



Atena
Editora
Ano 2022

ELECTRICAL ENGINEERING: PERSPECTIVE AND TENDENCY

JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)



Atena
Editora
Ano 2022

ELECTRICAL ENGINEERING: PERSPECTIVE AND TENDENCY

JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADORES)

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

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial**Ciências 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
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Electrical engineering: perspective and tendency

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E38 Electrical engineering: perspective and tendency /
Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz
Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0375-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.753222106>

1. Electrical engineering. I. Dallamuta, João
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.
Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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



DECLARAÇÃO DA EDITORA

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



APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica 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 eletricista 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.

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

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

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

Boa leitura

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1


DETECÇÃO DE PATOLOGIAS VOCAIS POR MEIO DO USO DE MODELOS AUTO REGRESSIVOS E ALGORITMO KNN

Winnie de Lima Torres

Ícaro Bezerra Queiroz de Araújo

Aldayr Dantas de Araújo

Allan de Medeiros Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221061>

CAPÍTULO 2..... 14

APRENDIZAGEM BASEADA EM METODOLOGIA ATIVA NO ENSINO DE FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA

Márcio Mendonça

Michelle Eliza Casagrande Rocha

Carlos Renato Alves de Oliveira

Lucas Botoni de Souza

Kazuyochi Ota Junior

Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin

Augusto Alberto Foggiano

Luiz Francisco Sanches Buzachero


Gabriela Helena Bauab Shiguemoto

Luiz Henrique Geromel

Marcio Aurelio Furtado Montezuma

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Fábio Rodrigo Milanez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221062>


CAPÍTULO 3..... 27

A VIRTUAL REALITY APPLICATION FOR TRAINING LOCOMOTIVE OPERATORS

Pablo Pereira e Silva

Rodrigo Varejão Andreão

Mário Mestría

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221063>


CAPÍTULO 4..... 40

OPEN LOOP CONTROL SYSTEM AND TOOLS FOR DATA ACQUISITION AND ESTIMATION OF THE WELD BEAD DEPTH IN GMAW PROCESS

Guillermo Alvarez Bestard

Renato Coral Sampaio

Sadek Crisostomo Absi Alfaro


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221064>

CAPÍTULO 5..... 56

PREMISSAS E PERSPECTIVAS DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA DO

SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO


Bruno Knevez Hammerschmitt
Felipe Cirolini Lucchese
Marcelo Bruno Capeletti
Leonardo Nogueira Fontoura da Silva
Fernando Guilherme Kaehler Guarda
Alzenira da Rosa Abaide

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221065>

CAPÍTULO 6..... 68

SISTEMA RETIFICADOR/INVERSOR COM CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA APLICADO AO ACIONAMENTO DE MOTOR SÍNCRONO DE IMÃS PERMANENTES


Pedro Cerutti Bolsi
Edemar de Oliveira Prado
Hamiltom Confortin Sartori
José Renes Pinheiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221066>

CAPÍTULO 7..... 84

UM MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA MARGEM DE CARGA DE SISTEMAS DE POTÊNCIA NA REGIÃO DE SEGURANÇA DINÂMICA DEVIDO A BIFURCAÇÕES

Murilo Eduardo Casteroba Bento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221067>

CAPÍTULO 8..... 92

UM MÉTODO BASEADO EM OTIMIZAÇÃO PARA O PROJETO DE CONTROLADORES CENTRALIZADOS DE AMORTECIMENTO

Murilo Eduardo Casteroba Bento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221068>

CAPÍTULO 9..... 102

TRAÇADOR DE CURVAS PORTÁTIL E DE BAIXO CUSTO PARA PAINÉIS PV USANDO UM CONVERSOR CC-CC

Romário de J. Nazaré
Leandro L. O. Carralero
Fabiano F. Costa
André P. N. Tahim

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7532221069>

CAPÍTULO 10..... 117

METODOLOGIA AVALIATIVA REMOTA APLICADA À UMA DISCIPLINA DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA: RELATO DE CASO

