



ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

Docência, pesquisa e inovação tecnológica



Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2023



ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

Docência, pesquisa e inovação tecnológica



Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^o Dr^a 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^o Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0946-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.465231601>

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

CDD 623.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

O e-book intitulado “Engenharia elétrica e de computação: Docência, pesquisa e inovação tecnológica” está organizado em 12 capítulos e reúne importantes trabalhos científicos desenvolvido por pesquisadores de Norte a Sul do Brasil, que atuam em renomadas instituições de ensino e pesquisa.

Cada capítulo apresenta uma experiência única, com resultados práticos, consistentes e didáticos. Dessa forma, ao ler este livro, o leitor poderá aprofundar seus conhecimentos em desenvolvimento e teste de softwares, jogos digitais, aprendizagem de máquina, automação, geração de energia, entre outros assuntos relacionados à engenharia elétrica e de computação.

Além de uma base teórica aprofundada, nota-se que os autores de cada capítulo adotaram uma linguagem pedagógica e educativa. Assim, acredito que este livro é um excelente referencial teórico, especialmente para alunos de engenharia elétrica e de computação que estejam desenvolvendo trabalhos de conclusão de curso e que buscam exemplos de aplicações práticas para os conhecimentos teóricos estudados durante o curso. Através da reprodução dos resultados apresentados, é possível por exemplo propor melhorias, apresentar soluções alternativas para os problemas propostos ou desenvolver estudos comparativos. Assim o conhecimento científico avança.

Registro meus sinceros agradecimentos aos autores deste e-book, pelas significativas contribuições e pela parceria com a Atena Editora para tornar o conhecimento científico acessível de forma gratuita.

Aos nossos leitores, desejo um ótimo estudo, repleto de *insights* criativos e inovadores.

Lilian Coelho de Freitas

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA O PROCESSO DE REVISÃO EM HOMOLOGAÇÕES DE RELEASES ANDROID	
Pedro Ivo Pereira Lancellotta	
Heryck Michael dos Santos Barbosa	
João Gabriel C. Santos	
Klirssia M. Isaac Sahdo	
Janisley Oliveira De Sousa	
Abda Myrria De Albuquerque	
Roger Porty Pereira Vieira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316011	
CAPÍTULO 2	11
ENGENHARIA DE REQUISITOS E SUA IMPORTÂNCIA NO DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i>	
Henderson Matsuura Sanches	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316012	
CAPÍTULO 3	21
ALGORITMOS NÃO SUPERVISIONADOS E <i>WEB SCRAPING</i> PARA DESCOBERTA DE CONHECIMENTO DE CONHECIMENTO EM REDES SOCIAIS	
Carlos Daniel de Sousa Bezerra	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316013	
CAPÍTULO 4	38
MODELOS MENTAIS DIFUSOS PARA TOMADA DE DECISÃO SOBRE O CRESCIMENTO POPULACIONAL EM CIDADES INTELIGENTES USANDO TÉCNICAS COGNITIVAS	
Márcio Mendonça	
Caio Ferreira Nicolau	
Fabio Rodrigo Milanez	
Vicente de Lime Gonogora	
Luiz Henrique Geromel	
Marcio Aurélio Furtado Montezuma	
Rodrigo Henriques Lopes da Silva	
Marcos Antônio de Matos Laia	
Marco Antônio Ferreira Finocchio	
Renato Augusto Pereira Lima	
Edson Hideki Koroishi	
Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin	
André Luís Shiguemoto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316014	
CAPÍTULO 5	57
CUSTOMIZED EXPERIENCE: DIGITAL GAMES POSSIBILITIES BEYOND	

THEIR MECHANICS

Paula Poiet Sampedro
 Nicholas Bruggner Grassi
 Isabela Zamboni Moschin
 Vânia Cristina Pires Nogueira Valente
 Emilene Zitkus

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316015>

CAPÍTULO 673**O USO DA AUTOMAÇÃO DIGITAL PARA AGILIZAR PROCESSOS E SUPRIMIR ERROS NA EXECUÇÃO DE ROTINAS**

Geovane Griesang
 Pedro Henrique Giehl
 Mateus Roberto Algayer

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316016>

CAPÍTULO 780**HOSPITAL INTELIGENTE: UMA SIMULAÇÃO DE MONITORAMENTO DE PACIENTES UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS**

Júlia Borges Santos
 Vinicius da Rocha Motta
 Saymon Castro de Souza
 Ciro Xavier Maretto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316017>

CAPÍTULO 887**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO NO AMBIENTE *APP DESIGNER* DO *SOFTWARE* MATLAB® PARA PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DO ROBÔ PUMA 560**

Eber Delgado de Souza
 Flávio Luiz Rossini
 Luiz Fernando Pinto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316018>

CAPÍTULO 9110**ANÁLISE DE MOTIVAÇÃO E SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE MAPAS COGNITIVOS FUZZY**

Márcio Mendonça
 Angelo Feracin Neto
 Carlos Alberto Paschoalino
 Matheus Gil Bovolenta
 Emerson Ravazzi Pires da Silva
 Marcio Aurelio Furtado Montezuma
 Kazuyochi Ota Junior
 Marcos Antonio de Matos Laia
 Augusto Alberto Foggiato
 Vicente de Lima Gongora

Andre Luis Shiguemoto
Francisco de Assis Scannavino Junior
Nikolas Catib Boranelli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316019>

CAPÍTULO 10..... 126

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM CONTROLADOR PREDITIVO NÃO-LINEAR BASEADO EM MODELO QUASILINEAR MODIFICADO

Manoel de Oliveira Santos Sobrinho
Adhemar de Barros Fontes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.46523160110>

CAPÍTULO 11 140

IMPLEMENTAÇÃO DE ATERRAMENTO EM UMA RESIDÊNCIA COM DR PARA ELIMINAR O CHOQUE ELÉTRICO

Eliandro Marquetti
Elielton Christiano de Oliveira Metz
Luciana Paro Scarin Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.46523160111>

