

Energias renováveis: investigação sobre contribuições para o suprimento energético brasileiro

Renewable energies: research into contributions to Brazil's energy supply

Energías renovables: investigación sobre la contribución al abastecimiento energético de Brasil

Tales Renato de Lima Antônio¹
Cláudia Eliane da Matta²

Resumo: O objetivo deste artigo é investigar a contribuição das energias renováveis para o suprimento energético brasileiro. Assim, busca-se responder ao seguinte questionamento: quais são as fontes de energias renováveis no Brasil e onde estão localizadas? Trata-se de uma pesquisa exploratória, com abordagem quantitativa, que utilizou dados do parque gerador nacional para o mapeamento das unidades geradoras de energia limpa no Brasil, utilizando um *software* livre. Os resultados revelam que as fontes renováveis brasileiras com projetos em operação são: eólica, hidráulica, solar e bioenergia. Ressalta-se o papel de destaque da energia hidráulica no contexto energético brasileiro e a crescente penetração da energia eólica e solar. Desta forma, foi possível compreender o contexto e as contribuições das energias renováveis no país.

Palavras-chave: Brasil. Energias Renováveis. Mapeamento.

Abstract: This article aims to investigate the contribution of renewable energies to Brazil's energy supply. It seeks to address the following question: what are the renewable energy sources in Brazil and where are they located? It is an exploratory research with a quantitative approach, using data from the national generating park to map clean energy generating units in Brazil, utilizing open-source software. The results reveal that Brazil's renewable energy sources in operation include wind, hydropower, solar, and bioenergy. The prominent role of hydropower in the Brazilian energy context and the increasing penetration of wind and solar energy are emphasized. Thus, understanding the context and contributions of renewable energies in the country was made possible.

Keywords: Brazil. Renewable energies. Mapping.

Resumen: Este artículo tiene como objetivo investigar la contribución de las energías renovables al suministro energético de Brasil. Así, busca responder a la pregunta: ¿cuáles son las fuentes de energía renovable en Brasil y dónde se encuentran? Es una investigación exploratoria con enfoque cuantitativo, utilizando datos del parque generador nacional para mapear las unidades generadoras de energía limpia en Brasil, mediante un software libre. Los resultados revelan que las fuentes renovables brasileñas en funcionamiento son: eólica, hidráulica, solar y bioenergía. Se destaca el papel prominente de la energía hidráulica en el contexto energético brasileño y la creciente penetración de la energía eólica y solar. Así, se logró comprender el contexto y las contribuciones de las energías renovables en el país.

Palabras-clave: Brasil. Energías renovables. Cartografía.

Submetido 04/03/2024

Aceito 16/09/2024

Publicado 07/11/2024

¹Graduando em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Itajubá. <https://orcid.org/0009-0001-8057-8958>. E-mail: d2022006640@unifei.edu.br

² Doutora. Universidade Federal de Itajubá. <https://orcid.org/0000-0002-8939-3597>. E-mail: claudia.matta@unifei.edu.br.

Considerações Iniciais

Esta pesquisa é fruto de uma iniciação científica e insere-se no contexto da geração de energias renováveis, que ganham cada vez mais relevância nos debates promovidos pelas Nações Unidas, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que destacam a importância de soluções energéticas sustentáveis.

Os ODS são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e prosperidade (United Nations, 2022). São 17 objetivos estabelecidos em 2015 pela Assembleia Geral das Nações Unidas para a Agenda 2030. Entre eles, o Objetivo 7 visa a promoção de energia limpa e acessível, com a meta de assegurar, até 2030, o acesso universal a serviços de energia confiáveis, sustentáveis, modernos e a preços acessíveis. Para isso, inclui o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética, a melhoria da eficiência energética, o fortalecimento da cooperação internacional em tecnologias limpas, e a modernização da infraestrutura de energia nos países em desenvolvimento (United Nations, 2022).

A utilização de fontes alternativas de energia se torna ainda mais crucial quando consideramos que o setor de produção de energia é responsável por quase 75% das emissões globais de dióxido de carbono, contribuindo diretamente para o aumento dos gases de efeito estufa e o aquecimento global (Elavarasan et al., 2020).

Nesse contexto, as fontes de energia renováveis surgem como uma alternativa viável à dependência de combustíveis fósseis, uma vez que a geração a partir das fontes tradicionais de energia tem acelerado as mudanças climáticas ao aumentar as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, as fontes de energias renováveis são vistas como soluções ecológicas e sustentáveis no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, pois não produzem poluentes durante sua geração, minimizando assim o impacto ambiental (Rutkowska; Bartoszczuk; Singh, 2021).

Diante disso, é fundamental buscar soluções que promovam um futuro mais sustentável e verde (Goldthau; Tagliapietra, 2022). Nesse sentido, surge o seguinte questionamento: quais são as fontes de energias renováveis no Brasil e onde estão localizadas? O objeto deste artigo é apresentar o mapeamento dos projetos de energias renováveis e investigar qual o percentual de consumo de energia atendido por essas fontes no contexto brasileiro.

Desse modo, diante da problemática abordada, a contribuição deste trabalho é oferecer uma análise da questão energética atual, ressaltando o papel vital das energias renováveis para o desenvolvimento econômico, o acesso a serviços essenciais, o avanço tecnológico e a sustentabilidade ambiental.

Referencial

A indústria de energia elétrica é fundamental para a economia, sendo essencial para o desenvolvimento de outros setores, como indústrias, comércios, serviços e transportes, além de impactar diretamente a qualidade de vida da população. Em um contexto moderno, aumentar a eficiência da indústria de energia e reduzir os custos de recursos para geração de energia, incluindo a redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, tornou-se uma questão urgente (Kapitonov et al., 2020).

Nesse cenário, as fontes de energias renováveis emergem como uma solução estratégica. Além de resultarem em menos impactos negativos ao meio ambiente, essas fontes aumentam a diversidade de combustíveis, garantem estabilidade no abastecimento de energia e promovem o desenvolvimento econômico regional, tornando-se fundamentais para uma transição energética sustentável (Lin; Ren, 2020).

Embora as energias renováveis sejam abundantes na natureza e causam menos danos ao meio ambiente, é essencial reconhecer que elas não estão isentas de desafios (Yürek et al., 2021). A dependência de fatores externos, como localização geográfica e condições climáticas, podem influenciar significativamente o desempenho dessas fontes, variando entre diferentes regiões (Ang et al., 2022). Além disso, a necessidade de infraestrutura adequada e de tecnologias avançadas para armazenamento e distribuição de energia representa outro obstáculo a ser superado para garantir um fornecimento estável e contínuo (Muruganatham; Gnanadass; Padhy, 2017).

A quantidade e a heterogeneidade de geração e consumo de energia têm aumentado drasticamente ao longo dos anos. Isso tem impactado o setor de energia, trazendo novos desafios para as principais partes interessadas. Esses desafios envolvem cinco dimensões, conforme apontado pelos autores (Ahl et al., 2022): (1) tecnológica, (2) econômica, (3) social, (4) ambiental e (5) institucional.

A dimensão tecnológica envolve questões técnicas ao nível das redes, bem como dos sistemas de gestão de energia e infraestrutura da rede elétrica (Kapitonov et al., 2020). A dimensão econômica envolve questões relacionadas aos mecanismos de mercado, bem como aos modelos de negócios e contratos inteligentes. A dimensão social envolve amplamente incentivos socioeconômicos, gestão das partes interessadas e envolvimento da comunidade (Ahl et al., 2019). A dimensão ambiental envolve questões de redução de emissões de CO₂, autossuficiência energética e impacto do ciclo de vida da infraestrutura e dos equipamentos da rede (Abu-Rayash; Dincer, 2019). A dimensão institucional envolve amplamente questões de política de mercado de energia, códigos de rede e mecanismos para o desenvolvimento institucional (Wagner; Götz, 2021).

Apesar desses desafios, a substituição das fontes convencionais de energia por alternativas sustentáveis é necessária não apenas pela necessidade de diversificar a matriz energética (Anjos, 2019), mas também pela urgência em reduzir o nível de emissão de substâncias nocivas na atmosfera da Terra, resultantes dos processos de obtenção dos recursos necessários para a atividade de sustentação da vida das pessoas (Konyuhov et al., 2019).

Diante disso, convém destacar algumas das principais fontes de energias renováveis, como a solar, eólica, hidráulica e bioenergia, descritas brevemente a seguir.

A produção de energia solar tem o potencial de contribuir significativamente para a gestão de energia sustentável, sendo possível produzir energia verde, livre de dióxido de carbono e de resíduos por várias décadas (Zsiborács et al., 2020). Desta forma, por ser a fonte de energia renovável mais abundante, presente na Terra em diversas formas, como calor e luz, e por ser praticamente inesgotável, a energia solar se destaca como uma das melhores opções para o futuro (Kannan; Vakeesan, 2016).