Bruno Knevez Hammerschmitt
Felipe Cirolini Lucchese
Alzenira da Rosa Abaide

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.75322210610>

SOBRE OS ORGANIZADORES	127
ÍNDICE REMISSIVO.....	128

CAPÍTULO 5

PREMISSAS E PERSPECTIVAS DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Data de aceite: 01/06/2022

Data de submissão: 04/05/2022

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>

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>

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 necessidade de descarbonizar os sistemas de energia, todas as nações se voltam para a exploração dos recursos energéticos renováveis, visto que são de natureza ilimitada e não são fontes poluidoras. Neste contexto se englobam os sistemas elétricos, onde, as fontes renováveis de energia têm participação cada vez mais imponente. No entanto, por serem recursos provenientes da natureza, os recursos energéticos renováveis são altamente dependentes de fatores climáticos e meteorológicos, fato que aumenta a complexidade da gestão desses recursos para a geração de energia elétrica devido a sua intermitência. Consequentemente, acabam tendo que recorrer por fontes de energias com capacidade controlável de geração, muitas vezes oriundas de combustíveis fósseis e altamente poluentes. Deste modo, são requeridos estudos que englobam alternativas viáveis de expansão da matriz elétrica que contemplem a sustentabilidade, confiabilidade e garantia de operabilidade segura dos sistemas elétricos. Diante disto, este trabalho tem como objetivo a explanação sobre as principais premissas e perspectivas da expansão da geração de energia do Sistema Elétrico Brasileiro, realizando a contextualização e informando as tendências do setor.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema elétrico brasileiro; expansão da geração de energia; energias renováveis; sistemas multienergia.

ASSUMPTIONS AND PROSPECTS OF POWER GENERATION EXPANSION OF THE BRAZILIAN ELECTRICAL SYSTEM

ABSTRACT: Many countries are moving away from fossil fuels and their environmental impacts, replacing them with clean and sustainable renewable energy sources and increasing their shares in many electric systems. However, renewable resources are dependent on climatic and weather parameters, meaning they are very intermittent and can impact the management and parameters of the electric grid. To deal with this situation many electric systems have to resort to dispatchable and controllable sources from fossil fuels. Thus, more research is required to establish alternatives to the expansion of renewable resources in a sustainable meaning, focusing on establishing safety operations for the electric grid. This paper has the objective of reviewing the assumptions and prospects of the Brazilian Electrical System power generation expansion, providing the present scenario and the future trend of the sector.

KEYWORDS: Brazilian electrical system; power generation expansion; renewable energy; multi-energy systems.

1 | INTRODUÇÃO

Com o crescimento constante da demanda por energia elétrica, motivada pelo aumento populacional e da industrialização, a busca por alternativas sustentáveis requerem estudos de previsão e planejamento do setor elétrico. Uma das soluções viáveis se volta para os sistemas integrados de energia, também denominado por sistema multienergia o qual possui diferentes fontes de energia, onde, há particularidades de geração de energia atribuídas a cada tipo de recurso energético.

As perspectivas de crescimento dos setores de geração de energia se voltam para a exploração dos recursos energéticos de caráter renovável, uma vez que são de fácil acesso e disposição ilimitada, mas com suas particularidades características. Um exemplo são os casos da geração eólica e solar fotovoltaica, que tem como característica a intermitência de geração de energia, fato que impossibilita o uso exclusivo destes recursos para atendimento integral de um sistema de energia. Assim, os sistemas multienergia necessitam de fontes de energia com capacidade de produção controlável para acomodar as oscilações de geração de energia das fontes renováveis intermitentes. Essas fontes usualmente são originárias de combustíveis fósseis.

Neste contexto têm-se o Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), que é caracterizado por um sistema integrado de energia com carga e geração centralizada, denominado por Sistema Interligado Nacional (SIN), composto por recursos energéticos para geração de energia de origem hídrica, eólica, térmica e solar fotovoltaica que ainda é pouco expressiva. O SEB é referência mundial por possuir uma matriz elétrica de predominância renovável (ASLAM

et al., 2021), onde a geração de energia por Usinas Hidrelétricas (UHEs) compreendem a expressividade de mais da metade da demanda de carga, totalizando mais de 100 GW de capacidade instalada e em operação (ANEEL, 2021a).