CAPÍTULO 12..... 156

PANORAMA DAS FONTES TÉRMICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Bruno Knevez Hammerschmitt
Felipe Cirolini Lucchese
Marcelo Bruno Capeletti
Renato Grethe Negri
Leonardo Nogueira Fontoura da Silva
André Ross Borniatti
Fernando Guilherme Kaehler Guarda
Alzenira da Rosa Abaide

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.46523160112>

SOBRE A ORGANIZADORA 171

ÍNDICE REMISSIVO..... 172

PANORAMA DAS FONTES TÉRMICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Data de submissão: 15/12/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Bruno Knevit Hammerschmitt

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4865207592578956>

Felipe Cirolini Lucchese

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8546392131996035>

Marcelo Bruno Capeletti

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1922799731958383>

Renato Grethe Negri

Universidade Federal de Santa Maria,
Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9607795757047650>

Leonardo Nogueira Fontoura da Silva

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8009856508464151>

André Ross Borniatti

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1414695090460054>

Fernando Guilherme Kaehler Guarda

Universidade Federal de Santa Maria,
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/3425190645010192>

Alzenira da Rosa Abaide

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2427825596072142>

RESUMO: Com a alta inserção dos recursos energéticos renováveis para a geração de energia elétrica, usualmente com geração intermitente, surge a necessidade de fontes controláveis de energia. As fontes térmicas são caracterizadas por terem sua geração controlável, garantindo a operabilidade e flexibilidade para os sistemas de energia, o que permite acomodar as inconstâncias de produção das fontes renováveis de energia.

Os combustíveis oriundos das fontes térmicas são originários de recursos energéticos renováveis e não renováveis. Com isso o uso racional e sustentável destes recursos deve ser considerado. Desta forma, este estudo tem por objetivo em esclarecer os principais direcionamentos sobre as fontes térmicas para a geração de energia elétrica no Brasil. Com este estudo espera-se possibilitar aos pesquisadores uma visão ampla das fontes térmica na matriz elétrica nacional, e suas principais aplicações no fornecimento de energia elétrica para o sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de energia térmica; fontes térmicas; energias renováveis; energias não renováveis.

OVERVIEW OF THERMAL SOURCES FOR ELECTRIC ENERGY GENERATION IN BRAZIL

ABSTRACT: With the high insertion of renewable energy resources for electric energy generation, usually with intermittent generation, the need for controllable energy sources. The thermal sources are characterized by having their generation controllable, guaranteeing the operability and flexibility for the energy systems, which allows accommodating the production instancies of the renewable energy sources. Fuels from thermal sources originate from renewable and non-renewable energy resources. Thus, the rational and sustainable use of these resources must be considered. Therefore, this study aims to clarify the main directions of thermal sources for electric energy generation in Brazil. This study is expected to provide researchers with a broad view of thermal sources in the national electrical matrix, and their main applications in the electric energy supply to the system.

KEYWORDS: Thermal energy generation; thermal sources; renewable energies; non-renewable energies.

1 | INTRODUÇÃO

Os Sistemas Elétricos de Potência (SEP) são representados pelos sistemas de geração, pelas linhas de transmissão por onde a energia gerada é conduzida, e pelos sistemas de distribuição onde a energia predominantemente é disponibilizada para o consumo. Neste contexto, é no sistema de geração de energia em que são produzidos os recursos para prover toda a cadeia energética de um sistema de elétrico. Para isso, as mais variadas fontes de energia são utilizadas para a produção de eletricidade, as quais podem ser divididas entre energias renováveis e energias não renováveis.

Diante da necessidade de descarbonização dos sistemas de energia elétrica que se impõe, os sistemas integrados, também denominados por sistemas multienergia se revestem de fundamental importância. Tais sistemas se caracterizam pela diversificação da matriz energética, com a participação crescente de fontes geração renováveis. Contudo, o planejamento e a operação de sistemas multienergia se traduz um problema desafiador, em especial devido às características estocásticas dos recursos energéticos de base renovável, que possuem influência do clima e das condições meteorológicas. Destaca-se a intermitência da geração da energia das fontes de energia eólica e solar fotovoltaica, e a

baixa dos reservatórios para a produção de energia hídrica ocasionada por baixos índices pluviométricos.

Neste contexto, a geração de energia térmica para a produção de eletricidade se destaca por possuir controlabilidade, fato que corrobora na associação desta fonte de energia com as demais. A geração de energia térmica viabiliza a acomodação das variações das energias renováveis intermitentes, uma vez que possui flexibilidade operativa. Também tem aplicação como energia de base, com produção de eletricidade constante e inflexível, uma vez que pode vir a substituir temporariamente outras fontes geradoras de energia de base. Para isso, tem-se como exemplo a crise hídrica no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) no ano de 2021 (INMET, 2021), em que a geração termelétrica foi fundamental para garantir o equilíbrio entre a demanda e a oferta de energia.

Diante disto, este estudo tem por objetivo em esclarecer as principais atribuições das fontes térmicas no SEB, e fazer a contextualização dos principais recursos energéticos que compreendem a matriz elétrica brasileira. Este trabalho possibilitará aos pesquisadores o aprofundamento de informações acerca das fontes térmicas para a geração de energia elétrica, e os direcionamentos futuros deste importante recurso energético.

2 | GERAÇÃO TÉRMICA

A geração de energia elétrica oriunda de fontes térmicas possui importância na matriz elétrica nacional como fonte de energia complementar as demais fontes que o compõem, fato que diverge da grande maioria dos países em que a geração de energia a partir de fontes térmicas são a base de sua produção de eletricidade (KAYTEZ, 2020; NAM; HWANGBO; YOO, 2020; ZURN et al., 2017). A energia térmica também possui as características de atendimento da demanda de curto prazo, fornecendo flexibilidade operativa e segurança no atendimento das solicitações de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O SEB é caracterizado por um sistema de base hidrotérmica, com a crescente participação das fontes de energia renováveis intermitentes, no qual os custos de geração de energia elétrica são formulados basicamente pelo gerenciamento e disponibilidade dos recursos energéticos de base hídrica ao longo do tempo, e paralelamente à solicitação de geração de energia térmica para manter o sistema em operação segura e confiável. Adicionalmente, visto que os recursos hídricos são de base renovável e não possuem custos agregados para sua disponibilidade, assim como os demais recursos energéticos de base renovável, a energia provinda de fontes térmicas são quem regulam o mercado de comercialização de energia elétrica (CCEE, 2022).

