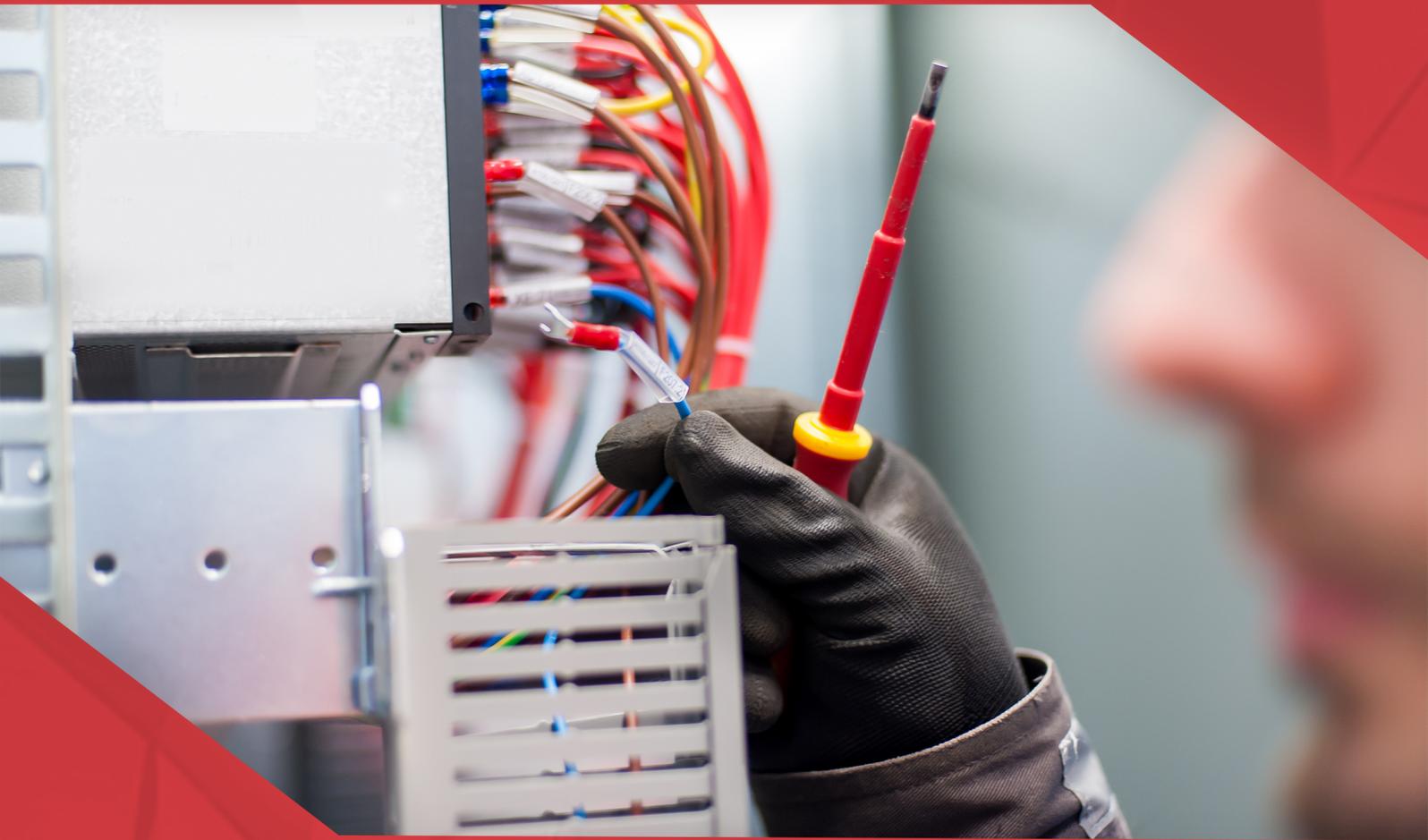


A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 A aplicação do conhecimento científico na engenharia elétrica
[recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique
Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-932-5

DOI 10.22533/at.ed.325201701

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João.
II. Holzmann, Henrique Ajuz.

CDD 623.3

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

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

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

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

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

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PANORAMA ATUAL E CENÁRIO 2025 DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	
Isabela Valpecovski Urbanetz Allana de Moura Netto Bruno Scolari Vicente Leite Jair Urbanetz Junior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017011	
CAPÍTULO 2	10
GESTÃO EFICIENTE DAS ANUIDADES REGULATÓRIAS NA CEMIG DISTRIBUIÇÃO	
Rosane de Pinho Matos Viviane Fernanda de Aguiar Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3252017012	
CAPÍTULO 3	21
DESAFIOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE AJUSTES DE GRANDES SISTEMAS -NORMAS, PROCEDIMENTOS E FERRAMENTAS	
Rodrigo A. Benes Ferreira Mario Roberto Bastos Nilson José Francischetti Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017013	
CAPÍTULO 4	36
AVALIAÇÃO ECONÔMICA E ENERGÉTICA DE UM SISTEMA INTEGRANDO MÁQUINA BIOPEIXES E REATOR MULTIFUNCIONAL PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Francisco de Assis da Silva Mota Francisco Francielle Pinheiro dos Santos Paula Cristina de Amorim Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.3252017014	
CAPÍTULO 5	48
ANÁLISE DE PERDAS TÉCNICAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva Ailson Pereira de Moura Adriano Aron Freitas de Moura Douglas Aurélio Carvalho Costa Obed Leite Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3252017015	
CAPÍTULO 6	61
CARACTERIZAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DOS SFVCR NO BRASIL: CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS	
Diego Piazza Hilgert Jair Urbanetz Junior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017016	