O SIN é composto por quatro grandes subsistemas, os quais são subdivididos por: Subsistema Sudeste/Centro Oeste, Subsistema Sul, Subsistema Norte, Subsistema Nordeste. Os subsistemas são interligados pelo SIN, com coordenação e operação geridas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), o que permite o intercâmbio de energia elétrica entre subsistemas, garantindo a otimização dos recursos energéticos frente as sazonalidades anuais das diferentes regiões, trazendo robustez e garantias de suprimento de energia e potência solicitados pelo sistema.

Entretanto, nos últimos anos a escassez hídrica e a incapacidade das fontes eólica e solar em suprir o déficit de energia trouxeram consigo a necessidade de expansão do parque gerador térmico. Dentre as principais candidatas a expansão de geração de energia térmica têm-se as Usinas Térmicas (UTES) movidas a Gás Natural (GN), motivada pelas perspectivas de autossuficiência deste combustível provindo do pré-sal e pós-sal (MME; EPE, 2021). Também se destaca o recurso da biomassa com prevalência dos dejetos da cana-de-açúcar. Vale citar os demais combustíveis como o diesel, óleo combustível, carvão mineral e urânio, porém, como são recursos energéticos com altos índices de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), não são preferência para expansão, mas fazem parte das capacidades instaladas e em operação com relevante importância no SIN.

Diante disto, este trabalho tem por objetivo esclarecer as principais premissas e perspectivas relacionadas ao SEB, realizando a contextualização do setor, informando as principais tendências no âmbito da expansão do parque gerador de energia elétrica, e denotando a complexidade atrelada a sistemas de energia de grande escala.

2 | CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Os sistemas elétricos de potência se caracterizam pelas unidades de geração de energia elétrica, pelas linhas transmissão por onde é transportada a energia elétrica produzida, e distribuição de energia elétrica que entrega energia elétrica às unidades consumidoras. Para o sistema operar de maneira segura e confiável é necessário um planejamento adequado, visto que o SEB é um sistema de grande porte com uma matriz elétrica diversificada, e com interconexões para o melhor aproveitamento dos recursos energéticos. Conforme o histórico, o setor elétrico foi marcado pela autoridade do estado sobre o setor, com sucessivos erros e falta de planejamento que resultaram em problemas de racionamento de energia elétrica (GARCIA, 2008). Com o passar dos anos decidiu-se pela desverticalização do setor, com a participação de investimentos públicos e privados, e com uma nova estrutura institucional de agentes sobre o setor elétrico.

A estrutura institucional do setor elétrico brasileiro, criada a partir de 2004, é

composta por órgãos que tem por finalidade a gestão do setor no atendimento de energia elétrica. A estes órgãos são atribuídas competências, sendo necessário a atuação conjunta para o desenvolvimento e coordenação. Dentre as principais instituições pode-se citar o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), o Ministério de Minas e Energia (MME), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Ao CNPE são atribuídas as questões voltadas a formulação de políticas e diretrizes de energia com o propósito do suprimento energético (CNPE, 2021). O MME tem como responsabilidades a formulação e implementação das políticas energéticas, garantindo o equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia elétrica (MME, 2021). A EPE é quem desenvolve os estudos e pesquisas para subsidiar e definir as métricas indicativas a serem seguidas para o planejamento e expansão do setor, vinculado ao MME (EPE, 2021a). Já o CMSE tem como responsabilidade o acompanhamento e a avaliação do suprimento elétrico que contempla o fornecimento de energia elétrica seguro e contínuo, sob coordenação direta do MME (CMSE, 2021).

A ANEEL está incumbida em fiscalizar e regular os setores de geração, transmissão e distribuição, também compete a ela a função de estabelecer métricas para o fornecimento e comercialização de energia elétrica (ANEEL, 2021b). As atribuições designadas a CCEE estão alinhadas as diretrizes da comercialização, viabilizando as operações de mercado na compra e venda de energia elétrica (CCEE, 2021). Por fim, ao ONS são designadas as funções de gestão do SIN, que compreendem a operação, controle e supervisão dos ativos de geração e transmissão de energia elétrica (ONS, 2021a).