A energia eólica tem se destacado como uma das principais fontes de energias renováveis nos últimos anos. Globalmente, ela representa mais de 19,1% (ou 622.408 MW) da capacidade instalada de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, contribuindo significativamente para o fornecimento energético mundial (Zare et al., 2022). Apesar disso, a energia eólica enfrenta desafios, como a variabilidade dos ventos e a incerteza na geração de energia. A produção de eletricidade eólica pode flutuar ao longo do tempo devido a mudanças nas condições meteorológicas, o que pode dificultar a previsibilidade e a estabilidade do

fornecimento. Além disso, o impacto visual e o ruído gerado pelas turbinas eólicas podem ser fontes de controvérsia, especialmente em áreas habitadas (Alharbi; Csala, 2020).

Atualmente, a bioenergia é a mais versátil entre as fontes de energia renováveis e fornece mais energia do que a energia eólica, hidráulica, solar e geotérmica juntas (Thrän et al., 2020). Ela pode ser gerada a partir de biomassa agrícola e florestal, bem como de resíduos biogênicos e fluxos de resíduos orgânicos, e pode ser processada em biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos e, por fim, usada nos setores de aquecimento, energia e transporte.

Produtos de base biológica, como a bioeletricidade e os biocombustíveis, são o resultado direto da conversão de resíduos agrícolas e florestais a partir de processos básicos bioquímicos, químicos e termoquímicos (Razm et al., 2021). Desta forma, a biomassa, matéria orgânica utilizada com a finalidade de produzir energia, se cultivada de forma sustentável, pode desempenhar um papel importante como matéria-prima na produção de bioenergia, visto que, essa fonte energética representa uma das alternativas para substituir os combustíveis fósseis e possibilitar a descarbonização dos setores de transporte aéreo, rodoviário e marítimo (Khawaja et al., 2021). A produção de biomassa e o abastecimento estão intimamente relacionados ao uso da terra e interagem mais diretamente com os meios de subsistência humanos do que qualquer outra tecnologia de energia renovável (Röder; Mohr; Liu, 2020).

A energia hidráulica é frequentemente vista como uma forma mais limpa e sustentável para enfrentar os desafios das mudanças climáticas. Além disso, ela se desenvolveu rapidamente em todo o mundo nos últimos 140 anos e representa a maior fonte mundial de eletricidade renovável (Liu et al., 2021). No entanto, apesar de as usinas hidrelétricas produzirem menos gases de efeito estufa do que a produção de energia baseada em combustíveis fósseis, devido à sua grande escala, a construção dessas usinas induz alterações hidrológicas, que podem gerar impactos negativos na vida aquática, degradação e perda de habitat, poluição dos recursos hídricos, inundações, interferência de infraestrutura e impactos agrícolas. Além disso, a execução de um projeto de hidrelétrica afeta os três pilares da sustentabilidade (ambiental, econômico e social), todos os quais devem ser considerados durante a implementação (Lopes et al., 2022).

Além dessas fontes de energia, o hidrogênio é considerado um combustível promissor capaz de atender aos requisitos de mobilidade verde e limpa. O armazenamento químico de energia na forma de hidrogênio é aceito como um método de armazenamento de energia viável

e eficaz que oferece fácil transporte e distribuição, conversão eficaz e nenhuma emissão prejudicial após a utilização (Karaca; Dincer, 2022). Adicionalmente, o hidrogênio pode ser convertido em eletricidade por meio de células de combustível e vice-versa a partir de eletrolisadores, emitindo apenas calor e água como subprodutos. Isso pode ser visto como uma referência para a futura infraestrutura de energia sustentável (Karaca; Dincer, 2022).

Outro ponto importante nesta pesquisa de iniciação científica foi a confecção de mapas e gráficos, visto que esses recursos podem desempenhar um papel relevante na geração de ideias e hipóteses para um trabalho científico e são úteis como parte de análises para avaliar os resultados do modelo (Brewer, 2006).

O mapeamento é uma forma relevante de identificação, análise e implementação eficaz das energias renováveis. Utilizando técnicas específicas, como a análise espacial de dados de energia com modelagem de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível visualizar e compreender a distribuição dessas fontes de energia em diferentes regiões (Quan; Bansal, 2021).

Metodologia

Esta é uma pesquisa exploratória, de abordagem quantitativa, que tem como finalidade elucidar as contribuições das fontes de energia renovável para o suprimento energético brasileiro, para tanto buscou realizar o mapeamento dos projetos de energias renováveis no Brasil. A pesquisa exploratória, apresenta menor rigidez no planejamento, pois são planejadas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato (Gil, 2022). Na abordagem quantitativa, lidamos com fatos, ou seja, qualquer evento que possa ser considerado objetivo e mensurável (Appolinário, 2016).

Para o mapeamento, foi escolhido o *Quantum Geographic Information System* (QGIS), um sistema de informações geográficas gratuito e de código aberto que oferece suporte à visualização, edição e análise de dados geoespaciais. O sistema fornece uma infraestrutura para criar mapas e buscar informações geográficas a partir de um banco de dados geográficos.

A coleta de dados sobre os empreendimentos em operação no Brasil foi obtida pelo Sistema de Informações de Geração de dados abertos da Agência Brasileira de Energia Elétrica (ANEEL, 2024). A ANEEL é uma instituição vinculada ao governo brasileiro responsável pela regulação e fiscalização do setor elétrico no país que desempenha um papel no setor energético

do Brasil. Além disso, a aquisição do mapa das unidades federativas do Brasil foi realizada no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e inserido no QGIS para o desenvolvimento do trabalho.

Para selecionar os dados, restringimos as informações para identificar os projetos em operação de energia solar, eólica, hidráulica e biomassa no contexto brasileiro, a fim de mapear a distribuição das instalações, bem como a potência fiscalizada gerada nos estados do Brasil, visando compreender a contribuição de cada fonte à matriz energética nacional.

Com isso, o mapeamento das localizações dos empreendimentos foi realizado utilizando o Sistema Geodésico de Referência oficial do País (SIRGAS2000). Esse sistema permitiu a criação de um mapa de pontos que incorpora dados sobre a latitude e longitude dos locais de geração das fontes de energia. Assim, as localizações dos empreendimentos foram representadas por pontos no mapa do Brasil.

O mapeamento do potencial das energias renováveis usando dados geoespaciais auxilia na tomada estratégica de decisões. Isso inclui a escolha de locais ideais para projetos de energia, considerando fatores como irradiação solar, velocidade do vento, topografia e disponibilidade de recursos hídricos. Além disso, permite estimar a capacidade de geração de energia em diferentes regiões, contribuindo para o planejamento sustentável de energia (Ramachandra; Shruthi, 2005).

Além disso, no que se refere ao mapeamento da potência elétrica gerada por cada fonte renovável nas instalações em diferentes estados brasileiros, a abordagem adotada envolveu a utilização da potência elétrica fiscalizada. Essa medida refere-se à potência elétrica total instalada em um estabelecimento ou instalação que está sujeita a fiscalização por parte das autoridades competentes.

Desta forma, foram elaborados mapas de potência utilizando um gradiente de cores, nos quais as tonalidades mais escuras indicam uma maior concentração de potência elétrica fiscalizada. A potência de cada estado reflete a soma da geração elétrica de todas as instalações localizadas dentro dos limites dessa unidade federativa.

Análise dos Dados e Resultados

Esta seção expõe os resultados da investigação do mapeamento proposto pela pesquisa. Ademais, são apresentadas as análises pertinentes aos resultados encontrados.

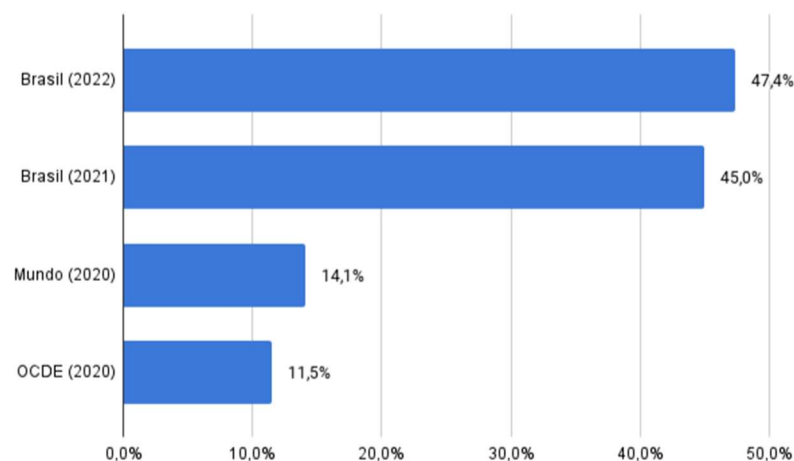
Mapeamento das Fontes de Energia Renovável no Brasil

O relatório anual do Balanço Energético Nacional (BEN) (2023), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023b), apresenta a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil. De acordo com esse relatório, em 2022, a oferta interna de energia (total de energia disponibilizada no país) atingiu 303,1 Mtep, registrando um recuo de 0,03% em relação ao ano anterior.