CAPÍTULO 7	75
GEOCORTE CEMIG D: SELEÇÃO ÓTIMA DE ALVOS DE CORTE USANDO GEORREFERENCIAMENTO: DESENVOLVIMENTO SAP/CCS	
Wellington Fazzi Cancian Andre Luiz Soares Charles Ramos Pimenta	
DOI 10.22533/at.ed.3252017017	
CAPÍTULO 8	89
ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA CABOS PARA-RAIOS ENERGIZADOS	
José Ezequiel Ramos Alexandre Piantini Ary D'Ajuz Valdemir Aparecido Pires Paulo Roberto de Oliveira Borges	
DOI 10.22533/at.ed.3252017018	
CAPÍTULO 9	96
A EXPERIÊNCIA DA COPEL COM RELIGADORES MONOFÁSICOS	
Maurício Varassim Hernandes Oscar Kim Júnior Fausto Aurélio Portella Garcia Guilherme Fernandes Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.3252017019	
CAPÍTULO 10	108
SISTEMA DE MONITORAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA COM VISTAS A MELHORIA DA QUALIDADE DE SERVIÇO	
Klendson Marques Canuto Avilez Batista de Oliveira Lima Paulo Roberto de Oliveira Braga Juraci Gomes de Aguiar Filho André Ribeiro da Costa	
DOI 10.22533/at.ed.32520170110	
CAPÍTULO 11	122
TÉCNICA DE RESGATE PARA TRABALHOS EM INSTALAÇÕES ENERGIZADAS – MÉTODO AO POTENCIAL	
Fernando César Pepe Wlademir Braido	
DOI 10.22533/at.ed.32520170111	
CAPÍTULO 12	128
MONITORAMENTO DE DESGASTE DE CONTATOS DOS DISJUNTORES DA SUBESTAÇÃO ISOLADA À GÁS DA UHE BELO MONTE	
Davi Carvalho Moreira	
DOI 10.22533/at.ed.32520170112	

CAPÍTULO 13 139

COMPARAÇÃO ENTRE TRANSFORMADORES A ÓLEO E A SECO

Marco Antonio Ferreira Finocchio
Márcio Mendonça
Lucas de Oliveira Antunes
Jeferson Gonçalves Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.32520170113

CAPÍTULO 14 147

OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS APLICADA A CONTROLADORES DE CORRENTE PARA INVERSORES CONECTADOS À REDE

Lucas Cielo Borin
Iury Cleveston
Caio Ruviano Dantas Osorio
Gustavo Guilherme Koch
Fabricio Moretto Bottega
Vinicius Foletto Montagner

DOI 10.22533/at.ed.32520170114

CAPÍTULO 15 161

OTIMIZAÇÃO DA CONFIABILIDADE PELA ALOCAÇÃO DE CHAVES AUTOMÁTICAS E USO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ILHAMENTO

Railson Severiano de Sousa
Camilo Alberto Sepúlveda Rangel
Criciéle Castro Martins
Mauricio Sperandio
Luciane Neves Canha

DOI 10.22533/at.ed.32520170115

CAPÍTULO 16 175

COMO SELECIONAR TRANSISTORES DE POTÊNCIA PARA APLICAÇÕES EM CONVERSORES ESTÁTICOS?

Edemar de Oliveira Prado
Pedro Cerutti Bolsi
Mateus José Tiburski
Éder Bridi
Hamiltom Confortin Sartori
José Renes Pinheiro

DOI 10.22533/at.ed.32520170116

CAPÍTULO 17 190

METODOLOGIA DE PROJETO DE CONVERSORES BOOST PARA APLICAÇÕES DE ALTA EFICIÊNCIA E ELEVADO GANHO DE TENSÃO

Mateus José Tiburski
Éder Bridi
Edemar Oliveira Prado
Pedro Cerutti Bolsi
Hamiltom Confortin Sartori
José Renes Pinheiro

DOI 10.22533/at.ed.32520170117

CAPÍTULO 18	203
INFLUÊNCIA DO PONTO DE OPERAÇÃO DE CONVERSORES ESTÁTICOS NO VOLUME E PERDAS DE DIFERENTES MATERIAIS MAGNÉTICOS	
<ul style="list-style-type: none"> Pedro Cerutti Bolsi Edemar de Oliveira Prado Mateus José Tiburski Éder Bridi Hamiltom Confortin Sartori José Renes Pinheiro 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170118	
CAPÍTULO 19	218
WIRELESS CHARGER MANUFACTURING USING INDUCTIVE METHOD	
<ul style="list-style-type: none"> Maryam Liaqat Sulman Joseph Shamsa Maqsood Ali Raza Sana Aslam Waseem Imtiaz Muhammad Furqan Shoukat 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170119	
CAPÍTULO 20	235
TRANSFORMADOR DE ATERRAMENTO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO	
<ul style="list-style-type: none"> Djair Pamplona dos Santos 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170120	
CAPÍTULO 21	248
OTIMIZAÇÃO DE CONVERSORES BOOST INTERCALADO DE ALTO GANHO DE TENSÃO E ALTA EFICIÊNCIA	
<ul style="list-style-type: none"> Éder Bridi Mateus José Tiburski Edemar Oliveira Prado Pedro Cerutti Bolsi Hamiltom Confortin Sartori José Renes Pinheiro 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170121	
CAPÍTULO 22	262
DETERMINAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA AVALIAR A INCERTEZA NA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO AFLUENTE POR SISTEMAS HIDRO METEOROLÓGICOS PARA AUXÍLIO NA OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E PLANEJAMENTO HIDROENERGÉTICO	
<ul style="list-style-type: none"> Reinaldo Bomfim da Silveira Anderson Nascimento de Araujo Mino Viana Sorribas Camila Freitas Rafael Schinoff Mércio Pereira Ângelo Breda José Eduardo Gonçalves 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170122	
SOBRE OS ORGANIZADORES	276

OTIMIZAÇÃO DA CONFIABILIDADE PELA ALOCAÇÃO DE CHAVES AUTOMÁTICAS E USO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ILHAMENTO

Data de aceite: 03/01/2020

Railson Severiano de Sousa

Instituto Federal do Piauí, Departamento de Indústria, Segurança e Produção Cultural
Teresina – Piauí

Camilo Alberto Sepúlveda Rangel

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência
Santa Maria – Rio Grande do Sul

Criciéle Castro Martins

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência
Santa Maria – Rio Grande do Sul

Mauricio Sperandio

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência
Santa Maria – Rio Grande do Sul

Luciane Neves Canha

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência
Santa Maria – Rio Grande do Sul

RESUMO: Esse estudo descreve uma ferramenta baseada em Algoritmo Genético para alocação de chaves automáticas em

um conjunto de alimentadores de distribuição de energia. No processo foi considerado a presença de geração distribuída (GD) e o seu uso ilhado, diante de situações de contingências. É discutido o uso ilhado das GDs, indicando quais fontes são mais bem utilizadas e quais não dificultam tal utilização. A avaliação da alocação é feita a partir da matriz lógico estrutural e são considerados todos os equipamentos presentes na rede na avaliação dos indicadores de confiabilidade. A função objetivo avalia os custos com compensações, com energia não suprida, com a aquisição das chaves e possíveis custos operacionais do uso das GDs. Os resultados são apresentados e discutidos em termos da alocação e da viabilidade do uso das GDs de forma ilhada, considerando a capacidade da GD e a carga demandada da mesma, além dos efeitos sobre os indicadores individuais e coletivos.