Estas instituições devem promover ações para o desenvolvimento do sistema com perspectivas para o atendimento de carga e geração considerando diferentes cenários. A exemplo, tem-se que a demanda por energia elétrica está diretamente atrelada ao crescimento econômico e populacional, e que no ano de 2020 ficou marcado pela crise epidemiológica a nível mundial causada pela pandemia do novo coronavírus, denominado por COVID-19. Neste cenário houve recessão econômica no mundo todo onde indústrias fecharam suas portas (SAUSEN et al., 2021), como estratégia neste e em outros setores para manter o isolamento social e reduzir o contágio do vírus (ALVAREZ, 2021). Diante disto, no Brasil a demanda por energia elétrica foi reduzida drasticamente visto que a maior parcela de consumo de eletricidade está ligada as indústrias (MME; EPE, 2021).

Desta forma, as incertezas causadas pela pandemia dificultam os estudos de planejamento de expansão do sistema elétrico, pois não se sabe com exatidão como será a evolução da economia nacional e como será a recuperação da confiança de agentes econômicos. No entanto, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) elaborado pelo MME e pela EPE, anualmente realiza o estudo das perspectivas indicativas para o setor de energia no planejamento energético para um horizonte de médio e longo prazo, onde

se enquadram questões econômicas, estratégicas e socioambientais (MME; EPE, 2021).

O PDE informa que as perspectivas de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro para o período dos próximos dez anos deve ter um crescimento médio anual de 2,9%, com início mais brando na primeira metade e impulsionado na segunda metade do período, sendo motivado pela recuperação da demanda interna e externa, estimulados pelos setores da agropecuária, agricultura, indústria, construção e serviços. Isto denota um aumento do consumo de eletricidade no médio e longo prazo, o que coloca o setor elétrico como um dos setores que mais deve crescer neste decênio, com destaque para o setor industrial que deve prosperar com mais vigor, e para o consumo residencial e comercial a partir do uso de condicionadores de ar. Outro fato a ser considerado é o aumento populacional que acarretará em um maior número de consumidores residenciais, onde também é esperado o aumento de consumo per capita para os próximos anos (MME; EPE, 2021).

Conforme o plano indicativo do PDE para a projeção de carga de energia por subsistema, há expectativa de um crescimento mais singelo na primeira metade (2019-2025) evidenciado pela pandemia do COVID-19, e um cenário de crescimento com maior intensidade na segunda metade deste decênio (2025-2030), o que retrata a evolução do cenário nacional pós pandemia. As informações percentuais ano a ano (% a.a.) de incremento de carga de energia por subsistema e para o SIN é observado na Tabela 1.

Ano	Subsistemas				SIN
	Sul	Sudeste/CO	Norte	Nordeste	
2019 - 2025	2,7% a.a.	2,3% a.a.	4,2% a.a.	3,3% a.a.	2,7% a.a.
2025 - 2030	3,3% a.a.	2,9% a.a.	4,8% a.a.	3,9% a.a.	3,3% a.a.

Obs: É considerado a interligação de Boa Vista – RR ao subsistema norte em 2026

Tabela 1 – Projeção percentual de carga de energia esperada pelo PDE 2030.

Fonte: Adaptado de (MME; EPE, 2021).

Os subsistemas Sul e Sudeste/CO apresentam um crescimento da carga de energia moderado no período de 2019 a 2025, justificado pelo fato de serem as regiões de maior concentração industrial e que sofreram grande impacto com a pandemia (MME; EPE, 2021; ONS, 2021a). Contudo, no segundo período espera-se a retomada econômica deste setor, que irá solicitar um incremento de carga de energia mais intenso que no primeiro período.

Já os subsistemas Norte e Nordeste possuem a maior expectativa de crescimento de carga, esclarecido pelo crescimento populacional esperado para os próximos anos visto que são regiões com predominância de consumidores residenciais. Outra questão que justifica o incremento de carga esperado para o subsistema Norte está alinhada com a interligação da capital Boa Vista no estado de Roraima com o SIN a partir do ano de 2026,

que por sua vez apresenta um grande histórico de apagões no fornecimento de energia elétrica sendo o único estado não interligado pelo SIN, atendido exclusivamente por um sistema isolado com predominância de UTEs a óleo diesel (ONS, 2021b).