A participação de renováveis na matriz energética foi marcada pelo aumento da oferta de energia hidráulica associada à melhoria do regime hídrico e à redução do uso das usinas termelétricas a partir de combustíveis fósseis como gás natural, carvão e derivados de petróleo.

Adicionalmente, associado à expansão da fonte hidráulica, o incremento das fontes eólica e solar na geração de energia elétrica (perda zero), assim como de outras renováveis como lixívia, biogás e outras biomassas, contribuíram para que a matriz energética brasileira se mantivesse em um patamar renovável de 47,4%, muito superior ao observado no resto do mundo, conforme pode-se observar no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Participação das energias renováveis na oferta interna de energia em 2022.



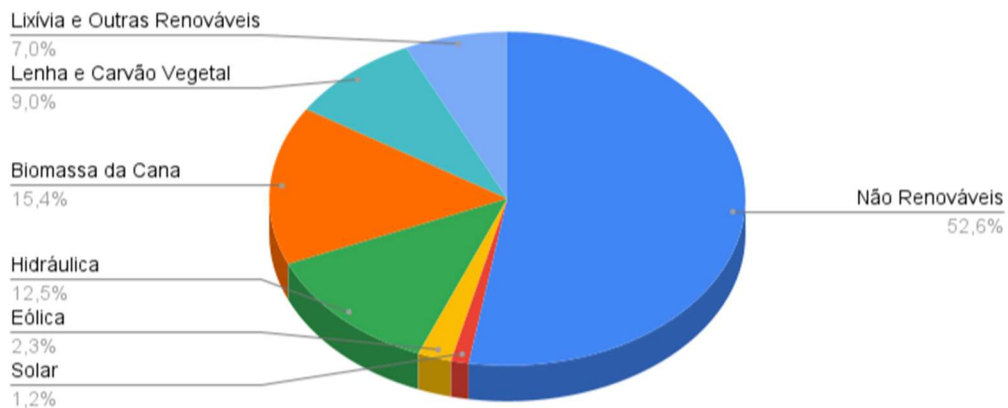
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023b).

A repartição da oferta de energia no Brasil está dividida entre fontes renováveis e não renováveis, correspondendo a 47,4% e 52,6%, respectivamente. Observamos que, dentre as

fontes de energia renovável destacam-se a lenha e o carvão vegetal (9,0%), a biomassa de cana (15,4%), a hidráulica (12,5%), a eólica (2,3%) e a solar (1,2%), que são as fontes de energia mais utilizadas no país, conforme o Gráfico 2.

Esse panorama reflete a diversidade da matriz energética brasileira, que, apesar de contar com uma significativa participação de energias renováveis, ainda depende fortemente de fontes não renováveis, como petróleo e gás natural. O uso predominante de biomassa de cana-de-açúcar está relacionado ao histórico do país na produção de etanol, enquanto a energia hidráulica tem sido um pilar fundamental na geração de eletricidade.

Gráfico 2 - Repartição da Oferta Interna de Energia (OIE) 2023.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023b).

Convém ressaltar que a energia hidráulica inclui a importação de eletricidade (Empresa de Pesquisa Energética, 2023b).

A capacidade instalada refere-se à quantidade máxima de potência nominal (MW) das instalações. Em 2022, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 206.451 MW, acréscimo de 15.877 MW em relação ao ano anterior, incluindo a mini e microgeração (Empresa de Pesquisa Energética, 2023b). A capacidade instalada em 2022 apresentou um aumento de 8,3% em relação a 2021 com destaques para a energia eólica e solar (Empresa de Pesquisa Energética, 2023b).

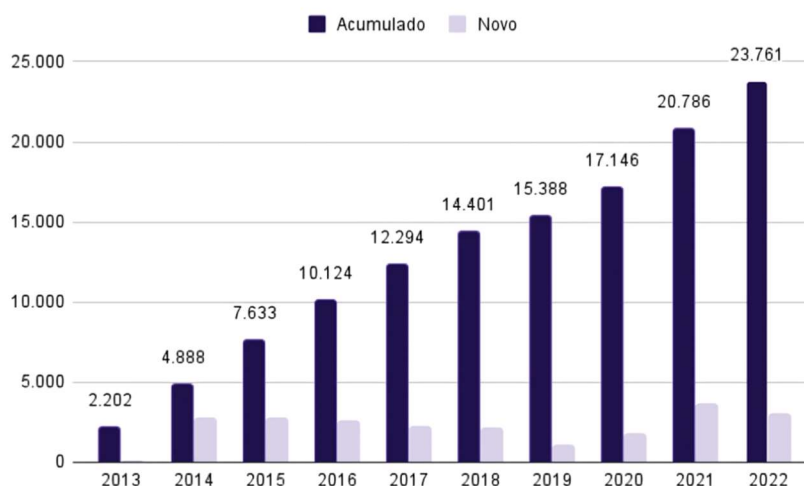
Assim, visando entender o contexto em que as energias renováveis estão inseridas no Brasil, este estudo se ateve em mapear os projetos de energia eólica, hidráulica, solar, biomassa em funcionamento no país.

Energia Eólica

O Brasil apresenta condições geográficas favoráveis em termos de velocidade de seus ventos para a produção de energia eólica, com destaque para as Regiões Nordeste e Sul do país, conforme aponta o relatório produzido pela Associação Brasileira de Energia Eólica (Oliveira *et al.*, 2020).

Apesar dos obstáculos enfrentados pela indústria de geração de energia eólica, observamos, nos últimos anos, um avanço notável. Em 2022, a capacidade instalada para a geração eólica no país registrou um aumento de 14,3%, alcançando a marca de 23,761 MW na geração de energia eólica. A partir do Gráfico 3 é possível verificar este aumento da capacidade instalada, em MW, bem como a evolução de 2013 a 2022.

Gráfico 3 - Evolução da capacidade instalada de energia eólica em MW.



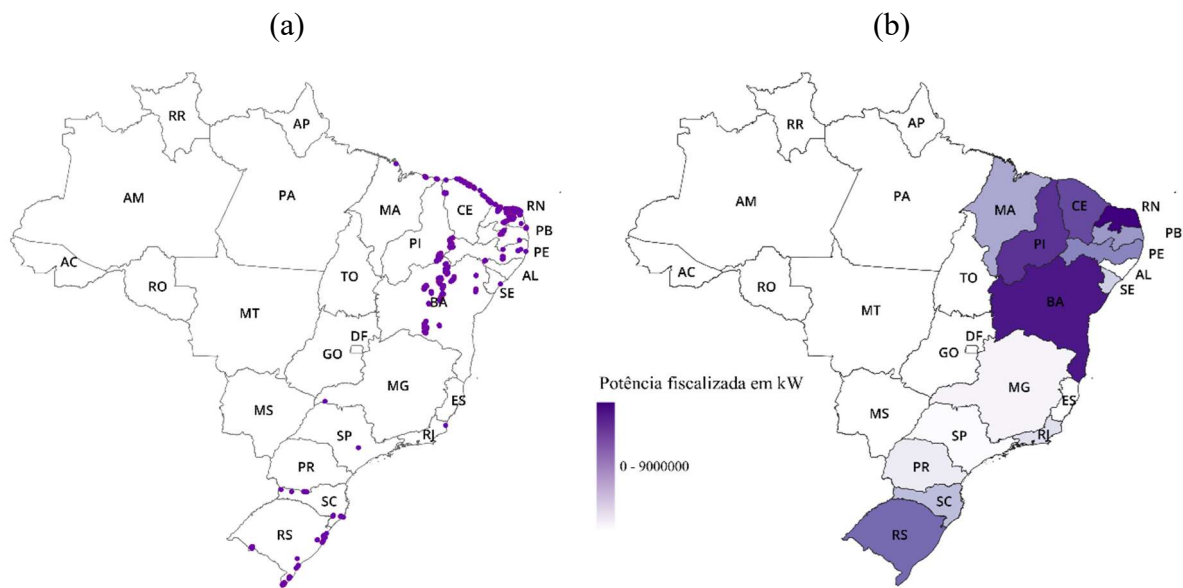
Fonte: Autoria própria (2024), a partir de dados obtidos da EPE (2023a).

Além disso, ao analisarmos este gráfico, notamos que a potência inserida ao sistema de geração do país a cada ano é destacada como "Novo", representada pelo tom mais claro na imagem, assim como a quantidade acumulada ao longo dos anos, em roxo. Esse gráfico torna-

se uma ferramenta para examinar o crescimento anual da energia eólica e a capacidade de produção acumulada ao longo do período indicado, facilitando a visualização dos recursos disponíveis e seu gerenciamento.

Tendo em vista o avanço da energia eólica no cenário brasileiro, tem-se o mapeamento dos empreendimentos desta fonte renovável no país, visando entender sua contribuição para a matriz energética nacional a partir da construção de mapas que demonstram a localização dos pontos de geração no Brasil, bem como a distribuição de potência elétrica fiscalizada em cada unidade federal. Estas informações estão contidas nas Figuras 3 (a) e (b).

