coproduto 135, 141

Corrente 1, 5, 12, 75, 80, 91, 97, 98, 99, 102, 104, 106, 107, 108, 116, 117, 146

D

Dielectric Fluid 159

E

Energia 9, 11, 2, 5, 8, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 48, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 122, 123, 135, 136, 138, 141, 142, 150, 151

Energia Elétrica 11, 2, 24, 25, 31, 33, 34, 35, 37, 61, 73, 74, 76, 80, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 98, 100, 102, 104, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 116, 118, 141, 150

Environmental Management System 159

Excentricidade 120, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132

F

Filtros Planares 120, 122, 124

Fluxo de Carga 9, 10, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 61

Fontes Renováveis 24, 63, 87, 89, 114

Fuzzy 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

G

Geometria Elíptica 120, 124, 125, 131

I

Identificação de falhas em rolamentos 1

Inteligência Artificial 10, 1, 3, 12, 13, 15, 16

L

Lógica Fuzzy 10, 15, 16, 17, 20, 23, 36, 37, 39, 40, 44, 45

M

Mamdani 18, 19, 20, 39, 40, 44

Medidor 11, 116, 117, 118, 119

Motor de indução trifásico 1

O

Otimização Matemática 47, 48, 49, 53, 61

P

Pirólise 10, 62, 68, 135, 136

R

Reconfiguração Automática 87, 89, 94, 114

Redes Inteligentes 86, 87, 88, 91

Resíduos Agroindustriais 62, 63

S

SIF 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 28, 31, 32, 33, 34, 35

Sistemas Elétricos de Potência 9, 10, 47

Sistemas Fotovoltaicos 9, 23, 73, 77

Solver Knitro 47

Sombreamento 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85

Sustentabilidade 27, 63, 73, 84, 86

T

Tensão 51, 74, 87, 91, 92, 94, 95, 97, 98, 99, 102, 104, 106, 107, 108, 113, 116, 117, 150

Terceirizados 143, 144, 145, 146, 151, 156, 157

Torrefação 62, 64, 68, 69, 70, 71, 135, 136, 137, 138, 141

Transformadas no domínio tempo-frequência 1

Transformer 159

V

Viabilidade 66, 73, 74, 77, 82, 84, 85, 86, 88, 93, 108, 110, 114

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA ELÉTRICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



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



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

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA ELÉTRICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



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



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