Como os grandes empreendimentos hidráulicos estão longe dos grandes centros de consumo, assim como os parques eólicos que na sua grande maioria se localizam na região nordeste do país, necessitam de grandes extensões de linhas de transmissão para

o transporte da energia produzida. Nesse contexto se apresentam as Usinas Termelétricas (UTES), que usualmente se localizam próximos desses grandes centros de consumo, possibilitando a suavização dos carregamentos das linhas de transmissão e garantindo os requisitos para operação.

Contudo, com o deplecionamento dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHEs) e as incertezas de disponibilidade das fontes de energia renováveis intermitentes, acarretam na dependência por fontes térmicas para suprir a carga do sistema. Como consequência dos problemas recém mencionados, as fontes térmicas se apresentam com vigor no ambiente de mercado de energia nos leilões de contratações de energia nova e existente (MME, 2021a, 2021b, 2021c), no leilão de contratação de reserva de capacidade na forma de potência e energia reserva (MME, 2021d, 2021e), e no leilão para contratação de energia e potência para suprimento dos sistemas isolados (MME, 2020).

As UTES ou termelétricas, também denominadas por centrais termelétricas ou termoelétricas, são usinas movidas por fontes térmicas de energia de base renovável e não renovável. As máquinas térmicas comumente utilizadas nas UTES são as turbinas a gás (aeroderivada ou industrial), as turbinas a vapor (turbogerador), e os motores de combustão interna (ANEEL, 2015a; LORA; NASCIMENTO, 2004; TOLMASQUIM, 2016).

Os ciclos de operação destas usinas são definidos por ciclo simples e ciclo combinado. O ciclo simples é a caracterização para usinas com um único ciclo de operação com finalidade na produção de eletricidade. As usinas com ciclo combinado se caracterizam pelo acoplamento de dois ciclos, definidos por um ciclo com o processo de trabalho do combustível (queima, combustão, fissão no caso da nuclear) e um ciclo a vapor, com o processo de recuperação de calor para a turbina a vapor. Esta classe de operação possui acionamento mais lento, porém com maior eficiência no produto final dos processos quando comparado ao ciclo simples para a produção de energia elétrica (TOLMASQUIM, 2016).

As centrais termelétricas de cogeração possuem um processo similar ao ciclo combinado, tendo como princípio dois ciclos diferentes. No entanto, nas centrais de cogeração a energia térmica produzida é destinada parcialmente para aquecimento de processos industriais e parte é destinado a produção de energia elétrica, e no processo do ciclo combinado a energia térmica é totalmente destinada a geração de energia elétrica (ANEEL, 2006; TOLMASQUIM, 2016).

Outra definição para a UTES está relacionada ao processo de operação dos recursos energéticos das usinas durante o processo de trabalho do combustível para a produção de calor, os quais são definidos por ciclo aberto e ciclo fechado. No ciclo aberto não há o reaproveitamento dos recursos energéticos produzido durante o processo térmico da usina, que possuem alto poder calorífico e que são desperdiçados. No ciclo fechado há a reciclagem dos recursos energéticos oriundos dos processos, o que possibilitam uma maior eficiência na geração de energia elétrica. As vantagens do emprego destes ciclos de operação se devem ao fato de que as usinas com ciclo aberto possuem flexibilidade

operativa e rápido acionamento, e no ciclo fechado são de menor dimensão com maiores rendimentos e menor emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) pois há a reciclagem dos materiais que seriam expelidos no ar, caso este que difere das usinas de ciclo aberto (TOLMASQUIM, 2016).

Os principais recursos de energia para a produção de energia elétrica a partir de UTEs são o Gás Natural (GN), a biomassa, o carvão mineral, os combustíveis derivados do petróleo (diesel, óleo combustível), e o urânio. Há estudos do aproveitamento dos recursos sólidos residuais a partir do lixo, no entanto como ainda são de pouca expressividade não serão tratados neste trabalho. A seguir são esclarecidas as principais características das fontes térmicas de energia, suas principais aplicações e contribuições na matriz elétrica centralizada.

2.1 Gás Natural

O GN é o produto originado a partir da decomposição de materiais orgânicos fossilizados ao longo dos anos sendo um recurso energético não renovável. O GN pode ser classificado de duas formas, uma delas é o gás associado ao petróleo, onde prioriza-se a extração do óleo, e a outra é o gás não associado que é proveniente das camadas rochosas. Ainda há a distinção do GN com suas jazidas localizadas em terra e mar, sendo a maior oferta nacional o GN associado ao petróleo localizado no ambiente marítimo (MME, 2021f).

O GN para atendimento do setor energético brasileiro é proveniente do combustível em forma gasosa e em estado líquido, este denominado por Gás Natural Liquefeito (GNL). A oferta nacional ainda não é suficiente para atender toda a demanda por GN, desta forma, o Brasil atualmente importa GN da Bolívia, Argentina, Estados Unidos, Angola, Trinidad e Tobago (MME, 2021f). Há perspectivas para a autossuficiência do combustível GN no futuro, com a extração das reservas do pré-sal e pós-sal garantindo a segurança energética do país (MME; EPE, 2021).

Neste contexto surge o Novo Mercado de Gás (NMG), o qual dá continuidade no programa “Gás para Crescer”, onde ambos tem por objetivo, incentivar o mercado de GN, atrair investimentos para o setor, e aumentar sua competitividade, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento do país (CNPE, 2016; MME, 2021g). Entre as premissas do NMG pode-se citar: a promoção da concorrência; harmonização das regulações estaduais e federal; integração do setor de gás com setores elétrico e industrial; remoção de barreiras tarifárias.