Figura 3 – Energia eólica: (a) Projetos em operação nos estados brasileiros e (b) Geração de potência elétrica fiscalizada em kW por UF.



Fonte: Autoria própria (2024), a partir de dados obtidos do SIGA (Agência Brasileira de Energia Elétrica, 2024).

De acordo com os dados utilizados, existem 1.008 empreendimentos em operação no país, com uma potência fiscalizada total de 28.664.421 kW. Assim, conforme as Figuras 3 (a) e (b), percebe-se que, nos estados brasileiros, as localizações dos projetos de energia eólica distribuem-se nos Estados da região Nordeste, em sua maioria, seguidos das regiões Sul (Rio Grande do Sul e Santa Catarina) e Sudeste, com destaques significativos.

Ademais, é visível que nas regiões Nordeste e Sul concentram-se a maioria dos parques eólicos devido às condições favoráveis de vento. Estados como Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Piauí se destacam como grandes produtores de energia eólica no país, com as maiores contribuições para a geração de energia eólica do país.

Energia Solar

A energia solar é obtida por meio de módulos fotovoltaicos com a função de captar a energia do sol e transformá-la em energia elétrica, aumentando a geração de energia solar nas regiões com maior captação de energia luminosa (Nascimento; Trindade; Carvalho, 2021). A irradiação solar captada de forma inclinada em todas as capitais brasileiras apresenta valores que variam entre 4,9 kWh/m²/dia e 6 kWh/m²/dia, o que representa uma alta uniformidade de irradiação solar no território nacional (Moreira Júnior; Souza, 2020).

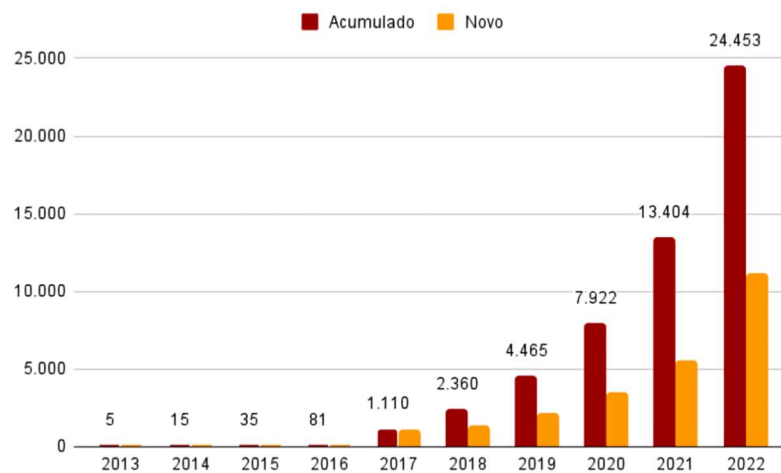
A produção de energia elétrica a partir de um sistema fotovoltaico pode ser utilizada de forma isolada (também chamado de sistemas fotovoltaicos autônomos) ou conectada à rede pública de energia (denominado sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica). No primeiro caso, a energia elétrica produzida é armazenada em baterias para posteriormente ser utilizada. No segundo caso, a energia elétrica gerada é lançada diretamente na rede pública de energia, podendo ser utilizada tanto para reduzir o consumo de energia elétrica, proveniente da concessionária, quanto para gerar excedente de energia (Oliveira; Araújo Filho, 2021).

No Brasil, a energia solar apresentou uma evolução no setor energético nos últimos anos, em 2022, a capacidade instalada para geração energia solar no país expandiu 82,4%. O Gráfico 4 mostra a evolução da capacidade instalada, em MW de 2013 a 2022. Vale salientar que neste gráfico a potência inserida no sistema está representada pela barra laranja, indicada por “Novo”, enquanto a potência acumulada anualmente é indicada pela barra vermelha, identificada como “Acumulado”.

Os desafios para uso de energia solar são: alto custo devido à tecnologia atual, geração de resíduos durante a produção de painéis fotovoltaicos, a necessidade de baterias para armazenar a energia gerada durante o dia (pois não pode ser produzida durante a noite devido à indisponibilidade de luz solar) e a baixa geração de energia durante dias nublados (Abid *et al.*, 2023). Além disso, vários fatores ecológicos, como condições de sombreamento parcial,

gotas de água, acúmulo de poeira, excrementos de pássaros, reduzem significativamente a eficiência dos sistemas de geração de energia fotovoltaica (Moore-O’Leary *et al.*, 2017).

Gráfico 4 - Evolução da capacidade instalada da energia solar em MW.



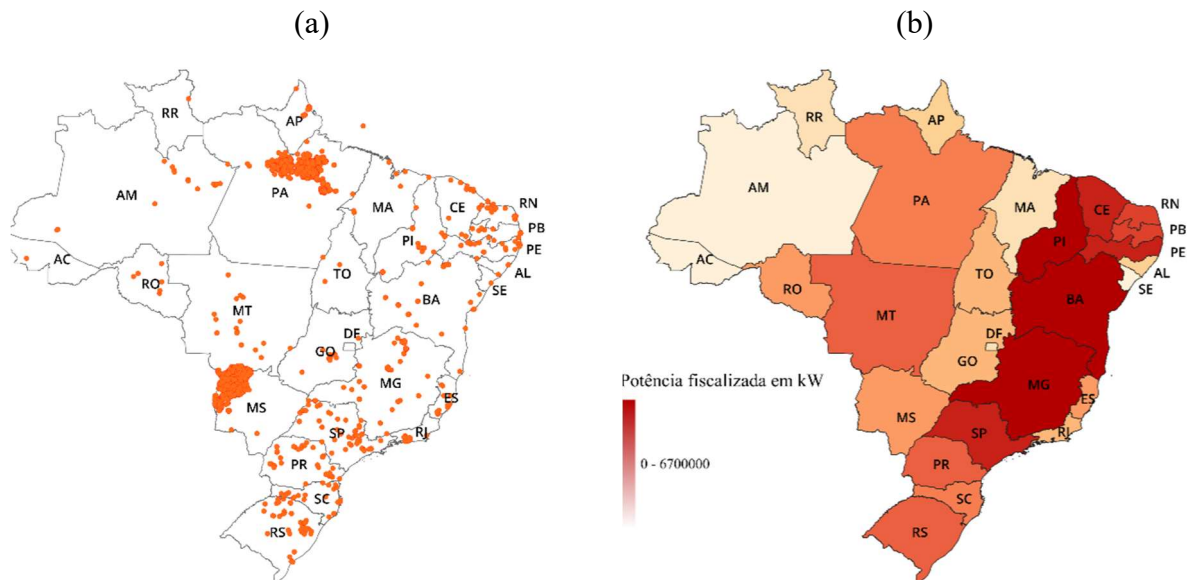
Fonte: Autoria própria (2024), a partir de dados obtidos da EPE (2023a).

Apesar dos desafios apontados, observa-se que os sistemas solares fotovoltaicos apresentam diversas vantagens em relação às fontes tradicionais de energia. A Figura 4 ilustra a distribuição da energia fotovoltaica no Brasil.

Assim, conforme a Figura 4 (a), nota-se a presença de empreendimentos de energia solar em grande parte dos estados brasileiros. No entanto, é evidente que os estados do Pará e Mato Grosso do Sul possuem o maior número de instalações de geração.

Além disso, conforme a Figura 4 (b), observa-se que a distribuição da potência gerada por essa fonte de energia está concentrada nos estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte. Na região Sudeste, destacam-se os estados de Minas Gerais e São Paulo pela sua capacidade instalada de energia solar.

Figura 4 – Energia fotovoltaica: (a) Projetos em operação nos estados brasileiros e (b) Geração de potência elétrica fiscalizada em kW por UF.



Fonte: Autoria própria (2024), a partir de dados obtidos do SIGA (Agência Brasileira de Energia Elétrica, 2024).

Ressalta-se que durante a construção dos mapas, observamos que, de acordo com os dados utilizados, existem 16.630 empreendimentos de energia solar em operação distribuídos pelos estados do Brasil em 2024. Além disso, essas instalações somam uma potência fiscalizada total de 11.473.962 kW.

Bioenergia

O potencial de bioenergia de um país é definido pela disponibilidade de recursos naturais, bem como pela experiência e capacidade gerencial para organizar uma cadeia de suprimento de biomassa confiável e sustentável e gerar serviços de energia. São necessários arranjos institucionais e técnicos para desenvolver a demanda e favorecer a formação de mercados de biocombustíveis, criando assim a base para sistemas de bioenergia modernos e eficientes (Silveira; Andersson; Lebedys, 2006).

Neste contexto, a importância do Brasil no mercado global de biomassa é crucial devido à sua extensa produção agrícola, especialmente de culturas como a cana-de-açúcar, uma fonte essencial para a indústria de bioetanol. Além disso, o país possui vastas áreas de savanas aráveis, o que o coloca em uma posição favorável para expandir a produção dessas matérias-primas sem ameaçar o desmatamento. O setor agrícola brasileiro também representa uma fonte significativa de resíduos e matérias-primas para a indústria de bioenergia (Welfle, 2017).