PALAVRAS-CHAVE: Alocação de Recursos; Chaves Automáticas; Confiabilidade; Geração Distribuída; Ilhamento de Geração Distribuída.

RELIABILITY OPTIMIZATION BY THE PLACEMENT OF AUTOMATIC SWITCHES AND ISLAND USE OF DISTRIBUTED GENERATION

ABSTRACT: This study describes a Genetic Algorithm-based tool for automatic switch placement in a set of power distribution feeders.

The process considered the presence of distributed generation (DG) and its island operation, in contingency situations. The islanded operation of DGs is discussed, showing sources that better suit and which do not allow such use. Allocation evaluation is made through a structural logical matrix and all the equipment present in the network is considered in reliability indices. The objective function evaluates the offset costs, with non-supplied energy, acquisition of switches and possible operating costs of DGs operation. Results are presented and discussed in terms of the switch allocation and feasibility of DGs in an intentional island operation, considering the capacity of the DG and its demanded load, as well as the effects on individual and collective indices.

KEYWORDS: Resource allocation; Automatic Switches; Reliability; Distributed Generation; Island operation of Distributed Generation.

1 | INTRODUÇÃO

O sistema elétrico tem como função o fornecimento de energia elétrica para os consumidores de forma eficiente, segura e contínua. Diante de um sistema de distribuição com cada vez mais Geração Distribuída (GD), em geral baseadas em fontes renováveis, o fornecimento de energia se torna ainda mais complexo.

As GDs promovem um aumento significativo da complexidade do sistema elétrico e das incertezas associadas com o fornecimento, contudo podem ser uma forma de melhorar a confiabilidade da rede (GEORGILAKIS; HATZIARGYRIOU, 2015). Isso ocorre, pois como uma fonte de energia, a inserção da GD permite manter o fornecimento da energia para parte da carga, mesmo diante de uma falta da subestação do alimentador. Para isso é necessário que seja permitido o uso da GD ilhada, ou seja, fornecendo energia desconectada da fonte de geração centralizada oriunda da subestação (KADURU; GONDLALA, 2015; RAMBABU; PRASAD, 2014).

Muitos trabalhos se baseiam na correlação entre a presença de GDs no sistema de distribuição e a melhoria da confiabilidade decorrente (KADURU; GONDLALA, 2015; RAJALAKSHMI; DURAIRAJ, 2016; RAMBABU; PRASAD, 2014; REDDY; PRASAD; LAXMI, 2012). Nesse sentido, boa parte desses trabalhos propõe alocação de GDs em pontos estratégicos para aumentar o impacto da geração sobre a confiabilidade. Essa estratégia é eficaz, no entanto ineficaz, pois a fonte de geração, na maioria das situações, pertence ao cliente que a aloca conforme suas necessidades e peculiaridades que o levaram a se tornar um pequeno gerador de energia.

Além disso, outra característica dos sistemas de distribuição modernos é o aumento significativo da automatização, como as chaves de manobras (GEORGILAKIS; HATZIARGYRIOU, 2015). A utilização de equipamentos automáticos promove a atuação sobre o sistema de forma muito mais rápida, permitindo melhorar a confiabilidade. O uso de chaves automáticas em locais estratégicos da rede de distribuição permite reduzir os impactos das faltas sobre os consumidores, sendo outra forma de melhorar os indicadores (BERNARDON et al., 2015).

Assim, a confiabilidade do sistema passa a ser cada vez mais importante, principalmente do ponto de vista da continuidade do fornecimento. Isso acontece, porque por um lado, os consumidores e os reguladores demandam maior qualidade da distribuição e por outro, a complexidade e o maior custo de investimento demandam maior eficiência para um retorno desses investimentos (BERNARDON et al., 2015).

Nesse contexto, esse trabalho aborda uma avaliação da confiabilidade do sistema diante a inserção de GDs, de forma que se considera o uso das mesmas em conjunto com a alocação de chaves automáticas para incrementar a continuidade do sistema e diminuir a frequência de ocorrência das faltas. A alocação das chaves é feita utilizando uma ferramenta baseada em um algoritmo genético (AG), buscando potencializar a utilização de GDs na redução dos custos. Para tal foram avaliados os custos da alocação das chaves, da operação das GDs, da energia não suprida esperada e das compensações devidas aos clientes.

A discussão dos resultados permite avaliar a potencialização da operação ilhada da GD, as implicações de utilizar fontes renováveis nesse processo e as formas de ampliar a energia firme dessas fontes.

2 | CONFIABILIDADE

A confiabilidade do sistema elétrico de distribuição é a probabilidade de ele atender as cargas continuamente, nas condições de operação demandadas, em um horizonte de planejamento (BILLINTON; ALLAN, 1992). A interrupção, embora possua causas conhecidas, não pode ser evitada, o que conseqüentemente implica em impactos financeiros sobre o planejamento e a operação da distribuição, sendo que estas investem para reduzir os impactos, incrementando a confiabilidade do sistema. Nesse sentido, aumentar a confiabilidade da distribuição é melhorar a continuidade de seus pontos mais críticos, ou seja, os pontos mais prováveis a falharem (ALLAN; BILLINTON, 1993).

A avaliação da confiabilidade de faltas permanentes é realizada em termos da duração e da frequência das interrupções, o que pode ser observado em cada ponto de conexão de consumidor (individualmente) ou através de um conjunto de consumidores (ANEEL, 2017a). No Brasil a ANEEL avalia a Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC) e a Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC) tal como descrito nas equações (1) e (2):

$$FIC = n \quad (1)$$

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (2)$$

No qual,

n é o número de faltas;
t é a duração de cada falta.