A utilização do GN no setor elétrico é o segundo seguimento com maior consumo médio anual deste recurso energético, apenas atrás do setor industrial (MME, 2021f). Há ainda a cogeração que aparece com pouca expressividade, mas que com o plano do NMG, espera-se uma maior competitividade do GN e com isso a promoção dessa tecnologia para produção de energia elétrica, bem como a expansão dos empreendimentos termelétricos

movidos a GN (MME, 2021g). Com a evolução do programa da NMG a promoção do GN na matriz elétrica ganha força, sendo um dos principais recursos energéticos para os estudos de expansão da matriz energética e do parque gerador de energia elétrica.

As perspectivas de expansão do parque gerador de energia elétrica, no que trata de termelétricas a GN correspondem a usinas novas e existentes (*retrofit* de termelétricas), com o propósito de atendimento de energia e potência. No que compreende as UTEs a GN novas, são previstas usinas totalmente flexíveis e usinas com fator de inflexibilidade. Em complemento, o *retrofit* das usinas existentes visam a melhoria de suas instalações, como o aumento da eficiência, filtragem dos GEE emitidos durante sua operação, e aumento da flexibilidade operativa, o que possibilita uma melhor competitividade destas usinas no mercado de energia (MME; EPE, 2021).

O modo de operação destas usinas se dá pelos ciclos simples e/ou combinado, onde no ciclo simples de operação é possível o atendimento de energia e potência, visto que há apenas um ciclo de operação e por isso maior agilidade de partida e maior flexibilidade na produção de energia. Caso este que diverge do ciclo combinado, com menor agilidade e flexibilidade, usualmente despacho no atendimento de energia de base do sistema (MME; EPE, 2021; TOLMASQUIM, 2016). Também são previstas usinas de pequeno porte, por meio de motores de combustão interna operando em ciclo aberto com finalidade no atendimento pontual de carga, devendo ter poucas de operação com foco no atendimento de potência do sistema, fazendo parte das contratações de empreendimentos que adicionem potência ao SIN, regidos pela portaria nº 518 (MME, 2021d).

Além disso, a cogeração de energia através do GN surge como mais uma alternativa para o suprimento de energia do sistema, de tal forma que com a evolução do NMG espera-se uma maior contribuição no atendimento do SIN (MME, 2021g). Outro argumento que elucida a exploração da cogeração à GN vincula-se a redução de emissões dos GEE, fazendo o aproveitamento dos recursos energéticos dos processos para a produção de energia elétrica, os quais seriam expelidos no ar atmosférico contendo gases poluentes (ANEEL, 2018).

Contudo, a cogeração a GN não se engloba nos estudos de expansão de geração de energia do sistema elétrico, pois usualmente está vinculada a produção industrial de caráter independente ou autoprodução de energia. No entanto, com as inconstâncias de produção das fontes de energia centralizada do SIN, a sua participação será fundamental para atendimento de energia do sistema para garantia de suprimento energético, visto que com disponibilidade do combustível e os incentivos por meio do NMG, fará com que o uso desta fonte de energia no setor industrial seja promovido e conseqüentemente a produção de energia elétrica pela cogeração.

2.2 Biomassa

A biomassa é um recurso energético de base renovável obtido a partir do substrato

de produtos de natureza agroindustrial, florestal, residual e dejetos. A cana-de-açúcar é a principal matéria prima da biomassa, onde são aproveitados seus subprodutos para a produção de energia elétrica, também denominada por bioeletricidade. Os principais subprodutos provenientes da cana-de-açúcar para a produção de energia elétrica são o bagaço da cana, palha e ponta da cana, a vinhaça e a torta de filtro (MME; EPE, 2021; TOLMASQUIM, 2016).

A cogeração é a principal tecnologia para a produção de energia elétrica a partir da biomassa, com processo associado para produção de calor e eletricidade. A partir do bagaço de cana é realizada a queima da matéria para aquecimento de caldeiras e produção de vapor para as turbinas, o mesmo processo ocorre para outros subprodutos como a palha e ponta de cana. Estas usinas usualmente operam em ciclo simples visando o atendimento de energia, para autoprodução com excedentes injetados na rede, e para a produção independente, na qual pode ser comercializada parte ou toda a energia produzida (TOLMASQUIM, 2016).

No entanto, a grande e massiva produção de celulose proveniente dos recursos florestais, também impacta significativamente na geração de energia elétrica, resultantes dos seus subprodutos. Um dos principais subprodutos de origem florestal é o licor negro, obtido através do processo de tratamento químico da celulose (EMBRAPA, 2022), com alta viscosidade e poder calorífico, para a queima e aquecimento de caldeiras para geração de eletricidade a partir de turbinas a vapor.

Já para os subprodutos como a vinhaça e torta de filtro é produzido o biogás a partir do processo de fermentação da matéria orgânica, o qual tem poder calorífico próximo ao GN, e posterior utilização em turbinas e motores de combustão interna a gás para a produção de bioeletricidade (MME; EPE, 2021). A produção de biogás ainda é pouco explorada neste ramo, no entanto possui grande potencial e que deve ser incentivada a promoção deste recurso energético (MME; EPE, 2021; TOLMASQUIM, 2016). Há ainda outros substratos para obtenção do biogás, tal como os resíduos e dejetos de animais e dejetos urbanos. No entanto a base desta pesquisa se dará sobre os recursos energéticos do setor sucroenergético.

O setor sucroenergético envolve os processos da cana-de-açúcar para a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade, caracterizada pela produção de energia limpa, sustentável e renovável, onde neste contexto o Brasil se qualifica como maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. A capacidade atual da biomassa na matriz elétrica do SIN compreende 8% da produção total de energia, que engloba além do bagaço de cana outras fontes de biomassa (MME; EPE, 2021). Contudo, o aproveitamento dos substratos da cana para a geração de energia poderia ser muito maior, conforme a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), o potencial não aproveitado da biomassa a partir da cana-de-açúcar poderia atender cerca de 30% da capacidade do SIN (UNICA, 2021).

As principais motivações para o uso desta fonte de energia vinculam-se ao fato

delas ser uma fonte renovável de energia com abundância de matéria prima para a sua produção, o que a coloca como um dos principais recursos energéticos para atendimento da crescente demanda por energia elétrica. Outro fato se relaciona com os períodos de menores precipitações chuvosas coincidirem com os períodos de colheita da cana de açúcar na regiões centro-sul, que compreendem os meses de abril a novembro, e que viabilizam a sinergia dos recursos energéticos da matriz elétrica pela bioeletricidade (MME; EPE, 2021).