Os recursos de biomassa no Brasil são abundantes e projetados para crescer continuamente até 2030. As plantações e as matérias-primas para biocombustíveis são a categoria principal de recursos de biomassa (Welfle, 2017); no entanto, uma das principais preocupações de sustentabilidade relacionadas com a crescente procura de bioenergia refere-se aos impactos do cultivo em larga escala de matérias-primas para biocombustíveis na biodiversidade (Immerzeel *et al.*, 2014).

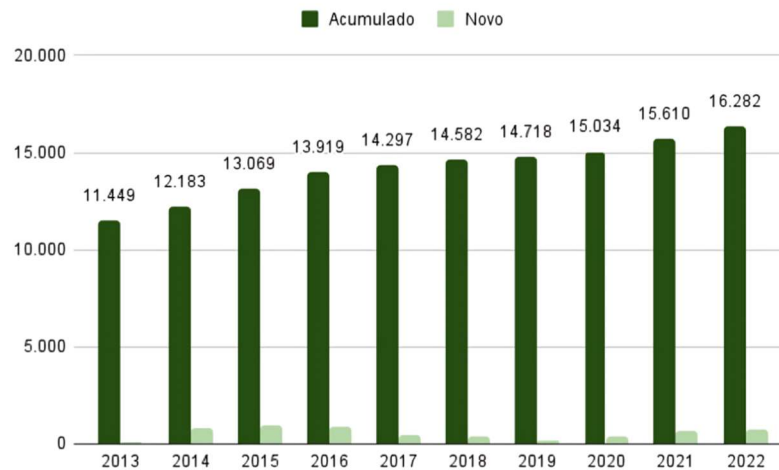
A utilização de biomassa como matéria-prima bioenergética pode afetar a biodiversidade através de uma variedade de forças motrizes, incluindo alterações no uso da terra, sobre-exploração, poluição, espécies invasoras e alterações climáticas (Repo *et al.*, 2012). Devido a isso, é importante conciliar a expansão dos biocombustíveis com a conservação da biodiversidade para mitigar os impactos negativos do cultivo de matérias-primas para biocombustíveis na biodiversidade e para promover os benefícios da biodiversidade (Immerzeel *et al.*, 2014).

Segundo o Balanço Energético Nacional (Empresa de Pesquisa Energética, 2023b), a bioeletricidade atingiu 8,2% de participação na geração de eletricidade em 2022, sendo composta majoritariamente por bagaço de cana e lixívia.

O Gráfico 5 representa a capacidade instalada da bioenergia no Brasil, apresentando a potência acumulada e inserida em cada ano de 2013 até 2022. No gráfico, a barra verde-claro representa a potência máxima adicionada anualmente ao sistema, identificado como “Novo”, e, a barra verde-escuro, a potência acumulada durante o período indicado, identificado como “Acumulado”.

É importante destacar que, conforme os dados utilizados para a construção do Gráfico 5, a biomassa considerada inclui bagaço de cana, carvão vegetal, gás de alto-forno proveniente de biomassa, lixívia e lenha.

Gráfico 5 - Evolução da capacidade instalada da bioenergia em MW.



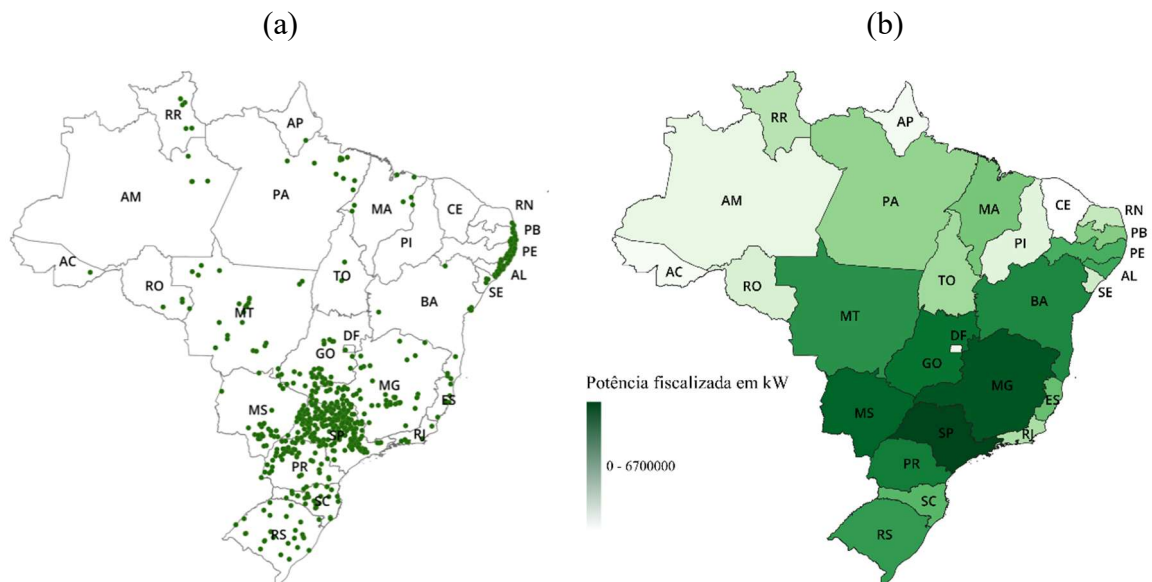
Fonte: Autoria própria (2024), a partir de dados obtidos da EPE (2023a).

Além disso, nota-se que a tendência de crescimento da bioenergia é inferior em comparação com as energias solar e eólica. No entanto, a capacidade dessa fonte renovável coloca o Brasil como uma potência global na produção de matérias-primas para biocombustíveis, com um considerável potencial para ampliar ainda mais seus níveis de produtividade (Welfle, 2017). Assim, foi realizado o mapeamento dos empreendimentos de bioenergia no Brasil, bem como a distribuição de potência elétrica desta fonte de energia nos estados brasileiros, conforme Figuras 5 (a) e (b).

Com base nos dados empregados na elaboração das imagens, existem 638 empreendimentos de bioenergia no Brasil, com uma potência fiscalizada de 16.783.314 kW.

Ao analisarmos o mapa apresentado na Figura 5 (a), notamos que os empreendimentos de bioenergia estão predominantemente concentrados na região Sudeste, com São Paulo liderando como o estado que possui o maior número de pontos de geração no país, seguido por Minas Gerais. Nas demais regiões, a Centro-Oeste e Sul destacam-se como as principais áreas com empreendimentos de bioenergia, enquanto o Norte e Nordeste apresentam menor representatividade na geração dessa fonte de energia.

Figura 5 – Bioenergia: (a) Projetos em operação nos estados brasileiros e (b) Geração de potência elétrica fiscalizada em kW por UF.



Fonte: Autoria própria (2024), a partir de dados obtidos do SIGA (Agência Brasileira de Energia Elétrica, 2024).

Ao examinarmos o mapa da Figura 5 (b), constatamos que o Sudeste desempenha um papel crucial na geração de potência elétrica por meio de bioenergia no Brasil, destacando-se na matriz energética nacional para essa fonte.

Energia Hidráulica

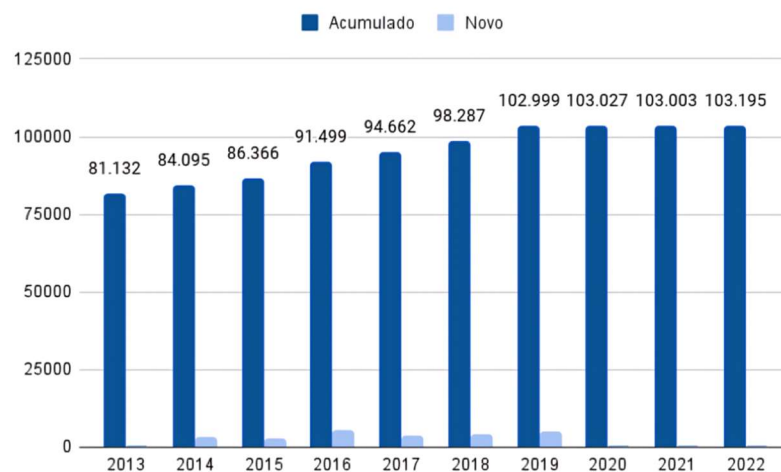
A geração de energia hidráulica é o recurso de energia renovável mais amplamente utilizado no mundo. Sua produção está altamente conectada com as demandas de consumo para a produção de alimentos e o abastecimento municipal de água. Com as crescentes exigências e a modificação do clima atual, poderá surgir uma pressão crescente na produção de energia hidráulica e causar alterações importantes na gestão da água, particularmente durante a ocorrência de secas prolongadas (Silva *et al.*, 2021).