No regulamento brasileiro em vigor os indicadores coletivos, tais como DEC e FEC (Duração e Frequência Equivalente por Unidade Consumidora, respectivamente), não possuem implicações sobre os custos da empresa, pois as compensações são avaliadas a partir de indicadores individuais. Ademais, qualquer descontinuidade com tempo inferior a três minutos não é considerado uma falta permanente, o que permite que diante de uma contingência uma ação rápida evite a contabilização de indicadores (ANEEL, 2017a).

Desta forma, alocar chaves automáticas, em pontos estratégicos, pode auxiliar a reduzir a área atingida após uma falta, diminuir o FIC e o DIC, e permitir que um menor número de consumidores seja atingido. Quando o uso das chaves está aliado a uma fonte de geração como uma GD, suas vantagens são potencializadas, tal qual é ilustrado na Fig. 1.

A Fig. 1 (a) ilustra a ocorrência de uma falta no sistema, na seção entre as cargas C2 e C3. Diante da falta, duas chaves as quais permanecem normalmente fechadas, são manobradas (abertas) a fim de isolar a falta, tal como é ilustrado na Fig. 1 (b). Neste exemplo, as cargas C1 e C2 são alimentadas somente pela subestação (SE), já a carga C4 é alimentada somente pela GD funcionando isolada do resto da rede, em uma microrrede ilhada. Por fim, a carga C3 somente será reenergizada quando ocorrer o reparo da falha e as chaves retornarem à posição normal.

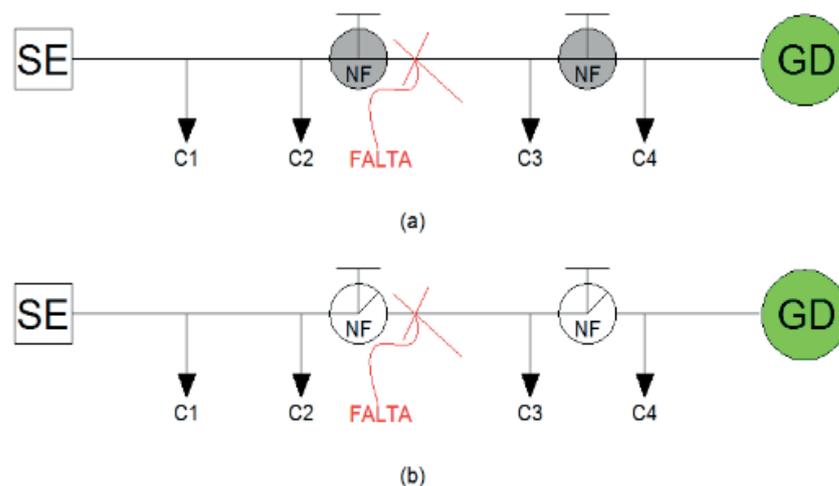


Fig. 1 (a) Ocorrência de Falta no Sistema de Distribuição (b) Manobra das Chaves

O posicionamento das chaves, é de fundamental importância para os efeitos da manobra, caso a chave entre C2 e a falta esteja posicionada mais à esquerda (montante), ou a outra chave mais à direita (jusante), a área isolada pela falta seria maior, conseqüentemente, mais cargas ficariam expostas a falta (SPERANDIO, 2008). De forma similar, caso a manobra de isolamento da falta transfira mais carga do que o fornecimento da GD, toda a carga transferida será desabastecida, pois a geração não

teria capacidade de atender a demanda, ou seja, teria o mesmo efeito se caso a GD fosse removida da rede quando atingida por uma falta em seu ramo no alimentador.

Tais considerações tornam de vital importância à análise conjunta da alocação e do uso ilhado das GDs, para que seja possível minimizar os efeitos da descontinuidade sobre os consumidores. Além disso, é importante discutir qual a capacidade de geração real da GD utilizada diante de uma contingência do sistema, momento no qual a GD será a única (ou principal) fonte de energia da carga. Isso será discutido adiante, no tópico sobre a restrição no uso de fontes renováveis como suporte à confiabilidade do sistema de distribuição.

2.1 Matriz Lógico Estrutural

A Matriz Lógico Estrutural (MLE) é uma metodologia de previsão de indicadores para o sistema de distribuição que se utiliza das taxas de falha por ano (λ), tempo de reparo ou restabelecimento (TR), do número de consumidores (N) e carga (L). Para exemplificar a montagem e sua utilização na obtenção dos indicadores será utilizado a Fig. 2.

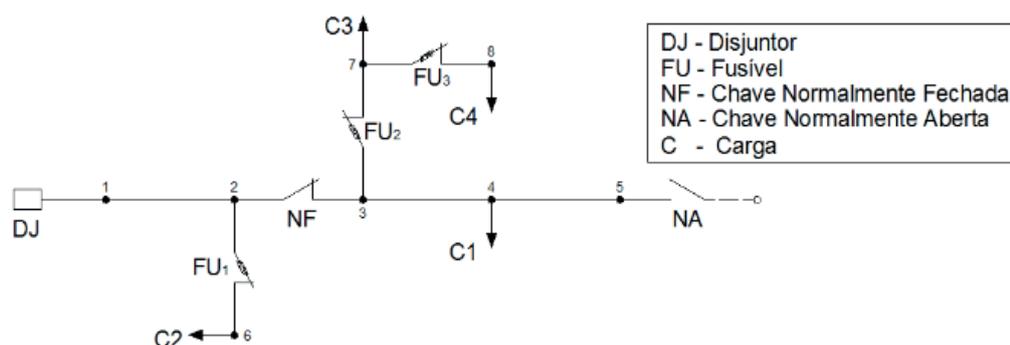


Fig. 2 Exemplo de Alimentador com Cargas e Dispositivos de Proteção

Na Fig. 2, caso ocorra uma falta no nó 6, haverá o rompimento do elo fusível o que evita que a interrupção afete os nós a montante do fusível (nó 2), já os nós a jusante permanecem desabastecidos por um tempo TR. Já a chave NF desconecta os nós a jusante, e reenergiza os nós a montante após um tempo TS (tempo de seccionamento). Quando a chave NA é acionada, todas as barras a jusante da NF são transferidas após um tempo TT (tempo de transferência) (SPERANDIO, 2008). Por fim, o disjuntor interrompe todo o circuito.