Como exemplo para a circunstância da biomassa ser uma fonte complementar a baixa de geração de energia hídrica, se observa pela portaria normativa de nº 17/GM/MME que estabelece os critérios para contratação de energia provida de fontes térmicas com Custo Variável Unitário (CVU) nulo, na qual se enquadram as UTEs de cogeração qualificada por biomassa, com a finalidade de fornecer energia adicional ao SIN em momento de escassez hídrica (MME, 2021h). Ainda, com o biogás pode-se ampliar a produção de energia para o ano todo e não apenas nos períodos de colheita, reduzindo os efeitos da sazonalidade da geração de energia da biomassa (TOLMASQUIM, 2016).

A bioeletricidade é produzida próxima dos grandes centros de consumo, sendo que as regiões centro-sul são as maiores produtoras deste recurso, justamente os subsistemas que possuem maior solicitação de carga de energia do SIN (MME; EPE, 2021). Desta forma, a energia produzida é consumida localmente, não dependendo de longos trechos de linhas de transmissão o que resulta na redução das perdas do transporte da energia até a entrega aos consumidores (MME; EPE, 2021; UNICA, 2021).

As perspectivas de expansão da biomassa de cana-de-açúcar são promissoras pois com a mecanização da colheita do produto o aproveitamento dos substratos é substancialmente elevado, colocando-o como uma das principais fontes de energia para a expansão do parque gerador. Uma ressalva quanto às usinas de biomassa a cana-de-açúcar terem sua produção na grande maioria comercializada fora do Ambiente de Contratação Regulado (ACR), com perspectiva de ser comercializada majoritariamente no Ambiente de Contratação Livre (ACL) e mercado *Spot*, fato que não reduz sua participação na matriz elétrica (MME; EPE, 2021).

Adicionalmente, com a resolução nº 482 e suas alterações pelas resoluções nº 687 e nº 786, que definem os critérios de acesso e compensações para a minigeração e microgeração distribuída, a cogeração por biomassa pode gozar dos benefícios estabelecidos, sendo um dos gargalos para a promoção desta tecnologia na Geração Distribuída (GD) (ANEEL, 2012, 2015b, 2017). Desta forma a bioeletricidade passa a ser um importante recurso energético contribuindo na diversificação da matriz elétrica nacional e auxiliando na segurança energética.

2.3 Combustíveis Derivados do Petróleo

Os principais combustíveis derivados do petróleo para a produção de eletricidade

são o óleo diesel e o óleo combustível, ambos em estado líquido, e de origem fóssil (não renovável). Estes produtos além de serem utilizados como combustíveis para a geração de energia elétrica, possuem principais aplicações no setor de transporte rodoviário com o óleo diesel, e no setor industrial com o óleo combustível, sendo ambos também utilizados como combustível marítimo (PETROBRAS, 2014a, 2014b). Além disso, a indústria petroquímica também tem empenho na produção de energia elétrica a partir de combustíveis derivados do petróleo.

O Brasil possui disponibilidade desses recursos energéticos que compõem a matriz energética nacional. No entanto, a produção de diesel não é suficiente para atender toda a demanda interna, e por isso é importado parte desse recurso energético, fato que motiva a inserção dos biocombustíveis, a exemplo do biodiesel em mistura com o diesel visando a redução dos combustíveis fósseis em atendimentos as metas para redução de emissões dos GEE (BRASIL, 2017). Em se tratando do óleo combustível, a produção deste combustível é superior a demanda e os excedentes são exportados (MME; EPE, 2021).

Estes combustíveis possuem aplicações similares as termelétricas à GN bem como aos processos para geração de energia elétrica. Podem ser utilizados como combustível para UTEs operando em ciclo simples e combinado, em motores de combustão interna, e no caso do óleo combustível, também pode ser empregado no aquecimento de caldeiras para a produção de vapor para turbinas desta classe, assim como na cogeração. Além disso, algumas UTEs à GN possuem a tecnologia de abastecimento que pode ser alimentada por diesel e óleo combustível, mediante a indisponibilidade do GN (TOLMASQUIM, 2016).

Contudo, por serem fontes de energia que com grande impacto nas emissões de GEE, são utilizadas preferencialmente para atendimento de potência no SIN, com poucas horas de operação. Há a exceção dos sistemas isolados, que possuem predominância da geração termelétrica a diesel e óleo combustível para o suprimento de energia e potência (MME; EPE, 2020). Porém, está previsto a interligação de parte dos sistemas isolados com o SIN, e com isso a retirada substancial destes recursos energético para a geração de energia elétrica (MME; EPE, 2021).

Consumidores de grande porte possuem tarifas diferenciadas para o consumo de eletricidade da rede, caso que os motiva a autoprodução de eletricidade nos períodos em que a tarifa de energia é mais elevada. Esses consumidores geralmente possuem geradores de energia de pequena capacidade, usualmente movidos a diesel, para atendimento da sua demanda por energia durante o período diário com a tarifa mais elevada. No futuro essa situação poderá ser contornada com o uso de baterias, mas que ainda são muito onerosos os investimentos nesta tecnologia para esse fim (MME; EPE, 2021).

Embora os combustíveis derivados do petróleo tenham grande participação na composição do parque gerador do SIN, espera-se uma retirada considerável de termelétricas a diesel e óleo combustível, e assim a promoção dos recursos energéticos renováveis em substituição. Os biocombustíveis são candidatos em potencial para substituição do diesel

e o óleo combustível na matriz elétrica nacional, a partir do biodiesel e do biogás. O GN também se apresenta como possível candidato para suprir a retirada dessas fontes de energia (MME; EPE, 2021).