O Brasil é o maior produtor de energia elétrica da América Latina, gerando aproximadamente 50% do abastecimento total do continente sul-americano. Estima-se que até 2027 o país alcance uma produção de energia elétrica equivalente a 796 TWh, sendo a maior

parte proveniente de fontes hidrelétricas. Inicialmente, as usinas hidrelétricas eram construídas próximas aos principais centros consumidores da região Sudeste. No entanto, ao longo do desenvolvimento histórico do setor, os empreendimentos se expandiram para regiões cada vez mais distantes, resultando na consolidação de um extenso sistema interligado de redes de transmissão (Catolico *et al.*, 2021). O Gráfico 6 apresenta a evolução da capacidade instalada da energia hidráulica no país de 2013 a 2022.

A partir deste gráfico, torna-se evidente o potencial da energia hidráulica no Brasil, conforme demonstrado pela significativa capacidade instalada acumulada, representada pela barra azul marcada como "Acumulado". Com uma capacidade de geração de 103,195 MW, a energia hidráulica destaca-se notavelmente quando comparada às demais fontes de energia. Sua capacidade é 633,8% maior que a da bioenergia, 422,01% superior à energia solar e 434,3% maior que a energia eólica. Diante desses números, verifica-se que a energia hidráulica é a principal fonte de produção de energia no país no cenário das fontes renováveis e sustentáveis.

Gráfico 6 - Evolução da capacidade instalada da energia hidráulica em MW.



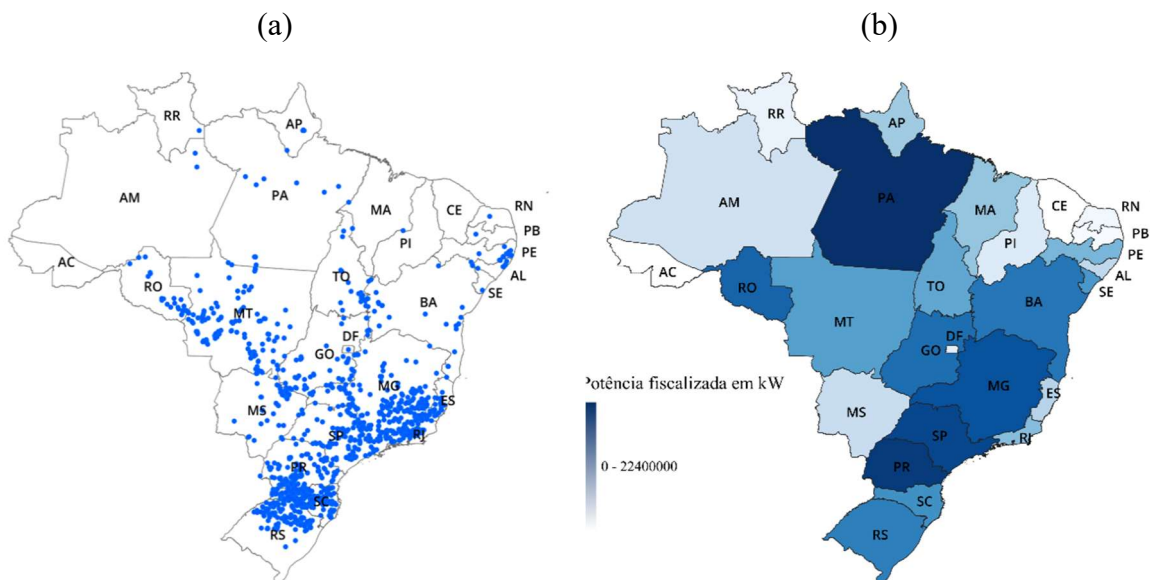
Fonte: Autoria própria (2024), a partir de dados obtidos da EPE (2023a).

Assim, observa-se o papel fundamental da energia hidráulica na matriz energética do Brasil. O país possui uma extensa rede de rios e um potencial hídrico significativo, o que torna a energia gerada a partir da água uma fonte crucial e dominante na geração de eletricidade.

Desta forma, são apresentadas as Figuras 6 (a) e (b) para a análise da distribuição dos empreendimentos de energia hidráulica e da potência nos estados brasileiros. Os dados relativos à geração de energia hidráulica demonstram a presença de 1.331 empreendimentos em operação, com uma potência fiscalizada total de 109.862.805 kW.

Com base na Figura 6 (a), nota-se a concentração dos empreendimentos de geração de energia hidráulica nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. Essa distribuição pode ser atribuída a fatores como a topografia favorável e a presença de rios com vazões adequadas nessas áreas, que oferecem diversas localidades propícias para a construção de barragens e a formação de reservatórios, elementos essenciais para a criação de usinas hidrelétricas. O Centro-Oeste brasileiro também apresenta destaque, com pontos significativos na geração de energia hidráulica. Quantitativamente, as regiões Nordeste e Norte do país contribuem em menor escala.

Figura 6 – Energia hidráulica: (a) projetos em operação nos estados brasileiros e (b) Geração de potência elétrica fiscalizada em kW por UF.



Fonte: Autoria própria (2024), a partir de dados obtidos do SIGA (Agência Brasileira de Energia Elétrica, 2024).

Ao analisar a Figura 6(b), tem-se a distribuição de potência elétrica nos estados brasileiros, observa-se que as regiões Sudeste e Sul também se destacam como principais produtores de energia hidráulica. Ainda na Figura 6(b), observa-se que o estado do Pará é o maior responsável pela geração de energia hidráulica, consolidando-se como o principal produtor dessa fonte no país.

Sabemos que o impacto ambiental e social das grandes hidrelétricas é imenso. Desta forma, as Pequenas Centrais Hidrelétricas vêm ganhando destaque nos esforços voltados para a expansão da oferta de energia elétrica em âmbito mundial, de acordo com Latini e Pedlowski (2016). Tal fato se deve à ideia de que essas plantas de geração de energia, por seu menor porte, causariam impactos ambientais insignificantes, quando comparadas com grandes usinas hidrelétricas, afirmam os autores.

Discussão dos resultados

A partir da investigação dos resultados obtidos no mapeamento da energia limpa no Brasil, observa-se, anualmente, um crescente protagonismo das fontes de energias renováveis, distribuídas em diversos pontos de geração ao longo do território nacional.

Verificou-se, também, a contribuição abundante das fontes renováveis à matriz energética brasileira, sendo a energia hidráulica historicamente preponderante, mas dividindo espaço com fontes emergentes como a energia eólica, solar e biomassa. Nesse contexto, tem-se as principais fontes de energia nos estados brasileiros.

A região Sudeste destaca-se tanto em número de empreendimentos quanto em potência fiscalizada, sendo que a energia hidráulica possui maior capacidade instalada nestes estados. Na região Nordeste, a energia eólica se apresenta como a maior representante de geração na região, embora nos estados de Alagoas, Pernambuco, Maranhão e Sergipe a geração de energia hidráulica seja predominante. Já nas regiões Centro-Oeste e Norte, há destaque para a bioenergia e a energia hidráulica, sabendo-se que a bioenergia contribui em menor escala e os estados que possuem a maior capacidade instalada desta fonte de energia são o Acre, Mato Grosso do Sul e Roraima. Na região Sul, a geração de energia hidráulica sobressai-se em comparação com outras fontes.

Com base nas informações geradas por este mapeamento, foram criados mais dois mapas. O primeiro apresenta as principais fontes de energia renovável em cada unidade

federativa do Brasil, levando em conta o número de empreendimentos. O segundo destaca a principal fonte de energia em cada estado, considerando a capacidade instalado de cada fonte, conforme ilustrado nas Figuras 7 e 8.

O mapa da Figura 7, que apresenta a energia renovável com maior número de empreendimentos em cada estado, nos permite identificar quais tipos de energia se destacam em cada região do país. Observa-se que a energia hidráulica é predominante nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil, refletindo a forte dependência desses estados das usinas hidrelétricas. No Nordeste, a energia eólica assume um papel de destaque, impulsionada pelas condições favoráveis de vento na região. Já na Região Norte, há uma diversificação maior, com a presença significativa da bioenergia e das energias hidráulica e solar.

Figura 7 - Principal fonte de energia renovável de cada estado brasileiro a partir do número de empreendimentos.

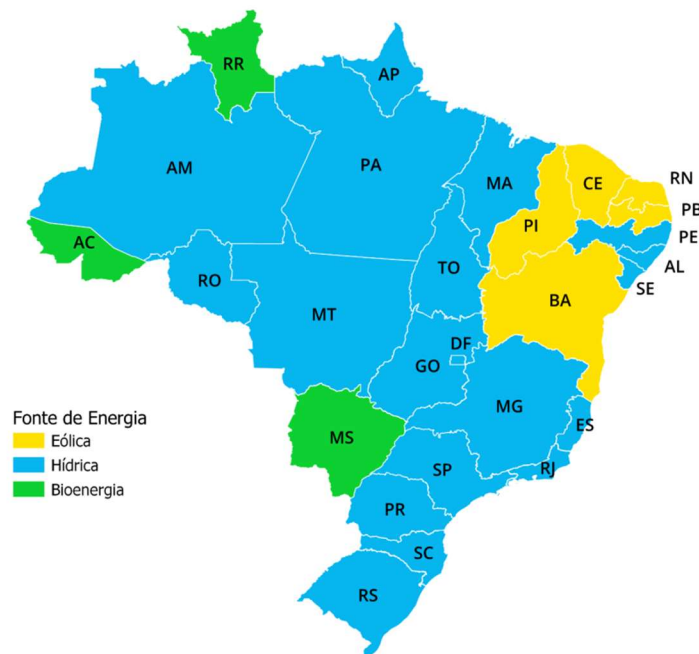


Fonte: Autoria própria (2024).