A utilização da MLE permite analisar os indicadores a partir de todos os equipamentos disponíveis no alimentador. Para isso, na construção da MLE, cada linha corresponde a um nó ou a um transformador, e cada coluna a um dispositivo de proteção ou a um nó. Considera-se que a transferência da carga efetuada pelo fechamento NA é factível, ou seja, que existe um alimentador capaz de suportar todas as cargas a jusante da NF (KNAK NETO et al., 2015). A Tabela I ilustra a MLE da Fig. 2

Nó	Equipamentos de Proteção e Manobra					
	DJ	NF	NA	FU1	FU2	FU3
1	TR ₁ λ ₁	TSλ ₃	TSλ ₅	0	0	0
2	TR ₁ λ ₁	TSλ ₃	TSλ ₅	0	0	0
3	TTλ ₁	TR ₃ λ ₃	TR ₅ λ ₅	0	0	0
4	TTλ ₁	TR ₃ λ ₃	TR ₅ λ ₅	0	0	0
5	TTλ ₁	TR ₃ λ ₃	TR ₅ λ ₅	0	0	0
6	TR ₁ λ ₁	TSλ ₃	TSλ ₅	TR ₆ λ ₆	0	0
7	TTλ ₁	TR ₃ λ ₃	TR ₅ λ ₅	0	TR ₇ λ ₇	0
8	TTλ ₁	TR ₃ λ ₃	TR ₅ λ ₅	0	TR ₇ λ ₇	TR ₈ λ ₈

TABELA I. Matriz Lógico Estrutural para a Fig. 2

A partir da MLE é possível obter os indicadores, tal que:

$$DIC_i = \sum_{j=1}^{nn} M_{i,j} \quad (3)$$

Já a energia não suprida pode ser obtida por:

$$ENS = \sum_{i=1}^{nn} \left(\sum_{j=1}^{nn} M_{i,j} \right) L_i \quad (4)$$

Onde:

$M_{i,j}$ é o elemento da linha i coluna j ;

nn é o número de nós.

Por fim, o FIC pode ser obtido com uma MLE modificada, tal que são suprimidos os tempos, e utilizado somente as taxas de falha:

$$FIC_i = \sum_{j=1}^{nn} M^*_{i,j} \quad (5)$$

sendo que

$M^*_{i,j}$ é o elemento da linha i coluna j , da MLE sem os tempos.

2.2 Restrição no Uso de Fontes Renováveis como Suporte à Confiabilidade do Sistema de Distribuição

Diante de uma falta que provoque o funcionamento da GD ilhada, existe a probabilidade de a fonte conseguir fornecer a energia demandada (pf). Do ponto de vista das cargas alimentadas pela GD ilhada, essa fonte deverá apresentar uma

energia firme, suficiente para suprir a sua demanda (ADEFARATI; BANSAL, 2017; KADURU; GONDLALA, 2015).

Nesse cenário, cada fonte de energia apresenta uma probabilidade pf distinta, condizente com as incertezas que lhe são próprias. Uma GD Solar Fotovoltaica (PV), por exemplo, só conseguirá atender a demanda quando ilhada, se a falta ocorrer durante o dia e não houver a incidência de nuvens que bloqueiem sua geração. Isso restringe pf a um valor bem inferior a 50%, dependendo da região. Em (MA; YANG; LU, 2013) é avaliado que para atender satisfatoriamente a carga, quando a PV opera ilhada, a carga tem de ser entre 7,7% e 9,5% da potência nominal da GD. Por outro lado, uma geração térmica (por biomassa, por exemplo) pode atingir uma pf de 100%, desde que possua combustível para o período de contingência.

Assim, não seria admissível no modelo atual o uso de painéis fotovoltaicos numilhamento sob contingência. Outras fontes como a eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) exigem um estudo mais aprofundado. Para o uso das fontes eólicas é interessante utilizar o estudo de fazenda eólica, associando as probabilidades em uma sobreposição de cadeias de Markov avaliando todos os estados possíveis tal como demonstra (SAYAS; ALLAN, 1996). Um processo semelhante pode ser executado diante das PCHs por uma análise dinâmica a ocorrer sob ilhamento, como um processo estacionário da vazão em uma análise de curto prazo (ROCHA, 2014).

Em ambos os casos a alocação de baterias junto as GDs propiciam uma forma de minimizar ou eliminar as intermitências naturais da fonte. Nessa perspectiva, o custo da alocação da bateria e o uso diante de uma contingência seriam considerados custos operacionais da GD para a concessionária. O mesmo ocorre com custos de uma possível gestão do ilhamento como uma microrrede ou uma *Virtual Power Plant*. Caso contrário, é admitido que o uso da GD ilhada não implique em custos à concessionária.

3 | FERRAMENTA PROPOSTA

Para a alocação das chaves automáticas buscou-se o maior impacto sobre a confiabilidade do sistema de distribuição com a presença de geração distribuída. Para tal, foi utilizada uma ferramenta baseada em algoritmo genético.

3.1 Algoritmos Genéticos (AG)

O AG é um mecanismo de busca simples e capaz de encontrar a solução ótima através de conceitos evolucionários. O funcionamento de um AG parte de um conjunto de soluções aleatórias (GOLDBERG, 1989):

- Avalia a aptidão das soluções, segundo a função objetivo;
- Seleciona parte das soluções para manipulação;

- Produz manipulações genéticas tais como: cruzamento, mutação, migração e elitismo;
- Repete os passos anteriores até atingir um critério de parada.

A ferramenta utiliza como método de seleção o método da roleta, e como manipulações genéticas, o cruzamento e a migração. Na solução do problema foi utilizada uma codificação inteira, na qual cada número era uma barra de um dos alimentadores, passível de receber uma chave automática. Um conjunto de chaves NF foi alocado concomitantemente nos alimentadores em busca da melhor solução de acordo com a função objetivo descrita a seguir.

3.2 Função Objetivo

As concessionárias devem manter os indicadores abaixo do limite estabelecido pela reguladora (ANEEL, 2017a), caso contrário, devem compensar financeiramente cada um dos i consumidores lesados de acordo com (6) (7):

$$C_{DIC} = \left(\frac{DIC}{DIC_p} - 1 \right) DIC_p * \frac{EUSD_{médio}}{730} kei \quad (6)$$

De forma análoga tem que a compensação para o FIC é dada por:

$$C_{FIC} = \left(\frac{FIC}{FIC_p} - 1 \right) DIC_p * \frac{EUSD_{médio}}{730} kei \quad (7)$$

tal que

DIC_p e FIC_p são limites definidos aos indicadores DIC e FIC, respectivamente;

$EUSD_{médio}$ é o encargo médio do uso do sistema de distribuição;

kei é o coeficiente de majoração.

Além do custo das compensações, são avaliados também o custo da Energia Não Suprida (ENS) esperada em relação ao crescimento de carga, da aquisição das chaves automáticas (C_{chA}) e da operação da GD (C_{opGD}). Sendo que o custo total está demonstrado na equação (9).

$$C_{ENS} = C_e ENS \sum_{k=1}^H (1 + tx_{cresc})^{k-1} \quad (8)$$

Onde:

C_e é o custo da Energia;

tx_{cresc} é a taxa de crescimento da carga;

H é o horizonte de planejamento.

$$C_{Tot} = C_{DIC} + C_{FIC} + C_{ENS} + C_{chA} + C_{opGD} \quad (9)$$

A função objetivo (FO) busca a minimização dos custos e é definida por:

$$FO = \text{Minimizar}(C_{Tot}) \quad (10)$$

A FO está sujeita a um conjunto de restrições como:

- Manter a radicalidade do alimentador, não sendo permitida a operação em anel;
- Alocar pelo menos uma chave nos alimentadores com GD;
- A carga assumida pela GD durante o ilhamento não pode ser superior a pf .

4 | RESULTADOS

O sistema teste utilizado para avaliar o modelo descrito anteriormente compreende uma subestação com sete alimentadores da CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina) do município de Florianópolis, ao qual foram inseridas algumas gerações, sem grande preocupação com a posição das GDs. O conjunto possui 310 fusíveis, 68 chaves NF, 29 chaves NA. Atendendo mais de 16.300 consumidores, suprindo uma carga de 74,2 MW. Nesse sistema real, considerou-se a presença de quatro GDs, todas térmicas à biomassa, cujas posições são ilustradas na Fig. 3 por quadrados cinza. As GDs no alimentador 1 e 4 têm capacidade de 1,5 MW, já as GDs dos alimentadores 3 e 5 possuem uma capacidade de 1MW.

A Fig. 3 ainda exhibe as chaves NFs já presentes no alimentador e a topologia apresentada por toda rede, com a diferenciação de cada alimentador por cor.

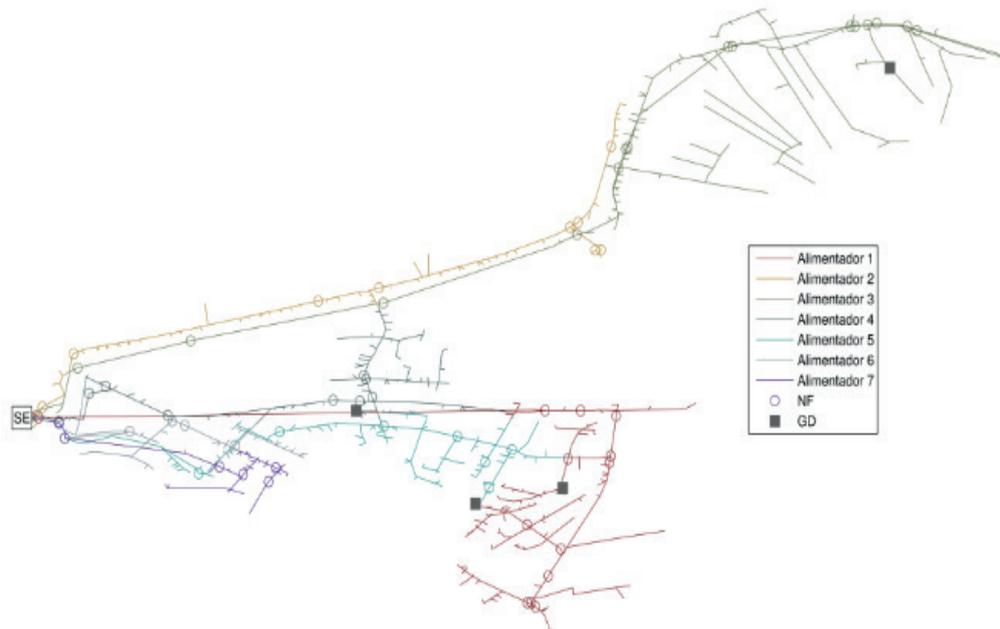


Fig. 3 Alimentadores CELESC com apresentação de posição chaves NFs e GDs.

O AG buscou alocar 7 chaves NFs automáticas no conjunto de alimentadores, sem restrição de número máximo de chaves por alimentador. Os parâmetros do AG utilizados para a solução do problema foram uma população com 40 indivíduos, uma taxa de elitismo de 25%, uma taxa de migração de 2,5% com migrações a cada 20 gerações (iterações). Como critérios de parada, foram utilizados o número máximo de gerações ou a repetição da mesma população migratória.

Ademais foi utilizado o custo de 7000,00 R\$ para uma chave NF automática, um horizonte de planejamento de 10 anos e uma taxa de crescimento da carga de 7,5% ao ano. O custo da energia considerado foi de 0,43142 R\$/kW (ANEEL, 2016). Os limites de indicadores foram retirados do site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017b) e foram mantidos constantes durante todo horizonte analisado, pois a redução progressiva dos limites desses indicadores é realizada baseada no desempenho da concessionária.

O resultado obtido na alocação das chaves é descrito na Tabela II.

Parâmetro Avaliado	Alimentadores						
	1	2	3	4	5	6	7
Quantidade de NFs	1	0	1	1	1	3	0
Barra Alocada	209	-	118	159	50	11; 36; 63	-
Carga Máx. com GD Ilhada (MW)	1,125	-	0,920	0,795	1,095	-	-
Máx utilização % da GD ilhada	75%	-	92%	79,5%	73%	-	-

TABELA II. Quantidade e Posições das Chaves Nos Alimentadores

É possível observar, a partir da Tabela II, que a ferramenta avaliou que alocação

de mais chaves no alimentador 6 teria mais impacto que a distribuição igual das chaves pelos alimentadores. Como consequência, nenhuma chave foi alocada nos alimentadores 2 e 7. Já os alimentadores 1, 3, 4 e 5 receberam uma chave cada um, de forma a permitir o uso das GDs em modo ilhado. É visível que a alocação respeitou o limite de capacidade das GDs e inclusive manteve um fator de utilização máximo, quando ilhado inferior a 80% para todas as fontes, com exceção da presente no alimentador 3.

O efeito da alocação, em termos dos custos e do ganho financeiro a distribuidora, é explorado na Tabela III. O processo de alocação de chaves propiciou uma redução considerável nos custos com compensações no horizonte de planejamento, no entanto essa melhoria foi ainda mais significativa quando associada ao uso das GDs ilhadas. Isso implica que existe viabilidade econômica para o uso dessas fontes de geração nessa modalidade.

Solução	Custo de Cada Caso		
	Caso Base	Apenas Alocação das Chaves	Chaves+ GD
Custo (106 R\$)	13,0901	11,842	11,413
Redução	-	1.248.093,96	1.677.216,03
Redução %	-	9,53%	12,83%

TABELA III. Impacto da Alocação e da GD

Obviamente que o sistema teste utilizado apresenta ainda uma boa margem para melhoria nos indicadores de confiabilidade, que pode ser obtido também com a inserção de outros equipamentos automáticos, tais como religadores, o uso de outras filosofias de proteção ou de despacho de equipe de manutenção. Entretanto tais possibilidades não desqualificam o fato de que a GD é cada vez mais uma realidade do sistema de distribuição e sua utilização em situações de contingência traz um impacto positivo aos indicadores da rede, tal como é ilustrado na Tabela IV.

Indicador	Redução Percentual em cada Alimentador						
	1	2	3	4	5	6	7
Máx(DIC) a	13,32%	-	1,09%	0,01%	13,82%	12,35%	-
Máx(FIC) a	11,16%	-	2,78%	0,2%	24,16%	22,33%	-
DEC	16,31%	-	1,70%	1,98%	27,77%	53,85%	-
FEC	13,78%	-	3,73%	0,18%	25,66%	32,82%	-
ENS	14,66%	-	6,65%	3,32%	23,80%	38,63%	-

TABELA IV Impacto da Alocação e das GDs Ilhadas

^a Máximo valor do indicador dentre todos os Clientes

A Tabela IV ilustra a redução percentual que o uso conjunto das chaves automáticas e das GD tiveram sobre os indicadores de cada alimentador. Como nenhuma chave foi alocada nos alimentadores 2 e 7, nenhuma redução foi obtida, no entanto a melhoria

nos alimentadores 1, 5 e 6 foi considerável, principalmente quando analisados os indicadores coletivos, que ilustram a melhoria geral sobre todo o sistema. Mesmo assim houve melhora no pior caso do DIC e do FIC em todos esses alimentadores.

Além disso, a Tabela IV permite observar que o impacto das GDs no alimentado não está diretamente relacionada a capacidade da GD. O alimentador 5 com uma GD de 1 MW teve mais ganho percentual que os alimentadores 1 e 4 que possuem gerações com maior capacidade. Ademais, voltando a observar a Tabela II, a GD do alimentador 5 apresenta ainda o menor fator de utilização quando em situação de ilhamento, o que parece também não ser fator determinante.

Sugere-se assim que outras características, que não foram analisadas neste trabalho, tais como a configuração da rede, a distribuição das faltas e a quantidade de chaves disponíveis durante uma situação de ilhamento tenham uma influência maior sobre a melhoria dos indicadores.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho realizou a alocação de chaves de manobras automáticas em um conjunto de alimentadores, de forma a minimizar os custos com compensações e energia não suprida. Nesse processo, foi avaliada a operação ilhada de GD em situações de contingência durante a alocação, elucidando os ganhos possíveis nesse modo de operação. Assim, foram discutidas quais fontes são passíveis de aplicação nesse tipo de situação e do grau de complexidade decorrente do uso de cada uma delas.

Os resultados mostraram um ganho incremental no uso da geração distribuída de forma ilhada, o qual depende de dispositivos de manobra que permitam a separação da GD do resto da rede. Os ganhos podem ser inferiores em comparação a alocação de outros equipamentos na rede, o que reforçado pela discussão inicial, de que o cliente seria o proprietário da GD, desencorajam a inserção de fontes para uma melhora na confiabilidade da rede.

No entanto assumindo que tais fontes já estejam disponíveis, utiliza-las pode ser uma boa estratégia para melhorar (ainda mais) a confiabilidade da rede. Em um cenário em que as concessionárias estão, de extrema competitividade e incessante busca de retorno dos investimentos, tal resultado se torna importante para ampliar as discussões que levem a uma futura regulamentação sobre a operação de GD ilhada.

Muitos trabalhos futuros são possíveis desdobramentos deste, como a avaliação de sensibilidade da operação da GD ilhada em situações de contingência as variações das taxas de falhas, a avaliação de outras fontes de geração, já que nesse trabalho foi testado apenas biomassa ou mesmo de um conjunto com vários tipos de gerações.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFSM e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Instituição, ao IFPI, CAPES/PROEX Código de Financiamento 001, CNPq, FAPEMA, FAPERGS e INCT-GD pelo suporte ao desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ADEFARATI, T.; BANSAL, R. C. Reliability assessment of distribution system with the integration of renewable distributed generation. **Applied Energy**, [s. l.], v. 185, p. 158–171, 2017.
- ALLAN, R.; BILLINTON, R. Power system reliability and its assessment. III. Distribution systems and economic considerations. **Power Engineering Journal**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 185–192, 1993.
- ANEEL. **Resolução Homologatória no 2.120, de 16 de Agosto de 2016**. Brasília.
- ANEEL. **Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Brasília.
- ANEEL. **Indicadores de Continuidade por Município**. 2017b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/indicadores>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- BERNARDON, D. P. et al. **Sistemas de Distribuição no Contexto das Redes Elétricas Inteligentes: uma abordagem para reconfiguração de redes**. 1. ed. Santa Maria - RS: AGEPOC, 2015.
- BILLINTON, R.; ALLAN, R. N. **Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1992.
- GEORGILAKIS, P. S.; HATZIARGYRIOU, N. D. A review of power distribution planning in the modern power systems era: Models, methods and future research. **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 89–100, 2015.
- GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. . Boston, MA.
- KADURU, R.; GONDLALA, N. S. Reliability Evaluation of Distribution System Considering Distributed Generation. **International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering**, [s. l.], v. 9, n. 7, p. 710–715, 2015.
- KNAK NETO, N. et al. The application of the logical structural matrix for reliability analysis in a distribution system planning environment. In: 23RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION - CIRED 2015, Lyon - France. **Anais...** Lyon - France
- MA, T.; YANG, H.; LU, L. Performance evaluation of a stand-alone photovoltaic system on an isolated island in Hong Kong. **Applied Energy**, [s. l.], v. 112, p. 663–672, 2013.
- RAJALAKSHMI, J.; DURAIRAJ, S. Review on optimal distributed generation placement using particle swarm optimization algorithms. In: 2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TRENDS IN ENGINEERING, TECHNOLOGY AND SCIENCE (ICETETS) 2016, **Anais...** : IEEE, 2016.
- RAMBABU, T.; PRASAD, P. V. Optimal placement and sizing of DG based on power stability index in radial distribution system. In: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART ELECTRIC GRID (ISEG) 2014, Guntur, India. **Anais...** Guntur, India: IEEE, 2014.

REDDY, S. C.; PRASAD, P. V. N.; LAXMI, A. J. Reliability improvement of distribution system by optimal placement of DGs using PSO and neural network. In: 2012 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING, ELECTRONICS AND ELECTRICAL TECHNOLOGIES (ICCEET) 2012, Kumaracoil, India. **Anais...** Kumaracoil, India: IEEE, 2012.

ROCHA, L. F. **Avaliação probabilística da confiabilidade de sistemas de distribuição incluindo aspectos dinâmicos doilhamento**. 2014. Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2014.

SAYAS, F. C.; ALLAN, R. N. Generation availability assessment of wind farms. **IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution**, [s. l.], v. 143, n. 5, p. 507, 1996.

SPERANDIO, M. **Planejamento da Automação de Sistemas de Manobra em Redes de Distribuição**. 2008. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AIS 10, 13
Ajustes de proteção 22, 28, 34, 103
Alocação de Recursos 161
Anarede 48, 49, 52, 54, 60
Anuidades 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20

B

BAR 10, 225
Biodiesel 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47
BRR 10

C

CAIMI 10, 12, 13, 15, 19
Capacidade Instalada 1, 2, 3, 8
Célula combustível 190, 191, 192, 196
Cenário Energético 1
Chave fusível 96, 98, 110, 114
Chaves Automáticas 161, 162, 163, 164, 167, 168, 171
Comunidades isoladas 36, 38
Confiabilidade 20, 22, 24, 27, 49, 50, 53, 60, 84, 90, 121, 130, 136, 139, 145, 161, 162, 163, 165, 166, 167, 171, 172, 174, 192, 243
Continuidade do Fornecimento 108, 163
Conversor Boost 190
Conversores 147, 148, 175, 176, 190, 191, 192, 201, 203, 204, 209, 248, 249, 252, 258, 259, 260
Conversores conectados à rede 147
Custo operacional 15, 96, 102

D

DEC 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 101, 105, 106, 107, 111, 119, 164, 171
Densidade de Corrente 193, 196, 197, 198, 200, 201, 203, 205, 211, 213, 214, 248, 252, 256
Descargas atmosféricas 89, 90, 92, 93, 94
Desgaste de Contatos 128, 131

E

Energia Solar Fotovoltaica 1, 2, 3, 6, 7, 8, 61

F

Filtro LCL 147, 148, 149
Fluxo de Potência 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 148
Frequência 90, 97, 140, 147, 148, 151, 156, 163, 164, 175, 176, 177, 178, 181, 184, 185, 187, 191, 193, 196, 200, 201, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 212, 216, 250, 251, 252, 260

G

Geração de energia 3, 36, 38, 43, 45, 46, 263

Geração Distribuída 2, 3, 4, 6, 9, 61, 62, 64, 65, 72, 73, 161, 162, 167, 172

I

Ilhamento de Geração Distribuída 161

Indicadores de Qualidade de Serviço 108, 118

Índices operacionais 89, 94

Interrupções 89, 90, 91, 92, 93, 94, 105, 106, 108, 118, 120, 134, 135, 163

Isolamento 124, 130, 139, 144, 164, 206, 207, 235, 238, 245

M

Manutenção Preditiva 128, 129, 136

Monitoramento de Disjuntor 128

Monitoramento Digital 108

Monitoramento On-line 128, 129

N

NERC PRC-027-1 21, 22

Núcleos Magnéticos 203, 252, 253, 257

O

Otimização por enxame de partículas 147, 148, 152

P

Perdas 48, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 142, 146, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 204, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 249, 250, 251, 252, 254, 255, 256, 257, 258

Perdas Técnicas 48, 49, 50, 52, 53, 55, 57, 58, 60

Proteção de Sistemas Elétricos 21, 22

PSS Sincal 21, 22, 30, 31, 32, 35

Q

Qualidade de Energia 96, 97, 107, 108, 109, 121

R

Religador monofásico 96, 98, 99, 105

Rendimento 142, 143, 145, 176, 184, 186, 187, 190, 192, 193, 199, 200, 201, 248, 249, 252, 259

Resolução Normativa ANEEL N° 482/2012 61

S

Siguard PSA 21, 22, 30, 31, 33

T

Tecnologia PRE 89

Transformador a óleo 139, 141, 145

Transistores de potência 175, 177

V

Vísceras de peixes 36, 43, 46

Volume 43, 57, 141, 188, 191, 193, 196, 199, 202, 203, 204, 207, 210, 211, 213, 214, 215, 216, 228, 250