O SEB por possuir uma base composta predominantemente por fontes de energias renováveis, torna-se dependente das condições e influências climáticas para a geração de energia elétrica. Esta característica é benéfica para os critérios de uma matriz elétrica renovável visando a sustentabilidade e contribuindo para a redução de emissões dos GEE, conforme o Acordo de Paris que possui suas bases na mitigação dos GEE e o desenvolvimento sustentável das nações (ONU, 2015). Contudo, estes fatores o tornam vulnerável as variações causadas pelo clima, a exemplo da baixa dos reservatórios das UHEs ocasionadas pelos baixos índices pluviométricos registrados no ano de 2021 (INMET, 2021).

O ano de 2021 foi marcado por uma grave crise hídrica, a qual é considerada como a pior crise hidrológica nos últimos 91 anos, agravada pela desregularização dos reservatórios nos últimos anos com gradativa redução dos níveis de armazenamento (ONS, 2021c). A Figura 1 é um exemplo da baixa do reservatório de uma UHE da região sul do Brasil, localizada na cidade de Pinhão no estado do Paraná, que faz parte do SIN.

Isto é resultado da alta dependência do sistema elétrico pela produção das UHEs, com o esgotamento dos recursos hídricos, como pode ser visto na Figura 1. Como consequência, acabam tendo que recorrer a energia elétrica produzida por UTEs para garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica.



Descrição: a) vista macro UHE; b) comportas da UHE; c) saída do vertedouro; d) entrada do vertedouro; e) vista da represa e comportas; f) vista macro do reservatório da UHE.

Figura 1 – UHE Governador Bento Munhoz da Rocha Netto.

Fonte: Autor (registro realizado no dia 12 de setembro de 2021).

3 | PERSPECTIVAS DA EXPANSÃO DE GERAÇÃO NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Ano a ano há a evolução de carga no SIN, a qual demanda o incremento de energia e potência para atender o sistema frente a carga instalada e para novas solicitações de carga, como no caso da integração do estado de Roraima ao SIN. A perspectiva de expansão indicativa do SIN no que diz respeito a contribuição por fonte de energia da matriz elétrica para geração centralizada são apresentadas pela Figura 2, que retrata a

evolução percentual ao longo dos anos.

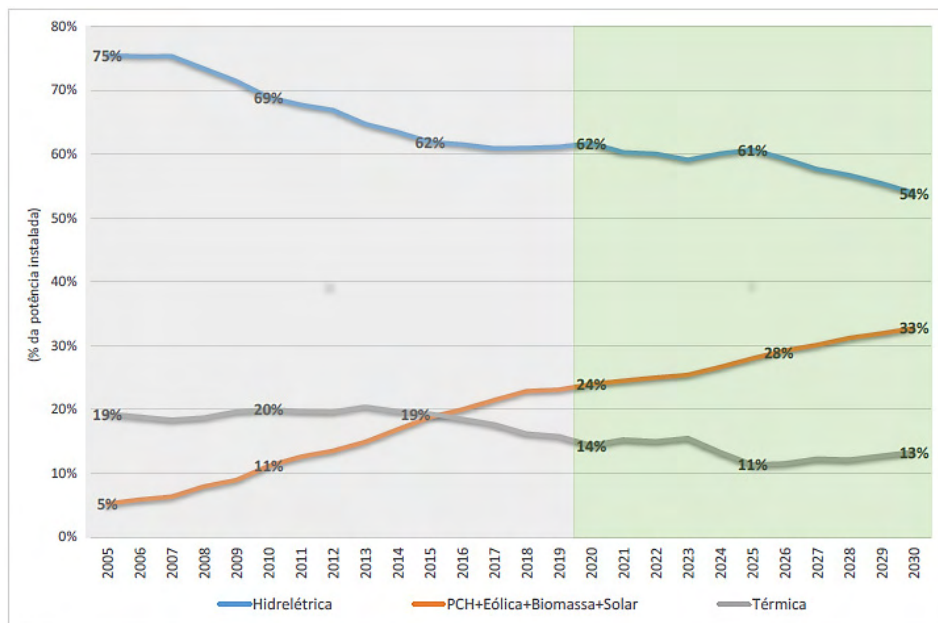


Figura 2 – Contribuição das fontes de energia na capacidade instalada de geração centralizada.

Fonte: (MME; EPE, 2021)

Observa-se pela análise da Figura 2 o crescimento da geração renovável centralizada proveniente das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), eólicas, biomassa e solar fotovoltaica, que somado ao potencial hidrelétrico, traduz-se em uma matriz elétrica majoritariamente renovável. Essa mudança no panorama da oferta de geração de energia elétrica com a inserção de fontes renováveis de energia intermitentes, como no caso da eólica e solar fotovoltaica, desperta a atenção nas questões de planejamento e operação do sistema. Ressalta-se também a redução gradativa da participação de grandes UHEs na composição final de atendimento ao SIN (em valores absolutos mantem-se praticamente inalterada), que necessitará um gerenciamento mais rigoroso para a adequação da alta penetração das fontes renováveis e para atender as oscilações de carga do sistema.

A tecnologia solar fotovoltaica está em plena ascensão no cenário nacional, sendo a principal tecnologia para Geração Distribuída (GD) (ABSOLAR, 2021). Embora apresente pouca expressividade no cenário de geração centralizada, no futuro é esperado a participação desta tecnologia como alternativa para expansão em grande escala, visto que, no Brasil há regiões com altos índices de radiação solar, principalmente nas regiões norte e nordeste, que resultam em rendimentos de geração de energia elétrica acima da média global traduzidos pelo alto fator de capacidade (EPE, 2021b). Existe ainda a expectativa

de instalação de novas usinas de energia solar fotovoltaica com a característica flutuante, aproveitando as grandes áreas das represas das UHEs e PCHs, podendo usufruir do sistema de transmissão de energia elétrica instalado (MME; EPE, 2020, 2021).

Em se tratando das fontes eólicas, é uma tecnologia já consolidada no setor elétrico nacional com principal aplicação na geração centralizada. Dentre as fontes renováveis de energia com produção variável, é a de maior capacidade instalada no SIN e com perspectivas de expansão acelerada para os próximos anos (MME; EPE, 2021). A grande aptidão para expansão massiva dessa tecnologia para atendimento ao SIN está atrelada a vários fatores, como o alto fator de capacidade dos parques eólicos, a grande área territorial costeira onde apresentam os maiores índices de constâncias de ventos, e sua contribuição socioambiental na descarbonização (ABEEÓLICA, 2020, 2021).

Deste modo, as fontes eólicas e solar fotovoltaica se mostram economicamente competitivas para expansão de capacidade de geração. Há a indicação futura de hibridização dessas fontes com a contribuição de energia e potência conjunta, em que a modulação das produções de energia se complementa, reduzindo a dependência por fontes complementares de energia. A inserção de tecnologias para armazenamento de energia também viabilizaria a promoção das fontes renováveis intermitentes de energia, mas ainda não se apresenta como uma tecnologia viável economicamente para expansão de capacidade. Adicionalmente, a pouca capacidade de energia solar fotovoltaica em atendimento ao SIN é irrisória quando associada a capacidade eólica instalada e em expansão. Também cabe destacar as eólicas *offshore*, que apresentam maior capacidade de produção que as *onshore* (EPE, 2021b), mas que ainda não se mostram como uma tecnologia economicamente viável no cenário nacional.

As PCHs consideradas no estudo de planejamento e expansão englobam as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs), que compreendem as usinas com capacidade igual ou inferior a 5MW, e as PCHs com capacidade superior a 5MW e inferior a 30MW com área de reservatório de até 13 km² (ANEEL, 2020). A expansão dessas usinas com capacidade inferior as tradicionais UHEs (todas as usinas com capacidade superior a 5MW que não se enquadram como PCH), está vinculada a suas dimensões pois necessitam de um menor espaço territorial para sua instalação, o que é um problema enfrentado atualmente para instalação de novas UHEs de grande porte.