O mapa da Figura 8 mostra a capacidade instalada de fontes de energias renováveis em cada estado, considerando a contribuição de cada fonte por meio de sua potência fiscalizada. Essa análise tornou-se necessária para identificar o panorama energético do país, fundamental

para compreender o contexto no qual estas fontes estão inseridas, tendo em mente que elas são capazes de reduzir as emissões de gases do efeito estufa, contribuindo assim para mitigar os impactos das mudanças climáticas (Teixeira, 2023).

Figura 8 - Principal fonte de energia renovável de cada estado brasileiro a partir da potência fiscalizada.



Fonte: Autoria própria (2024).

Ainda, ao analisar as Figuras 7 e 8 e os dados obtidos neste trabalho, notamos que no Brasil, a energia hidráulica predomina, desempenhando um papel crucial no fornecimento de energia aos estados e na composição da matriz energética nacional. Além disso, destaca-se o papel da energia eólica como fonte renovável representante da região Nordeste.

Pode-se perceber, também, que embora a energia solar tenha uma presença significativa em termos de número de empreendimentos e esteja em crescimento no cenário atual, ainda não representa a principal fonte em termos de capacidade instalada em nenhum estado brasileiro.

Considerações finais

O presente artigo teve como objetivo apresentar o mapeamento dos projetos de fontes de energias renováveis no Brasil com o auxílio do *software* QGIS. Para isso, foram utilizados dados geoespaciais disponíveis SIGA, a fim de expor um panorama dessas fontes no território nacional.

Os resultados obtidos demonstram que, no contexto brasileiro, as energias renováveis se destacam como uma alternativa diante dos desafios enfrentados pelas fontes convencionais de energia, aliando-se aos ODS propostos pelas Nações Unidas. A partir da investigação dos dados fornecidos pelo SIGA, verificou-se o crescimento das fontes de energias renováveis nas diversas unidades federativas do país.

O contexto das energias renováveis foi marcado pelo crescimento das fontes eólica e solar, além do protagonismo da energia hidráulica na matriz energética do Brasil. Apesar de não apresentar um crescimento excessivo, verificou-se a grande participação da bioenergia na geração de energia e no uso de biocombustíveis.

Neste cenário, o mapeamento teve um papel relevante neste estudo, uma vez que proporcionou uma visão da distribuição geográfica das fontes das energias limpas no Brasil. Essa abordagem não apenas facilitou a compreensão dos dados, mas também ofereceu uma boa visualização da distribuição energética nacional.

A análise dos mapas revelou uma diversificação das fontes de energia renovável. Ficou evidente o destaque da energia hidráulica nos estados brasileiros, enquanto também foi possível observar a energia eólica como a principal fonte energética do Nordeste. Ademais, a bioenergia se destacou como uma fonte proeminente nos estados do Acre, Mato Grosso e Roraima.

Finalmente, dado que esta temática apresenta desafios que abrangem dimensões sociais, econômicas, tecnológicas, ambientais e institucionais, para trabalhos futuros sugere-se investigar as estratégias para integração das energias renováveis nos sistemas elétricos brasileiros.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Referências

- ABID, M.; KUMAR, M.; RAJ, V.; DHAS, M. Environmental Impacts of the solar photovoltaic systems in the context of globalization. **Ecological Engineering & Environmental Technology**, Warszawa, v. 24, n. 2, p. 231–240, jan. 2023. Disponível em: <http://www.ecoet.com/Environmental-Impacts-of-the-Solar-Photovoltaic-Systems-in-the-Context-of-Globalization,157168,0,2.html>. Acesso em: 28 fev. 2024.
- ABU-RAYASH, A.; DINCER, I. Sustainability assessment of energy systems: a novel integrated model. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 212, p. 1098–1116, mar. 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618337983>. Acesso em: 23 fev. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Dados Abertos ANEEL, 2024. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>. Acesso em: 22 fev. 2024.
- AHL, A.; GOTO, M.; YARIME, M.; TANAKA, K.; SAGAWA, D. Challenges and opportunities of blockchain energy applications: Interrelatedness among technological, economic, social, environmental, and institutional dimensions. **Renewable & sustainable energy reviews**, Amsterdam, v. 166, p. 1-10, set. 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032122005172>. Acesso em: 7 fev. 2024.
- AHL, A.; YARIME, M.; TANAKA, K.; SAGAWA, D. Review of blockchain-based distributed energy: Implications for institutional development. **Renewable & sustainable energy reviews**, Amsterdam, v. 107, p. 200–211, jun. 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032119301352>. Acesso em: 7 fev. 2024.
- ALHARBI, F.; CSALA, D. Saudi Arabia's solar and wind energy penetration: future performance and requirements. **Energies**, Basel, v. 13, n. 3, p. 1-18, jan. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/3/588>. Acesso em: 7 fev. 2024.
- ANG, Tze-Zhang; SALEM, Mohamed; KAMAROL, Mohamad; DAS, Himadry Shekhar; NAZARI, Mohammad Alhuyi; A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. **Energy Strategy Reviews**, Amsterdam, v. 43, p. 1-27, Sep. 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211467X2200133X>. Acesso em: 13 ago. 2024.
- ANJOS, M. M. **O papel das energias renováveis no processo de transição energética do estado de minas gerais: modelagem de sistemas energéticos para o horizonte 2030-2050**. Dissertação (Pós-graduação Em Ciências e Técnicas Nucleares) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.
- APPOLINÁRIO, Fábio. **Metodologia científica**. São Paulo, SP: Cengage, 2026.
- BREWER, C. A. Basic Mapping principles for visualizing cancer data using geographic information systems (GIS). **American Journal of Preventive Medicine**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. S25–S36, fev. 2006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749379705003582>. Acesso em: 15 nov. 2023.

CATOLICO, A. C. C.; MAESTRINI, M.; STRAUCH, J.C.M.; GIUSTI, F.; HUNT, J. Socioeconomic impacts of large hydroelectric power plants in Brazil: A synthetic control assessment of Estreito hydropower plant. **Renewable & sustainable energy reviews**, Amsterdam, v. 151, p. 1-16, nov. 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032121007875>. Acesso em: 7 fev. 2024.

ELAVARASAN, Rajvikram Madurai; SHAFIULLAH, G.M.; PADMANABAN, Sanjeevikumar; KUMAR, Nallapaneni Manoj; ANNAM, Annapurna; VETRICHELVAN, Ajayragavan Manavalanagar; MIHET-POPA, Lucian; HOLM-NIELSEN, Jens Bo. A comprehensive review on renewable energy development, challenges, and policies of leading Indian States with an international perspective. **IEEE Access**, v. 8, p. 74432–74457, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9072152/>. Acesso em: 10 ago. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. EPE, 2023a. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em 30 de novembro de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2023**. EPE, 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em 30 de novembro de 2023.

FREE SOFTWARE FOUNDATION. **What is Free Software?** GNU Project, 2024. Disponível em: <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.en.html>. Acesso em: 04 mar. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GOLDTHAU, A.; TAGLIAPIETRA, S. Energy crisis: five questions that must be answered in 2023. **Nature**, London, v. 612, n. 7941, p. 627–630, dec. 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-04467-w>. Acesso em: 23 fev. 2024.

HANDAYA, H.; SUSANTO, Herry; INDRAWAN, Dikky; Marimin, M. Supply and demand characteristics of Palm Kernel Shell as a renewable energy source for industries. **International Journal of Renewable Energy Development**, Semarang, v. 11, n. 2, p. 481–490, 2022. Disponível em: <<https://ijred.cbiore.id/index.php/ijred/article/view/41971>>. Acesso em: 15 ago. 2024.

IMMERZEEL, D. J.; VERWEIJ, P. A.; HILST, F.; FAAIJ, A. P. C. Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. **GCB Bioenergy**, Hoboken, v. 6, n. 3, p. 183–209, abr. 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12067>. Acesso em: 7 fev. 2024.

KANNAN, N.; VAKEESAN, D. Solar energy for future world: a review. **Renewable & sustainable energy reviews**, Amsterdam, v. 62, p. 1092–1105, set. 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116301320>. Acesso em: 23 fev. 2024.

KAPITONOV, I. A.; VOLOSHIN, V. I.; FILOSOFOVA, T. G.; SYRISOV, D. N. Digitalization of the energy industry as a direction for ensuring the growth of energy efficiency and the energy security of the state. **Viešoji politika ir administravimas**, Vilnius, v. 19, n. 2, p. 191–204, jun.2020. Disponível em: <https://ojs.mruni.eu/ojs/public-policy-and-administration/article/view/5470>. Acesso em: 23 fev. 2024.

KARACA, A.; DINCER, I. A newly developed experimental green hydrogen generator: Analysis and assessment. **Fuel**, Amsterdam, v. 328, p. 1-11, nov. 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236122021366>. Acesso em: 23 fev. 2024.

KHAWAJA, C.; JANSSEN, R.; MERGNER, R.; RUTZ, D.; COLANGELI, M.; TRAVERSO, L.; MORESE, M. M.; HIRSCHMUGL, M.; SOBE, C.; CALERA, A.; CIFUENTES, D.; FABIANI, S.; PULIGHE, G.; PIRELLI, T.; BONATI, G.; TRYBOI, O.; HAIDAI, O.; KÖHLER, R.; KNOCHE, D.; SCHLEPPHORST, R.; GYURIS, P. Viability and sustainability assessment of bioenergy value chains on Underutilised Lands in the EU and Ukraine. **Energies**, Basel, v. 14, n. 6, p. 1-21, mar. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/6/1566>. Acesso em: 7 fev. 2024.

KONYUHOV, V. Y.; GLADKIH, A. M.; GALYAUDINOV, I. I.; KISELEVA, T. Y. Power industry of future is renewable sources. **IOP conference series. Earth and environmental science**, Bristol, v. 378, n. 1, p. 1-6, abr. 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/378/1/012047>. Acesso em: 7 fev. 2024.

LATINI, Juliana Ribeiro; PEDLOWSKI, Marcos Antonio. Examinando as contradições em torno das Pequenas Centrais Hidrelétricas como fontes sustentáveis de energia no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 37, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/42599>. Acesso em: 15 ago. 2024.

LIN, R.; REN, J. Renewable Energy and Sustainable Development. **Journal of renewable energy and sustainable development**, Alexandria, v. 6, n. 1, p. 3-7, jun. 2020. Disponível em: <http://apc.aast.edu/ojs/index.php/RESA/article/view/06.1.003>. Acesso em: 23 fev. 2024.

LIU, B.; YANG, Z.; CHEN, Y.; LI, L.; CHEN, S. A decision-making framework for scheme selection for sustainable hydropower development. **International journal of green energy**, Abingdon, v. 18, n. 9, p. 951-965, mar. 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15435075.2021.1890081>. Acesso em: 7 fev. 2024.

LOPES, P. V. F.; COSTA, C. M. S.; ALMEIDA, A. K.; DE ALMEIDA, I. K. Sustainability assessment model for Brazilian hydroelectric projects using multicriteria analysis. **Sustainable energy technologies and assessments**, Amsterdam, v. 51, p. 101851, jun. 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213138821008651>. Acesso em: 7 fev. 2024.

MOORE-O'LEARY, K. A.; HERNANDEZ, R. R.; JOHNSTON, D. S.; ABELLA, S. R.; TANNER, K. E.; SWANSON, A. C.; KREITLER, J.; LOVICH, J. E. Sustainability of utility-scale solar energy: critical ecological concepts. **Frontiers in ecology and the environment**, Washington, v. 15, n. 7, p. 385-394, ago. 2017. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.1517>. Acesso em: 6 fev. 2024.

MOREIRA JÚNIOR, O. M.; SOUZA, C. C. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. **Interações: revista internacional de desenvolvimento local**, Mato Grosso do Sul, v. 21, n. 2, p. 379-387, abr./jun. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/t7NryC6KdCmwL4RXL4pjVfN/?lang=pt>. Acesso em: 23 fev. 2024.

MURUGANANTHAM, B.; GNANADASS, R.; PADHY, N.P. Challenges with renewable energy sources and storage in practical distribution systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 73, p. 125-134, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117301004>. Acesso em: 15 ago. 2024.

NASCIMENTO, V. A. M. A. DO; TRINDADE, T. B.; CARVALHO, C. M. Análise dos parâmetros para geração de energia solar fotovoltaica no Acre, Brasil. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, Rondônia, v. 7, n. 20, p. 1-16, out. 2021. Disponível em: <http://www.periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/16383>. Acesso em: 23 fev. 2024.

OLIVEIRA, E. A. F.; ARAÚJO FILHO, J. G. Perspectivas da geração e aplicação da energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão da literatura (2015-2019). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Natal, v. 12, n. 5, p. 435–450, 28 mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1493>. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1493/677>. Acesso em: 06 mar. 2024.

OLIVEIRA, G.; CURI, A. Z.; FELINI, P. S.; FICARELLI, T. R. A. **Impactos econômicos e ambientais da geração de energia eólica no Brasil**. São Paulo: ABEEólica, 2020. Disponível em: https://epbr.com.br/wp-content/uploads/2021/02/ABEEolica_GO-Associados-V.-Final.pdf. Acesso em 30 de nov. 2023.

QUAN, S. J.; BANSAL, P. A systematic review of GIS-based local climate zone mapping studies. **Building and Environment**, Amsterdam, v. 196, p. 1-16, jun. 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132321001980>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RAMACHANDRA, T. V.; SHRUTHI, B. V. Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 46, n. 9–10, p. 1561–1578, jun. 2005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890404001979>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RAZM, S.; DOLGUI, A.; HAMMAMI, R.; BRAHIMI, N.; NICKEL, S.; SAHEBI, H. A two-phase sequential approach to design bioenergy supply chains under uncertainty and social concerns. **Computers & chemical engineering**, Amsterdam, v. 145, p. 1-24, fev. 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098135420304506>. Acesso em: 7 fev. 2024.

REPO, A.; KÄNKÄNEN, R.; TUOVINEN, J.; ANTIKAINEN, R.; TUOMI, M.; VANHALA, P.; LISKI, J. Forest bioenergy climate impact can be improved by allocating forest residue removal. **GCB Bioenergy**, Hoboken, v. 4, n. 2, p. 202–212, set. 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1757-1707.2011.01124.x>. Acesso em: 7 fev. 2024.

RÖDER, M.; MOHR, A.; LIU, Y. Sustainable bioenergy solutions to enable development in low- and middle-income countries beyond technology and energy access. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 143, p. 1-8, dec. 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953420304104>. Acesso em: 23 fev. 2024.

RUTKOWSKA, M.; BARTOSZCZUK, P.; SINGH, U. Management of green consumer values in renewable energy sources and eco innovation in India. **Energies**, Basel, v. 14, n. 21, p. 1-17, out. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7061>. Acesso em: 23 fev. 2024.

SILVA, M. V. M.; SILVEIRA, C. S.; DA COSTA, J. M. F.; MARTINS, E. S. P. R.; JÚNIOR, F. C. V. Projection of climate change and consumptive demands projections impacts on hydropower generation in the São Francisco River Basin, Brazil. **Water**, Basel, v. 13, n. 3, p. 1-25, jan. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/3/332>. Acesso em: 23 fev. 2024.

SILVEIRA, Semida; ANDERSSON, Lars; LEBEDYS, Arvydas. Opportunities to boost bioenergy in Lithuania. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, n. 12, p. 1076–1081, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953406001292>>. Acesso em: 17 ago. 2024.

TEIXEIRA, R. L. P. **Energias renováveis no nordeste do Brasil e as relações com a adaptação às mudanças climáticas**. Tese (Doutorado em Estudos Urbanos e Regionais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

THRÄN, Daniela; BAUSCHMANN, Martin; DAHMEN, Nicolaus; ERLACH, Berit; HEINBACH, Katharina; HIRSCHL, Bernd; HILDEBRAND, Jan; RAU, Irina; MAJER, Stefan; OEHMICHEN, Katja; SCHWEIZER-RIES, Petra; HENNIG, Christiane. Bioenergy beyond the German “Energiewende” – Assessment framework for integrated bioenergy strategies. **Biomass and Bioenergy**, v. 142, p. 105769, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953420303032>>. Acesso em: 17 ago. 2024.

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report 2022**. New York, 2022. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.

WAGNER, O.; GÖTZ, T. Presentation of the 5Ds in Energy Policy: A Policy Paper to Show How Germany Can Regain Its Role as a Pioneer in Energy Policy. **Energies**, Basel, v. 14, n. 20, p. 1-19, out. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/20/6799>. Acesso em: 23 fev. 2024.

WELFLE, A. Balancing growing global bioenergy resource demands - Brazil’s biomass potential and the availability of resource for trade. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 105, p. 83–95, out. 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953417301976>. Acesso em: 29 nov. 2023.

YÜREK, Y.; BULUT, M.; ÖZYÖRÜK, B.; ÖZCAN, E. Evaluation of the hybrid renewable energy sources using sustainability index under uncertainty. **Sustainable Energy, Grids and Networks**, Amsterdam, v. 28, p. 1-16, dec. 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352467721000989>. Acesso em: 7 fev. 2024.

ZARE, S.; ALIPOUR, M.; HAFEZI, M.; STEWART, R. A.; RAHMAN, A. