

# ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizadores)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2021

# ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizadores)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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 Alfnas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

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

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

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

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

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

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

### **Linguística, Letras e Artes**

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

### **Conselho Técnico Científico**

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

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

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

## Engenharia elétrica: desenvolvimento e inovação tecnológica

**Editora Chefe:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann

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

E57 Engenharia elétrica: desenvolvimento e inovação tecnológica / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5706-773-4  
DOI 10.22533/at.ed.734212202

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

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Também se trata de uma área de conhecimento com uma grande amplitude de sub áreas e especializações, algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **METODOLOGIA PARA TESTE E CLASSIFICAÇÃO DE SMART METERS PARA APLICAÇÕES EM REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES**

Luiz Henrique Leite Rosa  
Renan Corrêa de Moura  
Marcio Ribeiro Cruz  
Carlos Frederico Meschini Almeida  
Nelson Kagan  
Alexandre Dominice

**DOI 10.22533/at.ed.7342122021**

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **ESTUDO COMPARATIVO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS LEVES**

Pedro Henrique Camargos  
Ricardo Elias Caetano  
Marcel Fernando da Costa Parentoni

**DOI 10.22533/at.ed.7342122022**

### **CAPÍTULO 3..... 25**

#### **COMO ATENUAR EMI EM SISTEMAS AUTOMATIZADOS**

Rogério Martins de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.7342122023**

### **CAPÍTULO 4..... 39**

#### **MODELO MATEMÁTICO DE UMA TURBINA A GÁS DE 106 MW DE TIPO INDUSTRIAL COM UM ÚNICO EIXO**

Manuel Arturo Rendón Maldonado  
André Reinaldo Novgorodcev Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.7342122024**

### **CAPÍTULO 5..... 54**

#### **PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE LINHAS - UMA ABORDAGEM USANDO SAMPLED VALUES**

Matheus Felipe Ayello Leite  
Arthur Augusto Pereira Cruz  
Angelo Cesar Colombini  
Márcio Zamboti Fortes  
Yona Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.7342122025**

### **CAPÍTULO 6..... 71**

#### **O USO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS DIANTE DAS RECLAMAÇÕES POR DANOS ELÉTRICOS NO BRASIL**

Lívy Wana Duarte de Souza Nascimento  
Lilian de Fátima Costa Santos

Roberto Akira Yamachita  
Jamil Haddad  
Rodolfo Esmarady Rocha dos Santos  
Neiva Beatriz Ferreira Silva Vicentin  
Carlos Alberto Froés Lima

**DOI 10.22533/at.ed.7342122026**

**CAPÍTULO 7..... 83**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO**

Álvaro Ribeiro Gomes de Oliveira  
Arnaldo José Pereira Rosentino Júnior  
Nivaldo Leite da Silva Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.7342122027**

**CAPÍTULO 8..... 97**

**ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO EM MOTORES DE INDUÇÃO  
TRIFÁSICOS: OPERAÇÃO E MONITORAMENTO COM AUXÍLIO DE FONTE  
PROGRAMÁVEL**

Cássio Alves de Oliveira  
Josemar Alves dos Santos Junior  
Marcos José de Moraes Filho  
Vinícius Marcos Pinheiro  
Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira  
Luciano Coutinho Gomes

**DOI 10.22533/at.ed.7342122028**

**CAPÍTULO 9..... 112**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA PARA PREVISÃO DE POTÊNCIA  
MÁXIMA EM SUBESTAÇÕES UTILIZANDO REDES NEURAIS**

Thommas Kevin Sales Flores  
Pedro Henrique Meira de Andrade  
Isaac Emmanuel Azevedo de Medeiros  
Juan Moises Mauricio Villanueva

**DOI 10.22533/at.ed.7342122029**

**CAPÍTULO 10..... 126**

**DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE CURTO-CIRCUITOS UTILIZANDO A TRANSFORMADA  
DISCRETA FRACIONÁRIA DE FOURIER E REDE NEURAL ARTIFICIAL**

Leonardo Audalio Ferreira do Nascimento  
Viviane Barrozo da Silva Duarte Ricciotti  
Antônio Carlos Duarte Ricciotti  
Adailton Braga Júnior  
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira  
Júlio César Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.73421220210**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>138</b>
<b>DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DA COBERTURA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVO AGRÍCOLA USANDO MARCADORES ULTRAVIOLETA</b>	
Edson d'Avila Antônio Carlos Loureiro Lino Inácio Maria Dal Fabbro Ana Cristina da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73421220211</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>149</b>
<b>MODELAGEM E CONTROLE DE UM HELICÓPTERO DE BANCADA COM TRÊS GRAUS DE LIBERDADE</b>	
Matheus Sachet Rômulo Lira Milhomem	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73421220212</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>169</b>
<b>ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE ESTUFAS HIDROPÔNICAS INTEGRADAS À IOT PARA FINS RESIDENCIAIS</b>	
Rogério Luis Spagnolo da Silva Renan Pinho Lucas Ramalho Paiva Jorge Augusto Igor Falla Henrique Alvarez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73421220213</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>183</b>
<b>SEGMENTAÇÃO DE EXUDATOS DUROS USANDO LIMIAÇÃO ADAPTATIVA E CRESCIMENTO DE REGIÕES</b>	
Rafael de Freitas Brito Milena Bueno Pereira Carneiro Cristiane de Fátima dos Santos Cardoso	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73421220214</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>192</b>
<b>MICROGRID SYSTEM DESIGN BASED ON MODEL BASED SYSTEMS ENGINEERING: THE CASE STUDY IN THE AMAZON REGION</b>	
Miguel Angel Orellana Postigo José Reinaldo Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73421220215</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>208</b>
<b>ESTUDO COMPLEMENTAR DO USO DE UMA FONTE RESSONANTE PARA TESTES EXPERIMENTAIS DE FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA EM NÍVEIS DE MÉDIA TENSÃO</b>	
André Pinto Leão Maria Emília Lima Tostes João Paulo Abreu Vieira	

Ubiratan Holanda Bezerra  
Marcelo Costa Santos  
Ádrea Lima de Sousa  
Wesley Rodrigues Heringer  
Murillo Augusto Melo Cordeiro  
Juan Carlos Huaquisaca Paye  
Lucas de Paula Assunção Pinheiro

**DOI 10.22533/at.ed.73421220216**

**CAPÍTULO 17.....224**

**FERRAMENTAS DE PROTOTIPAÇÃO APLICADAS A SISTEMAS DE POTÊNCIA:  
MATLAB VERSUS PYTHON**

Luciano de Oliveira Daniel  
Sergio Luis Varricchio

**DOI 10.22533/at.ed.73421220217**

**CAPÍTULO 18.....240**

**SENSIBILIDADES DE POLOS E ZEROS EM RELAÇÃO AO COMPRIMENTO DE LINHAS  
DE TRANSMISSÃO REPRESENTADAS PELO MODELO DE BERGERON**

Sergio Luis Varricchio  
Cristiano de Oliveira Costa

**DOI 10.22533/at.ed.73421220218**

**CAPÍTULO 19.....256**

**UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES EM CENÁRIOS DE REDES ÓPTICAS COM  
MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO ESPACIAL**

Eloisa Bento Sarmento  
Mariana Gomes Costa  
Gileno Bezerra Guerra Junior  
Helder Alves Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.73421220219**

**CAPÍTULO 20.....264**

**PROJETO E ANÁLISE DE UM ARRANJO LINEAR DE ANTENAS DE MICROFITA QUASE-  
FRACTAL UTILIZANDO A CURVA DE MINKOWSKI NÍVEL 2 COM APLICAÇÕES EM  
REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO**

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira  
Pedro Carlos de Assis Júnior  
Relber Antônio Galdino de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.73421220220**

**CAPÍTULO 21.....277**

**UMA NOVA ABORDAGEM PARA O PROBLEMA DAS IMPRECIÇÕES NUMÉRICAS  
RESULTANTES DA UTILIZAÇÃO DE FILTROS COM ARITMÉTICA INTEIRA**

Daniel Carrijo Polonio Araujo  
Gabriel de Souza Pereira Gomes  
Christos Aristóteles Harissis  
Rogério Andrade Flauzino

**DOI 10.22533/at.ed.73421220221**

<b>CAPÍTULO 22.....</b>	<b>298</b>
<b>TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE CORRENTE NULA PARA APLICAÇÕES EM CONVERSORES BOOST OPERANDO EM MODO DE CONDUÇÃO CRÍTICA</b>	
Marcelo Nogueira Tirolli	
Alexandre Borges Marcelo	
Flávio Alessandro Serrão Gonçalves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73421220222</b>	
<b>CAPÍTULO 23.....</b>	<b>312</b>
<b>A STAIRWAY STATISTICAL NEURAL MODEL FOR DGA ANALYSIS</b>	
Gabriel de Souza Pereira Gomes	
Daniel Carrijo Polonio Araujo	
Mateus Batista de Moraes	
Rafael Prux Fehlberg	
Murilo Marques Pinto	
Arthur Franklim Marques de Campos	
Marcos Eduardo Guerra Alves	
Rogério Andrade Flauzino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73421220223</b>	
<b>CAPÍTULO 24.....</b>	<b>325</b>
<b>LATÊNCIA NA COMUNICAÇÃO PARA ESQUEMAS DE TELEPROTEÇÃO: REQUISITOS, AVALIAÇÕES E MEIOS DE TRANSMISSÃO</b>	
Mayara Helena Moreira Nogueira dos Santos	
Matheus Felipe Ayello	
Paulo Henrique Barbosa de Souza Pinheiro	
André da Costa Pinho	
Angelo Cesar Colombini	
Márcio Zamboti Fortes	
Yona Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73421220224</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>343</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>344</b>

## PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE LINHAS - UMA ABORDAGEM USANDO SAMPLED VALUES

Data de aceite: 04/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

### **Matheus Felipe Ayello Leite**

Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Niterói – Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/2018035671612323>

### **Arthur Augusto Pereira Cruz**

Transmissora Aliança de Energia Elétrica  
(TAESA)  
Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/3991413503096175>

### **Angelo Cesar Colombini**

Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Niterói – Rio de Janeiro  
ORCID: 0000-0002-8906-4128

### **Márcio Zamboti Fortes**

Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Niterói - Rio de Janeiro  
ORCID: 0000-0003-4040-8126

### **Yona Lopes**

Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Niterói - Rio de Janeiro  
ORCID: 0000-0002-8068-2640

**RESUMO:** Com a implementação de transformadores de medição não convencionais; o uso de uma rede de comunicação para troca de mensagens entre e dentro de subestações digitais e o advento de novos protocolos surge um novo horizonte para engenheiros de proteção com novas oportunidades emergindo.

Este artigo propõe o uso de mensagens *Sampled Values* (SV), da norma IEC 61850, para efetuar a proteção diferencial em linhas de transmissão. É realizada uma análise de viabilidade da proteção diferencial e um estudo de caso para duas linhas de transmissão de 500 kV de uma empresa transmissora de energia elétrica, através do *software Aspen Oneliner*. A rede de comunicação para dar suporte a proposta também foi avaliada com *switches* de mercado utilizados em subestações. Os resultados indicam que a simplicidade na rede de comunicação é imprescindível para alcançar o equilíbrio entre velocidade e resiliência neste tipo de solução e que novas configurações e ajustes podem ser estudados e implementados devido a versatilidade de aplicação de ajustes.

**PALAVRAS - CHAVE:** Proteção diferencial; IEC 61850; *Sampled Values*; Linhas de transmissão; Proteção de linhas de transmissão.

### LINE DIFFERENTIAL PROTECTION - A SAMPLED VALUES APPROACH

**ABSTRACT:** With the arrival of the IEC 61850 standard, non-conventional instrument transformers, and the need for a communication network to perform the exchange of messages inside and in between substations, a new horizon has been presented to protection engineers with new opportunities emerging. This paper proposes the use of SV messages IEC 61850 standard. to use it on differential protection for transmission lines. A feasibility study for differential protection is carried out on two 500 kV transmission lines belonging to an electric power transmission

company, through the Aspen Oneliner software. The communication network to support the proposal has also been evaluated with switches utilized in substations. The results indicate that the solution is feasible; however, the communication network's simplicity is essential to achieve a balance between speed and resilience.

**KEYWORDS:** Differential protection; IEC 61850; Sampled Values; Transmission lines; Transmission lines protection.

## 1 | INTRODUÇÃO

Devido a constante expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN), os requisitos de estabilidade do sistema se tornam cada vez mais exigentes e esquemas de proteção mais velozes e altamente seletivos são de suma importância nesse cenário. Segundo (Y. LIU *et al.*, 2011), a proteção diferencial — quando comparada aos esquemas de sobrecorrente, distância e comparação direcionais — é superior do ponto de vista da estabilidade, velocidade e seletividade. Desta forma, é amplamente utilizada para proteção de transformadores de potência, geradores, barramentos de subestações e Linhas de Transmissão (LTs).

Devido a necessidade de padronização na comunicação dos dispositivos que fazem parte das subestações, além da possibilidade de redução significativa no custo estrutural de subestações (Y. LIU *et al.*, 2011) e outras características, a norma IEC 61850 (IEC: 5, 2003) foi criada. A norma possibilita o uso de transformadores de instrumentos modernos (como os Transformadores de Corrente (TC) ópticos) e permite que os dados sejam transmitidos para qualquer equipamento que seja baseado no seu modelo de informação. Com isso, nascem novas oportunidades e desafios para engenheiros de proteção.