As PCHs surgem como uma alternativa para expansão da capacidade potência e energia, atendendo aos requisitos de sustentabilidade por ser de base renovável, fazendo o aproveitamento dos recursos hídricos, tendo em vista que não há expectativa de instalação de novas usinas de grande porte. Outros benefícios da expansão desta tecnologia estão ligados a flexibilidade operativa e ao armazenamento para operação no curto prazo, o que favorece as sinergias das outras fontes que compõem o SIN.

As UTEs de base renovável e não renovável compreendem uma ampla aplicação no setor elétrico nacional, fornecendo energia e potência ao SIN, de tal forma a trazer

estabilidade para operação segura com flexibilidade operativa e capacidade de despacho em tempo real para modulação das inconstâncias de geração das fontes intermitentes, e com a capacidade de atendimento a energia de base perante a indisponibilidade de energia hídrica. Outro fato que cabe o destaque é de que as UTEs previstas para expansão do parque gerador são compostas por usinas com maior eficiência e totalmente flexíveis para o atendimento de potência, com perspectiva de poucas horas de operação, resultando em uma menor emissão de GEE (MME; EPE, 2021).

4 | CONCLUSÃO

A preocupação das nações em reduzir as emissões de GEE que impactam diretamente nas questões climáticas, faz com que surja como alternativa na mitigação destes problemas à intensificação do uso dos recursos energéticos renováveis para atendimento da demanda por energia. As fontes renováveis de energia, como o caso da eólica, solar fotovoltaica, biomassa e hídrica, são energias limpas e que tem papel importante na matriz energética mundial, e principalmente no uso para produção de eletricidade. No entanto, em especial a fontes eólica e solar fotovoltaica, são recursos energéticos com alta variabilidade e intermitência na geração de energia.

O SEB é caracterizado por um sistema de base predominantemente renovável, com carga e geração centralizada, fato que permite a otimização dos recursos energéticos que compreendem sua matriz elétrica. Entretanto, como nos últimos anos houve problemas com escassez hídrica, visto que é o recurso energético majoritário do SEB, e com a alta inserção das demais fontes renováveis de caráter intermitente, acaba que a demanda por energia térmica se torna essencial para o mantimento do SIN em funcionamento.

Vale destacar que as perspectivas de expansão da geração de energia do SEB são preponderantes sob a ótica das energias renováveis, mas também se voltam para as UTEs a partir de combustíveis fósseis, em especial ao GN, que viabilizarão a inserção massiva das fontes renováveis no SEB. Com isso, conclui-se que os estudos de expansão da geração de energia elétrica são indispensáveis e auxiliam na ampliação dos sistemas multienergia, visto que, com a participação conjunta entre a geração de energia por recursos energéticos de base renovável, e a geração por fontes de energias controláveis, os quesitos de sustentabilidade, e da operação segura e confiável do sistema são atendidos.

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

ABEEÓLICA. **Boletim Anual - Dados 2020**. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PT_Boletim-Anual-de-Geração_2020.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

ABEEÓLICA. **Energia Eólica - Os bons ventos do Brasil**. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2021/06/2021_06_InfoVento21.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

ABSOLAR. **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 14 jul. 2021.

ALVAREZ, G. E. A multi-objective formulation of improving flexibility in the operation of electric power systems: Application to mitigation measures during the coronavirus pandemic. **Energy**, v. 227, p. 120471, jul. 2021. D.O.I.:10.1016/j.energy.2021.120471

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 875, DE 10 DE MARÇO DE 2020**.

Disponível em: <<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=16/03/2020&jornal=515&pagina=60&totalArquivos=144>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYU55ZmM0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>>. Acesso em: 14 dez. 2021a.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 17 jul. 2021b.

ASLAM, S. et al. A survey on deep learning methods for power load and renewable energy forecasting in smart microgrids. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 144, n. December 2020, p. 110992, jul. 2021. D.O.I.:10.1016/j.rser.2021.110992

CCEE. **Camãra de Comercialização de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

CMSE. **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cmse>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

CNPE. **Conselho Nacional de Política Energética**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 17 jul. 2021a.

EPE. **Planejamento da Geração: Geração Eólica e Fotovoltaica -Dados de entrada para modelos elétricos e energéticos metodologias e premissas**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-dados-de-entrada-para-modelos-eletricos-e-energeticos-metodologias-e-premissas-versao-r1>>. Acesso em: 14 jan. 2022b.

GARCIA, A. G. P. **Leilão de Eficiência Energética no Brasil**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ), Rio de Janeiro, 2008.

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

MME; EPE. **Solar Fotovoltaica Flutuante - Aspectos Tecnológicos e Ambientais Relevantes ao Planejamento**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-466/NT_Solar_Fotovoltaica_Flutuante.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

MME. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

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>.

ONS. **Operador Nacional do Sistema**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 17 jul. 2021a.

ONS. **Sistemas isolados**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>>. Acesso em: 17 jun. 2021b.

ONS. **Avaliação das Condições de Atendimento Eletroenergético do Sistema Interligado Nacional - Estudo Prospectivo Outubro de 2021 a Abril de 2022**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/NT-ONS_DGL_0136-2021_-_Estudo_Prospectivo_Outubro-Abril.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2022c.

ONU. **Acordo de Paris**. Disponível em: <<https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/ODS/undp-br-ods-ParisAgreement.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2021.

SAUSEN, P. S. et al. Proposal for a Methodology Based on Electricity Consumption to Analyze Social Isolation During a COVID-19 Pandemic: Case Study. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 6, p. 909–916, jun. 2021. D.O.I.:10.1109/TLA.2021.9451235

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adquisição de dados 41

Amortecimento 84, 85, 87, 89, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 100

Ar 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 60

Arma 1, 2, 4, 6, 9, 10, 11, 12

Avaliação 6, 13, 27, 59, 67, 84, 89, 95, 119, 120, 123, 124

C

Controladores 80, 92, 93, 100

Controle 3, 6, 7, 8, 21, 24, 25, 40, 59, 68, 69, 70, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 93, 95, 99, 101, 118

Conversor CC-CC Cuk 102, 104, 106, 111, 114

Curso de graduação 117, 119

D

Desvios vocais 1, 2

Detecção 1, 2, 12, 13

E

Emulador 102, 104, 105, 114

Energias renováveis 57, 61, 65

Ensino remoto 117, 118, 119, 120, 124, 126

Estabilidade 65, 84, 85, 92, 105

Expansão da geração de energia 56, 57, 65

F

Fator de potência 68, 69, 73, 77, 80, 82

I

Ímãs permanentes 68, 74, 78, 81, 82, 83

J

Jogos digitais 15, 16, 18, 19, 25

K

K-nearest neighbor 1, 2, 5

M

Margem de carga 84, 85, 89, 90, 91

Metodologia avaliativa 117, 119

Metodologias ativas 15

Métodos diretos 84, 85

Modelagem computacional 27

Motor síncrono 68, 78, 82

O

Otimização 13, 39, 58, 65, 84, 85, 86, 88, 91, 92, 93, 95, 96, 97

P

Pandemia 59, 60, 117, 118, 120, 124, 126

Penetração do cordão de solda 40, 41

Pequenos sinais 68, 69, 72, 73, 82, 84, 92

Procesamento de imagen 41

Prototipagem virtual 27

R

Realidade virtual 16, 27

Resistência 110, 121, 122

Robótica móvel 15

S

Scratch 14, 15, 19, 20, 24, 25

Segurança dinâmica 84, 87, 89

Sistema elétrico brasileiro 56, 57, 58, 62

Sistemas multienergia 57, 65

T

Tensão 68, 69, 70, 71, 73, 76, 78, 80, 81, 82, 84, 89, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 118

Termografia infravermelha 41

Traçador de curvas 102, 104, 108, 109, 110, 111, 114

Treinamento 9, 17, 27

U

Unidade de medição fasorial 92

The background of the entire page is a white-to-light-gray gradient with a complex, black line-art pattern of a circuit board. The lines represent traces, pads, and vias, creating a dense, interconnected network that fills the space.

Atena
Editora
Ano 2022

ELECTRICAL ENGINEERING: PERSPECTIVE AND TENDENCY

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Atena
Editora
Ano 2022

ELECTRICAL ENGINEERING: PERSPECTIVE AND TENDENCY

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 