Ainda que o óleo diesel e o óleo combustível sejam grandes emissores de GEE, e que são usualmente utilizadas no atendimento de ponta do sistema, neste período de crise hídrica as usinas que deveriam apenas operar nestas circunstâncias, estão em operação quase que em tempo integral. De fato, estes recursos energéticos trazem segurança energética para o SIN, e enquanto os ciclos hidrológicos não forem regularizados, deve ser comum a produção de eletricidade por diesel e óleo combustível em atendimento a indisponibilidade de energia, principalmente à energia provida das UHEs.

2.4 Carvão Mineral

O carvão mineral é um recurso energético de base não renovável, oriundo de sedimentos vegetais soterrados a milhares de anos. É composto pela concentração de carbono e hidrogênio, constituídos a partir da deposição da matéria orgânica que sofreu compactação e transformações através das variações de temperatura e pressão. O carvão mineral utilizado para a geração de energia elétrica possui baixo teor de carbono, sendo o carvão com maior concentração de carbono destinado a indústria siderúrgica e outro fins que dependem de recursos com alto poder calorífico (TOLMASQUIM, 2016).

O carvão mineral utilizado como combustível pelas UTEs no Brasil é originário da produção nacional e importação. A região sul do Brasil é onde se localizam as maiores reservas desse recurso energético no país, e onde estão situadas a grande maioria das UTEs a carvão mineral. Sobre a importação deste recurso energético para fins termelétricos, a matéria prima é importada da Colômbia, sendo este o combustível que supre as UTEs a carvão da região norte (TOLMASQUIM, 2016).

No caso do carvão mineral nacional para emprego nas termelétricas, as usinas são localizadas próximas as minas, denominadas por “boca de mina”. Com isso, são reduzidos os custos com transporte da matéria prima, utilizando o recurso energético preferencialmente *in natura*. Em se tratando da carvão mineral importado, as usinas são geralmente instaladas próximas as regiões portuárias, visto que o carvão mineral importado é transportado por vias fluviais (TOLMASQUIM, 2016).

As UTEs a carvão mineral operam em ciclo simples com turbinas a vapor, fornecendo energia de base com alto fator de capacidade, o que resulta em ganhos de confiabilidade para o SIN. Por se situarem próximas aos grandes centros de carga, e terem sua produção constante mediante a suas garantias físicas, trazem segurança energética para o sistema, possibilitando a complementação de energia frente a redução da geração das UHEs pelas baixas hidrológicas (MME; EPE, 2021; TOLMASQUIM, 2016).

No entanto, as dificuldades atreladas a esta fonte de energia está ligada ao fato de ser um recurso energético poluente que contribui para as emissões de GEE, fazendo

com que a expansão de geração dessa fonte de energia esbarre em questões ambientais (SADEGHI; RASHIDINEJAD; ABDOLLAHI, 2017). No cenário nacional, este problema poderia ser reduzido com usinas mais modernas ou com o *retrofit* das usinas existentes, dado que boa parte destas usinas operam em ciclo aberto, o que intensifica a emissão dos gases poluentes na atmosfera (MME; EPE, 2021).

Ainda que na região sul do Brasil apresente grande disponibilidade de carvão mineral, com baixos custos e baixa volatilidade de preços do combustível, é esperado para os próximos anos a retirada de usinas a carvão mineral. Isto se deve ao fato do término da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que possui como uma de suas diretrizes a promoção da competitividade do carvão mineral nacional. Diante disto, devem ser priorizados outros recursos energéticos com caráter renovável e/ou menos poluentes para a produção de energia elétrica, o que resulta na mitigação dos impactos ambientais (MME; EPE, 2021).

2.5 Nuclear

As usinas nucleares, também denominadas por termonucleares, são UTEs movidas pela fissão do combustível nuclear originário do elemento químico urânio. O urânio é subproduto proveniente de reservas geológicas de minério associado com outros materiais, havendo a necessidade de etapas de processamento até a obtenção do urânio combustível em forma de pastilhas (INB, 2021). Durante as etapas de processamento do urânio é onde ocorrem os maiores problemas de poluição e riscos ambientais, caso que difere das demais fontes de energia, que apresentam impacto na poluição durante as etapas de operação das termelétricas com as emissões de GEE (TOLMASQUIM, 2016).

A produção de energia elétrica a partir das termonucleares é considerada uma fonte não emissora de GEE, um dos prós dessa tecnologia para atender a demanda crescente por eletricidade (DING et al., 2022; WEALER et al., 2021). Outro motivador vincula-se a evolução tecnológica das usinas desta classe, que com o aprendizado dos erros passados, a exemplo de *Chernobyl* na Ucrânia e *Three Mile Island* nos Estados Unidos da América, no que se refere aos processos de operação das termonucleares, vida útil dos empreendimentos e no tratamento dos rejeitos radioativos (TOLMASQUIM, 2016).

Durante o processo de fissão do urânio é produzido o plutônio, produto utilizado para fins militares na produção de armas nucleares. Ambos os elementos, urânio e o plutônio, podem ser reutilizados no processo, contudo o urânio necessita passar pela etapa de reenriquecimento para reaproveitamento. Com o reaproveitamento com combustível reduz-se a demanda por urânio para prover o funcionamento da usina e, conseqüentemente, reduz o volume dos rejeitos produzidos. Este processo compreende um ciclo fechado, com o reaproveitamento dos recursos energéticos produzidos pela usina, que no caso do ciclo aberto, seriam armazenados e não mais aproveitados (TOLMASQUIM, 2016).

O Brasil é detentor do conhecimento para a produção do combustível nuclear, fato

que somado a oferta do minério de urânio com grandes reservas no seu território, pode contribuir para a promoção desta fonte de energia no futuro. Atualmente no Brasil existem apenas duas usinas nucleares em operação (Angra I e Angra II), com a perspectiva da conclusão das obras da terceira unidade (Angra III). Contudo, o país esbarra nas questões de gerenciamento dos rejeitos radioativos, os quais são armazenados dentro das usinas, visando o possível reaproveitamento deste produto (INB, 2021; TOLMASQUIM, 2016).

As usinas termonucleares Angra I e Angra II, operam em ciclo aberto, desta forma o volume de rejeitos produzidos é de maior proporção, e necessitam de tratamento e destino para não ocasionar o esgotamento da sua capacidade de depósito (MME; EPE, 2021). Estas usinas operam em ciclo simples com a produção de vapor que movimentam as turbinas e produzem eletricidade. Da mesma forma que as UTEs a carvão, as usinas nucleares fornecem energia de base, fornecendo garantia e segurança no abastecimento constante de energia ao sistema.

Vale destacar que o fator de capacidade das usinas termonucleares é elevado, produzindo grande volume de energia com pequena quantidade de combustível, e são usinas que necessitam de um pequeno espaço para a sua instalação, podendo ser instalada perto dos grandes centros de carga. Contudo, este recurso energético perdeu espaço devido a promoção das UTEs a GN que operam em ciclo combinado, para atendimento de energia de base. Todavia, a volatilidade dos preços do combustível nuclear são praticamente estáveis, algo que não é visto nos combustíveis fósseis (TOLMASQUIM, 2016).

Muitos são os entraves para a promoção desta fonte de energia na expansão no cenário nacional e a nível mundial, que se agravou ainda mais com os problemas pós incidente em Fukushima no Japão (DING et al., 2022; TOLMASQUIM, 2016). No entanto, por ser uma tecnologia já consolidada, com baixa emissão de carbono na atmosfera e com grande volume de urânio disponível, torna-o um dos possíveis recursos energéticos para a mitigação de emissões de GEE, fornecendo energia segura e confiável. Desta forma, esses fatores devem encorajar o aproveitamento desta tecnologia para geração de energia elétrica.

3 | CONCLUSÃO

O uso sustentável dos recursos energéticos para a geração de energia elétrica faz com que haja um maior incentivo na ampliação da exploração das energias renováveis e mitigação das não renováveis. Embora esta seja uma alternativa para a diminuição do emprego dos combustíveis fósseis na matriz elétrica brasileira, situações como a crise hídrica de 2021 e a alta penetração das energias renováveis intermitentes demandam por fontes controláveis de energia, geralmente de fontes térmicas de energia.

No Brasil as fontes térmicas que compõem a matriz elétrica são consideradas como fontes complementares aos demais recursos energéticos. Assim, os principais combustíveis

desta classe são caracterizados por serem de origem renovável pela biomassa, e não renovável pelo GN, os derivados do petróleo, o carvão mineral e o urânio. Dentro destes combustíveis destacam-se o GN e a biomassa, os quais possuem potencial de expansão nos próximos anos e incentivos para que isso ocorra. Já os combustíveis derivados do petróleo e do carvão mineral, por serem altamente poluentes sua ampliação não é incentivada. Assim como a energia proveniente do urânio para energia nuclear, que esbarra em problemas de alto grau de risco de exposição a radioatividade deste combustível.

Portanto, o uso racional das fontes térmicas para geração de energia deve ser ponderado, e a promoção dos combustíveis que tem impacto mínimo ou nulo nas emissões de GEE devem ser intensificados, em substituição aos combustíveis poluentes. Em conclusão, este estudo se mostra como um material de base para os pesquisadores que desejam se inteirar das perspectivas sobre as fontes térmicas no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio técnico e financeiro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas de Geração Distribuída (INCTGD), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - nº 465640/2014-1), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - nº 23038.000776/2017-54), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS - nº 17/2551-0000517-1) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Instituições Brasileiras.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA No 235, DE 14 DE NOVEMBRO DE 2006**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2021.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

ANEEL. **MANUAL DE CONTROLE PATRIMONIAL DO SETOR ELÉTRICO. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasil**. [s.n.]. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656815/14887121/MANUAL+DE+CONTROLE+PATRIMONIAL+DO+SETOR+ELÉTRICO++MCPSE/3308b7e2-649e-4cf3-8fff-3e78ddeb98b>>.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2021b.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA No 786, DE 17 DE OUTUBRO DE 2017**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

ANEEL. **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída - Resolução Normativa nº 482/2012. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas-antigas>>. Acesso em: 30 ago. 1989.

BRASIL. **LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/13576.htm>. Acesso em: 16 set. 2021.

CCEE. **Camãra de Comercialização de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: 31 ago. 2022.

CNPE. **RESOLUÇÃO Nº 10, DE 14 DE DEZEMBRO DE 2016**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/gas-para-crescer/diretrizes-estrategicas/Resolucao_CNPE_10_Diretrizes_Gs_Para_Crescer.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

DING, S. et al. Forecasting nuclear energy consumption in China and America: An optimized structure-adaptative grey model. **Energy**, v. 239, p. 121928, jan. 2022. D.O.I.:10.1016/j.energy.2021.121928

EMBRAPA. **Agroenergia - Licor Negro**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/licor-negro>>. Acesso em: 24 out. 2022.

INB. **Ciclo do Combustível Nuclear**. Disponível em: <<http://www.inb.gov.br/pt-br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>>. Acesso em: 13 set. 2021.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

KAYTEZ, F. A hybrid approach based on autoregressive integrated moving average and least-square support vector machine for long-term forecasting of net electricity consumption. **Energy**, v. 197, p. 117200, abr. 2020. D.O.I.:10.1016/j.energy.2020.117200

LORA, E. E. SI.; NASCIMENTO, M. A. R. DO. **Geração Térmica: Planejamento, Projeto e Operação**. 1ª edição ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2004. v. I

MME; EPE. **Sistemas Isolados - Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados**. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-508/Instruções do Leilão dos Sistemas Isolados 2021-r1.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-508/Instruções%20do%20Leilão%20dos%20Sistemas%20Isolados%202021-r1.pdf)>. Acesso em: 16 set. 2021.

MME. **PORTARIA Nº 341, DE 11 DE SETEMBRO DE 2020**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-341-de-11-de-setembro-de-2020-277980677>>. Acesso em: 16 set. 2021.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 1, DE 7 DE JANEIRO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-1-de-7-de-janeiro-de-2021-298328496>>. Acesso em: 1 set. 2021a.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 10, DE 30 DE ABRIL DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-10-de-30-de-abril-de-2021-317910168>>. Acesso em: 1 set. 2021b.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 14, DE 7 DE JUNHO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-14-de-7-de-junho-de-2021-325373483>>. Acesso em: 23 ago. 2021c.

MME. **PORTARIA Nº 518, DE 28 DE MAIO DE 2021**. Disponível em: <<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=28/05/2021&jornal=600&pagina=17>>. Acesso em: 30 jun. 2021d.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 24/GM/MME, DE 17 DE SETEMBRO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-normativa-n-24/gm/mme-de-17-de-setembro-de-2021-345760051>>. Acesso em: 20 set. 2021e.

MME. **Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/publicacoes-1/boletim-mensal-de-acompanhamento-da-industria-de-gas-natural>>. Acesso em: 27 ago. 2021f.

MME. **Manual Orientativo de Boas Práticas Regulatórias do Comitê de Monitoramento da Abertura do Mercado de Gás Natural**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/novo-mercado-de-gas/cmgn/publicacoes>>. Acesso em: 27 ago. 2021g.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 17/GM/MME, DE 22 DE JULHO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-17/gm/mme-de-22-de-julho-de-2021-333770836>>. Acesso em: 3 ago. 2021h.

MME; EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética, Brasil**. [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-564/Minuta_do_Plano_Decenal_de_Expansao_de_Energia_2030__PDE_2030.pdf>.

NAM, K.; HWANGBO, S.; YOO, C. A deep learning-based forecasting model for renewable energy scenarios to guide sustainable energy policy: A case study of Korea. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 122, n. December 2019, p. 109725, abr. 2020. D.O.I.:10.1016/j.rser.2020.109725

PETROBRAS. **Óleo Diesel - Informações Técnicas**. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/diesel-manual.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2021a.

PETROBRAS. **Óleo Combustível - Informações Técnicas**. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-tecnico-oleo-combustivel-assistencia-tecnica-petrobras.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2021b.

SADEGHI, H.; RASHIDINEJAD, M.; ABDOLLAHI, A. A comprehensive sequential review study through the generation expansion planning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, n. October 2015, p. 1369–1394, jan. 2017. D.O.I.:10.1016/j.rser.2016.09.046

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, Brazil, 2016.

UNICA. **Bioeletricidade**. Disponível em: <<https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/bioeletricidade/>>. Acesso em: 2 set. 2021.

WEALER, B. et al. Investing into third generation nuclear power plants - Review of recent trends and analysis of future investments using Monte Carlo Simulation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 143, n. February, p. 110836, jun. 2021. D.O.I.:10.1016/j.rser.2021.110836

ZURN, H. H. et al. Electrical energy demand efficiency efforts in Brazil, past, lessons learned, present and future: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 1081–1086, jan. 2017. D.O.I.:10.1016/j.rser.2016.09.037

LILIAN COELHO DE FREITAS - Possui graduação em Engenharia da Computação pela Universidade Federal do Pará (UFPA), obtida em 2007. Possui mestrado em Computação Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFPA, obtido em 2009. Em 2008, realizou estágio de mestrado no Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC/Porto - Portugal). Atuou como pesquisadora membro do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado (LEA/UFPA) de 2004 a 2014 e do Laboratório de Sensores e Sistemas Embarcados (LASSE/UFPA) de 2008 a 2012. Atuou como Pesquisadora Visitante no *Georgia Institute of Technology* (Atlanta, Georgia, Estados Unidos), no período de Março/2012 a Fev/2013. Desde 2016 atua como professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) na área de Informática. Desde 2020 é membro do Conselho Editorial da editora Atena. Tem mais de 50 trabalhos científicos publicados, envolvendo publicações em livros, revistas e eventos científicos. Seus interesses de pesquisa são: telecomunicações (comunicações sem fio, rádio cognitivo), *machine learning* e educação.

A

Algoritmo doc2vec 30, 34, 35

Aterramento 140, 141, 142, 145, 146, 149, 150, 151, 152, 153, 154

C

Choque elétrico 140, 141, 142, 143, 144, 149, 152, 155

Cidades inteligentes 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 48, 53

Clusterização 37

Controle preditivo não-Linear 127

D

Design 40, 56, 57, 58, 59, 61, 64, 65, 71, 72, 138

Digital games 57, 58, 68, 69, 70

Dispositivo residual 140

Dispositivos móveis 1

E

Energia eólica 111, 114, 117, 157

Energias não renováveis 157

Energia solar 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 123, 124, 125

Energias renováveis 114, 157, 158, 167

Energia térmica 157, 158, 159

Engenharia de requisitos 11, 12, 13, 16, 17, 20

F

Fontes térmicas 156, 157, 158, 159, 160, 163, 167, 168

Fuzzy cognitive maps 39, 40, 49, 53, 54, 55, 56, 112, 125

G

Game customization 58

Garantia de qualidade 1, 8, 14

H

Homologação de releases Android 1

Hospital inteligente 80, 82, 85

I

Inserção automática 73

Interligação de programas 73

ISO/IEC 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20

L

Layout de inclusão facilitada 73

M

Mapas cognitivos fuzzy 39, 110, 111, 118

Matlab 87, 88, 95, 108, 109

Modelos bilineares 126, 127, 128

P

Painéis fotovoltaicos 111, 113, 117, 122

Processos 2, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 20, 47, 73, 75, 88, 89, 90, 127, 137, 159, 161, 162, 164, 166

Puma 560 87, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97, 99, 100, 107, 108

Q

Qualidade de software 1, 4, 17, 20

R

Robô 49, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 97, 99, 101, 102, 104, 107, 108, 109

Robótica 87, 88, 89, 90, 93, 107, 108, 109, 120

S

Satisfação do cliente 111, 122

Sistemas inteligentes de computação 39

Software 1, 2, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 41, 54, 61, 73, 74, 76, 77, 78, 83, 87, 89, 90, 95, 96, 99, 107, 118, 122

T

Teste de software 1

U

UML 11, 12, 18, 19, 20

User experience (UE) 58, 59, 61, 62, 64, 70, 72

V

Virtual things 80

W

Web of things 80, 81, 83, 86

Web scraping 21, 22, 37

ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

Docência, pesquisa e inovação tecnológica

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

ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

Docência, pesquisa e inovação tecnológica

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