A principal vantagem estrutural da norma IEC 61850 é a redução dos custos com cabos de cobre, responsáveis principalmente para o envio de sinais analógicos, e com o tempo de implantação da estrutura da SE. Isto ocorre, dentre outros motivos, em função da possibilidade da utilização das *Merging Units* (MUs). As MUs recebem o cabeamento convencional do pátio e enviam os sinais adquiridos via protocolo SV (IEC: 9-2, 2004) até os *Intelligent Electronic Device* (IEDs). Indiretamente, além da melhora dos custos estruturais ocorre a redução do carregamento dos TCs o que diminui a probabilidade de ocorrer a saturação. O problema da saturação dos TCs é amplamente discutidos na literatura, em especial no caso de faltas assimétricas. O fenômeno da saturação também está associado à carga conectada ao secundário dos transformadores de corrente, vale ressaltar que com os TCs ópticos não haverá risco de saturação e as informações já serão enviadas aos IEDs via protocolo SV (S. RICHARDS *et al.*, 2008).

Uma outra possibilidade é a melhora da resiliência na rede de comunicação através da redundância. Esta característica pode ser implementada pois a norma IEC 61850, ao invés da comunicação ponto-a-ponto com protocolos proprietários, insere a possibilidade de utilização de redes de comunicação com protocolos padronizados, o que permite o uso

de caminhos redundantes, elevando a confiabilidade do sistema e garantido a entrega da informação mesmo num ambiente de falhas na rota principal. O presente artigo discute a arquitetura convencional e o uso de uma arquitetura redundante.

Além da proposta de uma nova arquitetura em conjunto com a discussão do método convencional, este texto também avalia os desafios e os requisitos para realização da proteção diferencial em linhas de transmissão. Para estudo de caso, foram utilizadas duas linhas de transmissão de 500 kV reais implantadas e em operação no Brasil.

A viabilidade de um esquema de proteção diferencial nestas linhas é avaliada. O estudo foi realizado a partir de simulações com faltas de alta impedância no *software Aspen Onliner*. Tal tipo de curto apresenta impasses ao desempenho da proteção diferencial e, portanto, é objeto de discussão deste artigo.

Uma outra característica ocorre em virtude da possibilidade de digitalização dos dados analógicos de acordo com a norma e seu envio via rede de comunicação. Isto é feito através das mensagens SV que permitem a proteção diferencial em LTs, onde ambos os terminais enviam medições locais de corrente entre si sob o protocolo normatizado.

Sendo assim, o comportamento de uma rede Ethernet a partir da troca de mensagens SV é avaliado e seu impacto para a solução discutido. A arquitetura proposta para viabilizar a solução, levou em conta os testes realizados, expostos na Seção 2, para alcançar equilíbrio entre velocidade e resiliência da rede de comunicação.

Este texto está organizado da seguinte forma. A Seção 2 faz uma revisão dos esquemas tradicionais, fundamenta o método a ser estudado e aborda os requisitos da rede. Os trabalhos relacionados são abordados na Seção 3. Já a proposta, o estudo de caso e os testes de comunicação são discutidos nas Seções 4, 5 e 6. Por fim, a partir dos resultados das simulações são apresentadas as conclusões e uma perspectiva de trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos estão na Seção 7.

## 2 | TELEPROTEÇÃO BASEADA EM COMPARAÇÃO DE ESTADOS

Conforme mostra a Figura 1, a proteção diferencial em LTs tem seu princípio de funcionamento baseado na comparação entre grandezas que entram e saem do circuito protegido, desde que de mesma natureza. Este é o princípio fundamental regido pela lei dos nós descrita por Kirchhoff. As correntes das duas extremidades da linha de transmissão são comparadas através do envio destas grandezas por um meio de transmissão, tradicionalmente feito por comunicação ponto-a-ponto, entre as Subestações (SEs) (MAMEDE *et al.*, 2011).

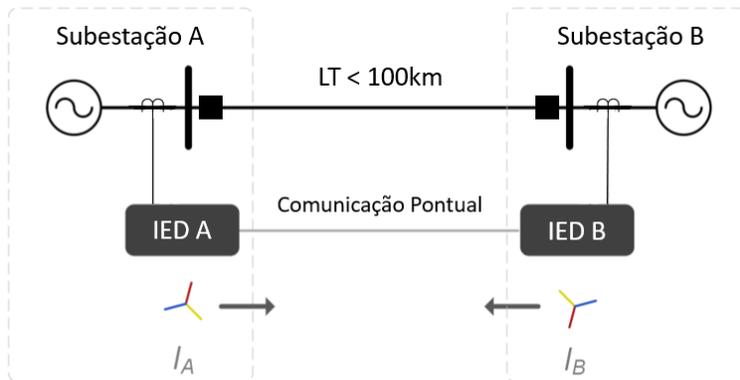


Figura 1: Aplicação típica de teleproteção baseada em comparação de estados. (Elaborada pelos autores)

Este meio pode ser fio piloto, rede de comunicação ou fibra óptica. Os principais fabricantes de relés de proteção, utilizam a comunicação ponto-a-ponto com protocolos de informação proprietários. Quando não é possível estabelecer uma conexão ponto-a-ponto devem ser disponibilizadas interfaces do tipo IEEE C37.94, E1 ou G703 para estabelecer uma comunicação entre as SEs (W. OLIVEIRA *et al.*, 2018).

## 2.1 Esquemas de Proteção Diferencial

Existem diferentes métodos para implementar o algoritmo de proteção diferencial em relés de proteção. Na prática, cada fabricante possui o seu método. Nos itens seguintes estão discutidas duas aplicações encontradas em relés de proteção dos fabricantes ABB (ABB, 2017), SEL (SEL, 2010) e Siemens (SIEMENS, 2017).

### 2.1.1 Proteção Diferencial Percentual

Este algoritmo tem a finalidade de permitir uma proteção sensível para curtos-circuitos internos à área protegida e uma boa estabilidade para curtos-circuitos externos. A corrente de restrição é a soma dos módulos das correntes medidas nos terminais locais e remotos, e a corrente de operação é o módulo da soma vetorial de ambas as correntes dos terminais. A Figura 2 representa a característica de operação deste princípio.

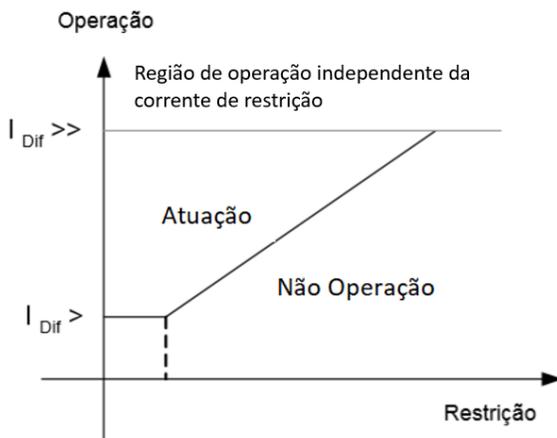


Figura 2: Característica Diferencial Percentual. (Elaborada pelos autores)

Conforme ilustra na Figura 2 existe o patamar de corrente mínimo, a área abaixo de  $I_{Dif} >$  para a qual não deve haver atuação, esse parâmetro existe em função de erros intrínsecos aos equipamentos utilizados. Há também uma outra região para correntes elevadíssimas, a parte acima de  $I_{Dif} >>$ , onde a atuação ocorre independentemente da corrente de restrição.

Para ajustar a curva de operação de um relé diferencial percentual, conforme a Figura 2, é necessário a determinação dos seguintes ajustes:

- $I_{dif} >$ : Define a corrente de partida da função;
- *Slope*: Define a inclinação da reta;
- $I_{dif} >>$ : Trata-se de um estágio da proteção cujo algoritmo permite uma atuação mais rápida.

O  $I_{Dif} >$  é determinado a partir de erros intrínsecos dos equipamentos de medição utilizados, como padrão ele equivale a 10% da Relação de Transformação (RTC) que lê a corrente do equipamento (ABB, 2017). Por recomendação de fabricantes, o *Slope* é ajustado em 0,3 para permitir estabilidade contra faltas externas. Para o  $I_{Dif} >>$  é necessário avaliar cenários de fechamento sob falta, o que torna a determinação do parâmetro mais complexa, em (SIEMENS, 2017) está exposto o método de parametrização desta variável para o IED *Sisprotec* 7SD87.

### 2.1.2 Ângulos de Fase no Plano R-X

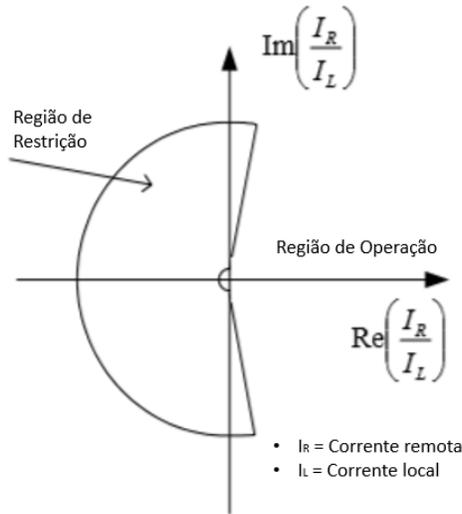


Figura 3: Característica Diferencial Plano R-X. Baseada em (SEL, 2010).

Outra forma de se realizar a proteção diferencial é através do uso do ângulo entre a corrente do terminal remoto e a corrente do terminal local. Para realizar isso, é efetuada a divisão entre as duas correntes e inserindo o resultado em um plano de impedâncias R-X. Caso o vetor resultante desta divisão se encontre localizado na área demarcada como região de operação, conforme a Figura 3, a proteção atuará. Em (SEL, 2010), é detalhado a parametrização das regiões do plano R-X para esse método de proteção diferencial de linha em relés SEL-311L.

## 2.2 Comunicação e Sincronismo

Considerando que a operação do esquema depende totalmente da comparação da medição local com a obtida remotamente, é necessário garantir uma comunicação veloz, segura e confiável e um sincronismo temporal preciso para atender a eficiência almejada (I. ALI *et al.*, 2017). Vale ressaltar que, carecendo de sincronia temporal, o esquema irá perder sua seletividade e confiabilidade (CIGRE, 2001).

Para o funcionamento da proteção diferencial de linha é essencial que os fasores de ambos os terminais da linha estejam sincronizados. Os relés, localizados em SEs distintas, requisitam amostras de um mesmo sinal e podem sofrer desvios causados pelo tempo de envio desta mensagem entre as SEs.

A sincronização pode ser realizada através de um protocolo que estima a latência do canal e usa este valor para corrigir a base horária entre os IEDs.

Quando o canal não é determinístico, os protocolos estimam esse valor através do

cálculo da latência do canal e de métodos de compensação de erros. Neste caso, os IEDs permanecem na mesma base horária.

Quando existe uma comunicação direta, Figura 4, entre os terminais, por exemplo um par de fibras ópticas interligando os relés de proteção, a latência é conhecida ou extremamente precisa. Neste caso, esse valor é usado para rotacionar o fasor de corrente. A Figura 4 ilustra o processo, após a aquisição dos fasores das correntes locais os relés enviam estas informações entre si.

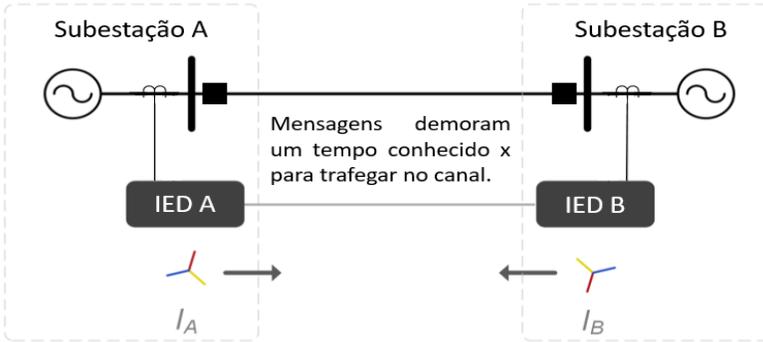


Figura 4. Proteção diferencial com a compensação da latência do canal. (Elaborada pelos autores)

Antes do IED B calcular a corrente diferencial, o mesmo necessita traduzir a base temporal da medição enviada pelo IED A para a sua própria base. Para isso, o relé rotaciona o fasor de corrente e elimina a discrepância temporal que é causada pelo tempo de transmissão e tempo do canal, conforme ilustra a Figura 5.

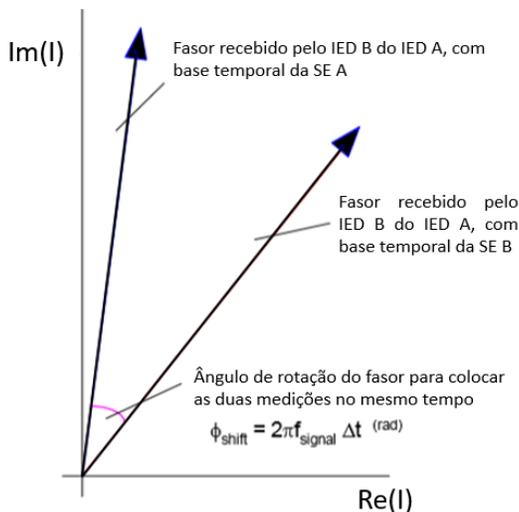


Figura 5. Sincronização Temporal. Rotação do fasor de corrente. (Elaborada pelos autores)

## 2.3 Sampled Values - IEC 61850

A norma IEC 61850 visa padronizar a comunicação entre dispositivos de controle, proteção e automação no sistema elétrico. É composta por um conjunto de padrões, independente de fabricantes e foi desenvolvida pela *International Electrotechnical Commission* (IEC). A norma é baseada em quatro pilares: modelo de informação; modelo de serviços; protocolos de comunicação; e linguagens de configuração. A modelagem de informações define classes e a nomenclatura para troca de dados relevantes (como por exemplo medidas, comandos, eventos). A modelagem de serviço define ações a serem executadas nesses dados. Os protocolos de comunicação definem como os dados são trocados entre os elementos do sistema. A linguagem de configuração define uma maneira padrão de expressar as configurações desses elementos nos equipamentos. Uma revisão sobre a aplicação da Norma IEC 61850 em subestações está apresentada em recente publicação (AFTAB *et al.*, 2020).

Entre os protocolos da norma está o SV, descrito na parte 9-2 da norma (IEC: 9-2, 2004), que padroniza o envio de medições analógicas, posteriormente digitalizadas, através de uma rede Ethernet, tais como tensão e corrente. A Figura 6 ilustra um exemplo de arquitetura em SEs sob essa padronização.

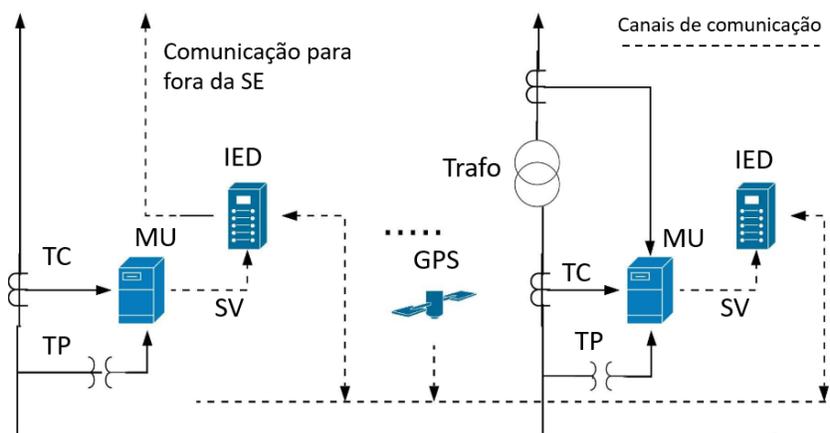


Figura 6: Exemplo de arquitetura com a utilização de SVs. (Elaborada pelos autores)

Diversas extensões como a (IEC: 7-420, 2009), (IEC: 90-1, 2010), (IEC: 90-5, 2012) e (IEC: 90-7, 2013), foram publicadas expandindo a norma para além de subestações, como recursos de energia distribuídos, teleproteção e sincrofasores. Já a parte 90-4 da norma (IEC: 90-4, 2013), estabelece um guia para a engenharia de rede definindo requisitos de comunicação que devem ser garantidos.

Especificamente, na parte (IEC: 90-1, 2010) onde é abordada a comunicação entre

SEs, são expostas duas formas de envio de mensagens via Ethernet, podendo ser tanto por canal dedicado quanto por tunelamento (W. OLIVEIRA; Y. LOPES, 2018).

Apesar do uso dessas mensagens ser difundido em redes locais, dentro das SEs, a mesma, todavia, não é utilizada para o envio de mensagens para fora da SEs, apesar da publicação da parte 90-1. Isso ocorre, pois esquemas que utilizam medições analógicas remotas geralmente operam sobre protocolos proprietários, sem aderência as padronizações da norma (Y. LIU *et al.*, 2011).

### 3 | TRABALHOS RELACIONADOS

Existem diversos trabalhos que exploram a utilização de mensagens SV em proteção diferencial de barra e em transformadores de potência (A. APOSTOLOV, 2009) e (D. M. E. INGRAM *et al.*, 2014). Para linhas de transmissão, no entanto, existem poucos trabalhos, e o enfoque desses tem sido no sincronismo temporal, sem levar em consideração o lado operacional do esquema, carecendo de estudos de viabilidade.

(Y. LIU *et al.*, 2011) discutem a proteção diferencial de linhas baseada em IEC 61850, os autores realizam uma análise teórica criteriosa e com ênfase majoritária na sincronização temporal e concluem que é viável sua utilização. No entanto, não foram feitas avaliações ou simulações que validem sua proposta. (D. M. E. INGRAM *et al.*, 2014) realizam experimentação, com o uso de um *Real Time Digital Simulator (RTDS)* e equipamentos utilizados em SE digitais, e defendem o mecanismo para uso na proteção de transformadores. Uma contribuição importante deste artigo foi a avaliação do desempenho do esquema a partir da defasagem temporal proposital entre as MU, foi observado que 1 ms de diferença já foi o suficiente para ocasionar diversas atuações indevidas próximas a curva de restrição da função diferencial.

Em (CIGRE, 2001) é estabelecido uma assimetria temporal máxima de 0,1 ms para garantir a confiabilidade em quaisquer esquemas de proteção diferencial. Já (R. BÄCHLI *et al.*, 2017) afirma que mais recentemente esse requisito foi elevado a 0,2ms. Os autores também afirmam que, para sistemas que operam na frequência de 60Hz, uma assimetria de 0,4ms significa uma discrepância angular de 3,6° entre as correntes, o que pode levar a problemas na sensibilidade do esquema.

Em (W. AN *et al.*, 2012), os autores discutem o desempenho de uma proteção diferencial em alimentadores utilizando a sincronização por *Global Positioning System (GPS)* e demonstram resultados a partir da utilização no sistema de transmissão elétrica do Reino Unido. Também é apresentada uma arquitetura de rede com rotas *backups* para a proteção diferencial e uma proposta futura de trabalho com a utilização de MUs, em que será possível avaliar a troca de mensagens SV entre os terminais na prática. Esses estudos indicam a necessidade de avaliação também na rede de comunicação e na análise dos requisitos temporais para a utilização de mensagens SV. Em (R. BÄCHLI, 2017), apesar de

não ser abordado o uso de IEC 61850, os autores realizaram testes de bancada avaliando o desempenho da proteção a partir de cenários de estresse da rede com o aumento do carregamento, assimetria nos canais de comunicação e *switchover* entre os caminhos da rede. (I. ALI *et al.*, 2017) fazem uma análise geral das possibilidades de arquiteturas e requisitos de rede para SEs digitais. (W. OLIVEIRA; Y. LOPES, 2018) realizaram um estudo em um projeto da empresa Braskem, no Brasil, com uma rede *SONET*, para avaliar o tempo de envio de mensagens de acordo com protocolos da norma IEC 61850. Os autores encontraram tempos reais de até 4,14ms incluindo o processamento do IED na origem e no destino. No entanto, a arquitetura era composta por um anel entre cinco subestações com distâncias variando de 2 Km até 5 Km.

No presente artigo, avalia-se o uso de SV para proteções diferenciais em linhas levando em consideração, também, uma visão operacional do método, ao reconhecer a diminuição do risco de saturação e ao realizar simulações de curto-circuitos em duas LTs de 500 kV do SIN. Outro ponto importante levantado é a possibilidade do aumento da robustez do canal com uma arquitetura redundante para a realização do envio de mensagens SV. Esta arquitetura será discutida na Seção 4.

#### **4 | PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE LINHAS BASEADA EM SV**

No presente trabalho, um esquema de proteção diferencial de linha baseado em SV é proposto. A arquitetura, ilustrada na Figura 7, compreende a troca de mensagens com medições locais de corrente entre os terminais das linhas, através de uma rede de comunicação Ethernet. Os IEDs de proteção em ambos os terminais devem ter a funcionalidade de publicar e assinar mensagens SV - IED SV PUB - para enviar informações sobre os valores de corrente adquiridos pelas MUs, o que possibilita o uso da técnica de comparação de estados sem a necessidade de soluções proprietárias de comunicação.

Uma vantagem da proposta é a resiliência. Ao realizar a proteção diferencial baseada em SV, pode-se utilizar uma arquitetura com mais de um caminho entre os dois IEDs. A Figura 8 exemplifica essa arquitetura redundante, que garante mais confiabilidade na comunicação entre duas SEs, onde é oferecido uma rota alternativa, caso o canal principal seja perdido. Uma vantagem da proposta é a resiliência. Ao realizar a proteção diferencial baseada em SV, pode-se utilizar uma arquitetura com mais de um caminho entre os dois IEDs.



comportamento para comprimentos diferentes.

(1) SE1 -- SE2 com 42 km de extensão;

(2) SE3 -- SE4 com 248 km de extensão.

Ambas as linhas estão no estado de Goiás e exercem um papel importante nos troncos de interligação Norte --- Sul e Norte --- Nordeste.

Conforme os dados levantados na Tabela 1, o parâmetro  $I_{Dif}$  > das LTs SE1 -- SE2 e SE3-- SE4 são de 200 A e 300 A, respectivamente, valores que equivalem a 10% da relação de transformação dos TCs presentes nas linhas. Conforme a Seção 2, essa parametrização é padrão no uso de esquemas diferenciais tipo percentual.

Linha de transmissão	Extensão (km)	RTC
SE1 -- SE2	248,56	3000
SE3 -- SE4	42,68	2000

Tabela 1: Dados das linhas de transmissão.

Para testar a viabilidade da proteção diferencial nessas duas linhas, foram analisadas as correntes de operação e restrição em quatro cenários distintos de curto-circuitos com resistência de falta de alta impedância, 120Ω. Foram efetuados curtos, para ambas as LTs, com uma distância da falta com relação ao terminal SE1 equivalente a 25% do comprimento total a linha, 50%, 75% e 99%. Com isso, pode-se avaliar a corrente medida nas quatro situações informadas. Os resultados estão expostos nas Tabelas 2 e 3. Os dados do estudo foram retirados do caso 1912PB presente na base de curto-circuito fornecido pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e as simulações de curto foram feitas no *software Aspen Oneliner*. A inclinação das curvas presentes nos Gráficos 1 e 2 seguem a recomendação da Seção 2 de 0,3.

Distância	$I_{diff}(A)$	$I_{rest}(A)$
25% de SE1	545,90	1255,08
50% de SE1	549,04	1240,21
75% de SE1	1713,94	1738,12
99% de SE1	2695,13	2269,75

Tabela 2: Simulação de faltas linha SE1 - SE2.

Distância	Idiff(A)	Irest(A)
25% de SE3	371,01	1330,86
50% de SE3	693,42	1368,40
75% de SE3	1026,16	1461,84
99% de SE3	1337,81	1580,70

Tabela 3: Simulação de faltas linha SE3 - SE4.

No gráfico do Gráfico 1, observa-se que para a LT SE1 -- SE2, quaisquer das faltas ao longo da linha entram na região de operação do relé.

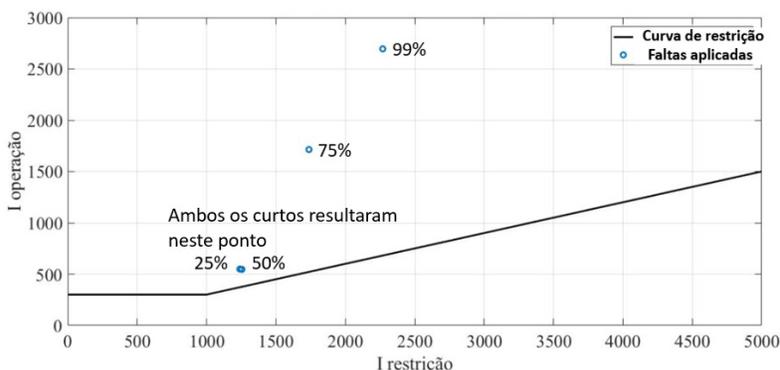


Gráfico 1: Curva de Operação da LT 500 kV SE1 - SE2.

Para o caso da LT SE3 -- SE4, apresentado no Gráfico 2, somente o caso de 25% ficou numa situação mais crítica, porém vale ressaltar que no limiar do ajuste o relé é sensibilizado. Logo, a proteção apresentou resultados satisfatórios para todos os casos simulados.

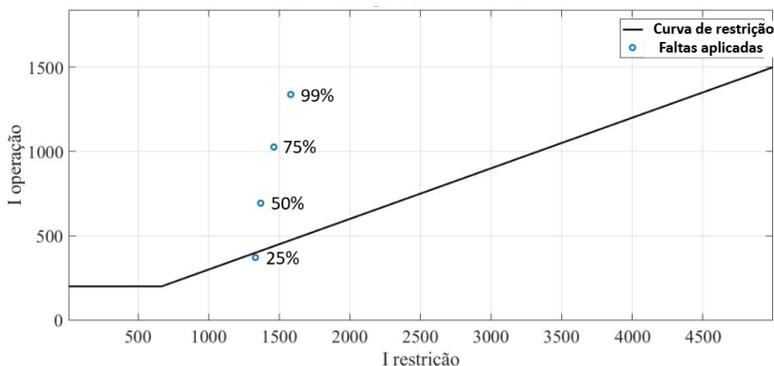


Gráfico 2: Curva de Operação da LT 500 kV SE3 - SE4.

## 6 | TESTES DE COMUNICAÇÃO

Para avaliar o impacto da rede de comunicação na troca de mensagens SV, foi realizada uma simulação com o *software SmartGridware IEC 61850 IED Simulator*. Para tanto, foi gerado dois arquivos de extensão *Configured IED Description (CID)* no *software AcSELeRator Architect* e emulado os dois IEDs *SEL 421-7 Publisher e*, a partir disso, realizar o envio de mensagens SV entre os dois relés simulados.

Um item importante considerado nos testes foi a sincronização temporal. No que tange a proteção diferencial, é fundamental que as amostras somadas estejam no mesmo instante de tempo. Conforme abordado na Seção 3, a falta de precisão temporal nas amostras resulta em uma discrepância angular entre as correntes, o que irá interferir negativamente na sensibilidade do esquema. Para se obter a sincronização necessária entre os dois hardwares operando como IEDs na simulação, foi utilizado o *software PTPSync*, que sincroniza ambos os computadores com precisão temporal PTP.

As mensagens foram enviadas a uma taxa de 80 amostras por ciclo do sistema elétrico, produzindo 4.800 *frames* por segundo em sistemas com frequência de 60 Hz. Essa frequência é padronizada pela norma (IEC: 9-2, 2004) para proteção. Observa-se, na Figura 9, que o tráfego gerado que fica próximo a 5 Mbps, estando, portanto, de acordo com o previsto na norma. É importante notar que a natureza constante do tráfego SV permite uma estimativa mais correta do seu atraso de comunicação. Em sistemas que utilizem essa estimativa para compensar o atraso em seus algoritmos, o tráfego constante contribui para maior assertividade.

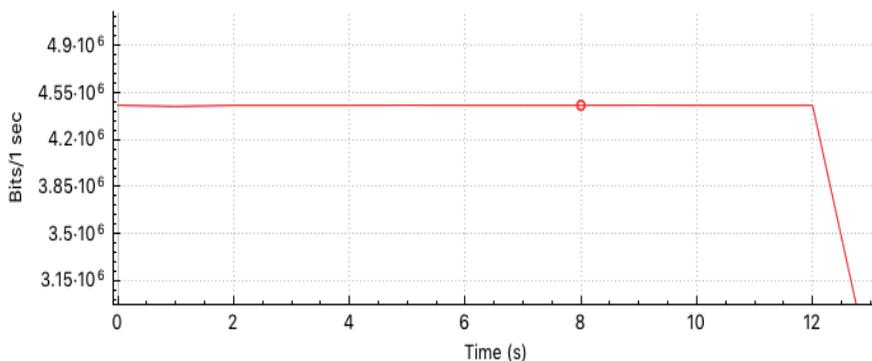


Figura 9: Captura Realizada no Wireshark do Tráfego SV indicando o tráfego constante.

No entanto, caso a arquitetura de comunicação possua um caminho alternativo é necessário atenção. Se o caminho alternativo for diferente, mesmo com um tráfego constante, seu atraso pode variar, o que irá impactar no desempenho da proteção. Por esse motivo, as soluções proprietárias utilizam arquitetura ponto a ponto que só possuem

uma opção de caminho, no entanto, também por esse motivo perdem em resiliência.

Para avaliar esse comportamento, foi realizado o teste com o aumento gradativo do número de *switches* a fim de verificar o impacto deste aumento no atraso da rede. A Figura 10 ilustra esse resultado com o aumento gradativo de 2 *switches* até 5 *switches*.

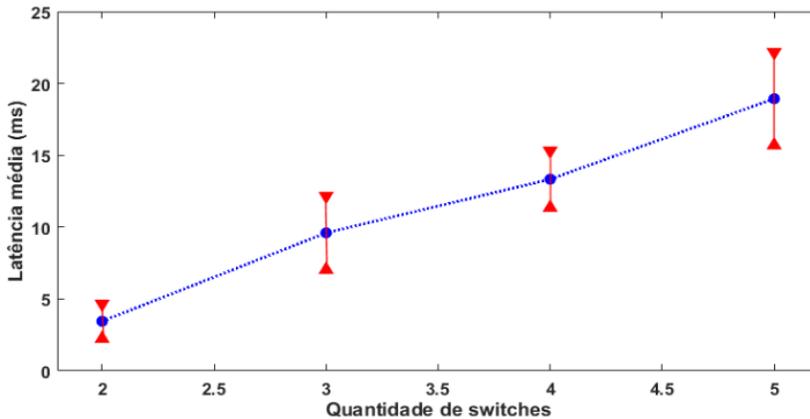


Figura 10: Avaliação do atraso da rede com o aumento do número de saltos.

Com isso, verifica-se que arquiteturas mais simples, com caminhos com menos saltos, devem ter preferência para comunicação entre subestações por possuírem um atraso menor. Para o estudo de caso realizado, uma arquitetura redundante com 2 *switches*, como a apresentada na Figura 7, seria suficiente para aumentar a resiliência sem interferir na latência.

Ressalta-se que os testes foram realizados com os equipamentos disponíveis, onde o meio físico utilizado foi o par-trançado e a taxa de transmissão dos enlaces foi fixada em 100 Mbps. Esse cenário atribui muito mais atraso ao sistema quando comparado a fibra óptica, cuja qual é utilizada de fato entre subestações. Dessa forma, a análise visa avaliar o comportamento sob cenários diferentes para escolha de uma arquitetura adequada e não o atraso final em si. Para tal requisito de rede, é extremamente necessário que sejam reproduzidos fielmente o meio de transmissão utilizado, equipamentos intermediários e distância de comunicação.

## 7 | CONCLUSÃO

A norma IEC 61850 traz novas possibilidades com o uso de protocolos como o SV. No entanto, seu uso criou novos desafios. Neste artigo, o uso do protocolo SV em esquemas de proteção diferencial de linha é discutido. Uma análise de viabilidade foi realizada com duas linhas de 500 kV reais, que exercem um papel importante nos troncos de interligação

Norte -- Sul e Norte -- Nordeste.

Conforme analisado, o esquema de proteção diferencial se mostrou viável para as duas LTs estudadas, onde pode-se confirmar que, mesmo para faltas de alta impedância, o relé é sensibilizado para os curtos aplicados em diferentes pontos ao longo da linha. No entanto, a análise de rede de comunicação mostrou que um ponto importante de avaliação para implementação desta proposta é a arquitetura da rede. Caso os atrasos associados à comunicação das mensagens SV sejam altos, os impactos negativos na velocidade geral da proteção podem comprometer o esquema. Além disso, para o aumento gradativo dos números de saltos, verificou-se que o atraso cresce ao ponto de inviabilizar a proposta.

Todavia, não é somente a latência que impacta na solução, mas também a resiliência. Uma comunicação ponto-a-ponto que ganha em velocidade perde em resiliência de rede de comunicação, já que, em caso de falha, não possui caminho redundante. Assim, uma boa opção para a solução seria uma arquitetura com dois *switches* e dois caminhos (Figura 7), que equilibre velocidade e resiliência. Verificou-se que, caso os enlaces tenham as mesmas características e a mesma quantidade de saltos, as mensagens SV sofreram o mesmo atraso independente do caminho utilizado.

Para trabalhos futuros, serão utilizados IEDs com capacidade de publicar e assinar mensagens SV a fim de se verificar os resultados da simulação num ambiente de laboratório mais verossímil com equipamentos utilizados em SEs digitais.

## REFERÊNCIAS

A. APOSTOLOV. **IEC 61850 Based Bus Protection – Principles and Benefit**. 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009.

ABB. **Line differential protection RED670 Version 2.2 ANSI Technical manual**, 2017.

AFTAB; M.A.; HUSSAIN; S.M.S.; USTUN. **T.S. “IEC 61850 based substation automation system: A survey”**. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2020.

CIGRÉ. **Protection Using Telecommunications**. Cigré, p. 1-173, 2001.

D. M. E. INGRAM; P. SCHAUB; R. R. TAYLOR; D. A. CAMPBELL. **System-Level Tests of Transformer Differential Protection Using an IEC 61850 Process Bus**. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, 2014.

I. ALI; S. M. S. HUSSAIN; A. TAK; T. S. USTUN. **Communication Modeling for Differential Protection in IEC 61850 Based Substations**. IEEE Transactions on Industry Applications, 2017.

IEC: 5. **Communication networks and systems in substations – Part 5: Communication requirements for functions and device models**. International Electrotechnical Commission, 2003.

IEC: 7-4. **Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes**. International Electrotechnical Commission, 2010.

IEC: 7-420. **Communication networks and systems for power utility automation Part 7-420: Basic communication structure distributed energy resources logical nodes.** International Electrotechnical Commission, 2009.

IEC: 90-1. **Communication networks and systems for power utility automation, Part 90-1: Use of IEC 61850 for the communication between substations.** International Electrotechnical Commission, 2010.

IEC: 90-4. **Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-4: Network engineering guidelines.** International Electrotechnical Commission, 2013.

IEC: 90-5. **Communication networks and systems for power utility automation, Part 90-5: Use of IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118.** International Electrotechnical Commission, 2012.

IEC: 90-7. **Communication networks and systems for power utility automation - Part 90-7: Object models for power converters in distributed energy resources (DER) systems.** International Electrotechnical Commission, 2013.

IEC: 9-2. **Communication networks and systems in substations – Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3.** International Electrotechnical Commission, 2004.

MAMEDE FILHO; JOÃO; DANIEL RIBEIRO. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** 2011

R. BÄCHLI; M. HÄUSLER; M. KRANICH. **Teleprotection solutions with guaranteed performance using packet switched wide area communication networks.** 2017 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE), 2017.

S. RICHARDS; D. CHATREFOU; D. THOLOMIER; F. GILLES. **Non-conventional instrument transformer solutions - experience of the process bus IEC 61850-9.2.** IET 9th International Conference on Developments in Power Systems Protection, 2008.

SEL. **SEL-311L-1, -7 Relay Protection and Automation System.** 2010

SIEMENS. **SIPROTEC 5 Distance and Line Differential Protection, Breaker Management for 1-Pole and 3-Pole Tripping 7SA87, 7SD87, 7SL87, 7VK87 V8.01 and higher.** 2019.

W. AN; N. TART; D. BARRON; M. BINGHAM; A. HACKETT. **A transmission utility's experience to date with feeder unit protection systems.** 11th IET International Conference on Developments in Power Systems Protection (DPSP 2012), 2012.

W. OLIVEIRA; Y. LOPES. **Teleprotection over SONET based on IEC 61850.** 2018 Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), 2018.

Y. LIU; H. GAO; W. GAO; N. LI; M. XIANG. **A Design Scheme of Line Current Differential Protection Based on IEC61850.** 2011 IEEE Power Engineering and Automation Conference, 2011.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

AMI 1, 2, 3, 4, 5, 7, 12, 124

Aneel 6, 52, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 81, 84, 96, 127, 136, 209, 221

Aterramento 25, 27, 28, 29, 32, 34, 37, 38, 72, 77, 209

Automação 1, 7, 25, 26, 32, 33, 37, 61, 138, 149, 164, 168, 169, 325, 330, 333, 341

### C

Classificação 1, 12, 126, 128, 131, 134, 135, 136, 184, 209

Compatibilidade Eletromagnética 25

Complexo Hospitalar 83, 84

Consumo de Energia 4, 83, 84, 138, 161, 172, 181, 259, 260

Curto-Circuito 65, 100, 126, 128, 131, 132, 133, 134, 135, 234

### D

Danos Elétricos 71, 72, 73, 76, 80, 82

Defensivos agrícolas 138, 139, 140, 146, 147

Densidade de potência 13, 15, 16, 17, 19

Descargas atmosféricas 27, 71, 76, 328

Detecção de fraudes 1, 10, 11

Distribuição de Energia Elétrica 72, 81, 96, 112, 113, 125, 127, 210, 221, 222

DPS 71, 72, 77, 78, 79, 80, 81

### E

Ensaio 97, 98, 99, 103, 104, 108, 109, 111, 219, 324

Estudo comparativo 13, 15, 275

### I

IEC 61850 54, 55, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 207, 330, 331, 332, 333, 339, 340, 341, 342

Inteligência Artificial 112, 114

Interferência Eletromagnética 25, 26, 37, 327, 328

### L

Linhas de transmissão 54, 56, 62, 64, 65, 112, 113, 227, 240, 327

### M

Medição 1, 3, 4, 7, 8, 11, 54, 58, 59, 60, 64, 79, 80, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 95, 96, 106, 138,

140, 141, 142, 217, 218, 219, 220, 221, 271, 272, 331, 338

Medidores Inteligentes 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Mensuração da área de cobertura 138, 139, 140

Modelagem de sistemas de potência 39, 228

Motor de indução 13, 14, 19, 97, 98, 100, 101, 102, 104

Motor de indução trifásico 97, 98, 100, 101, 104

## **N**

Normas Técnicas 81, 97, 99, 110, 111

## **P**

Previsão de Demanda 112, 113, 114, 115, 119, 124, 125

Previsão de Séries Temporais 112

Projetos de Engenharia 25

Proteção de linhas de transmissão 54

Proteção Diferencial 54, 55, 56, 57, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 69

## **Q**

Qualidade de energia 1, 11, 76, 96, 126, 127, 128, 217

## **R**

Redes Neurais Artificiais 112, 115, 126, 128, 136

Rendimento 15, 16, 19, 20, 95, 97, 98, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 301

Ressarcimento 71, 72, 81, 82

## **S**

Sampled Values 54, 55, 61, 70, 331

Smart Grid 1, 2, 3, 4, 6, 11, 12, 192, 193, 195, 207, 341

Subestação 29, 83, 84, 95, 96, 112, 115, 116, 124, 331

## **T**

Tecnologias de aplicação 138, 139, 140

Termoeletricidade 39

Transformador 83, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 132, 212, 213, 221, 313, 337

Turbina a gás 39

Turbogerador 39

## **V**

Veículo elétrico leve 13

Viabilidade Técnica 13, 14, 16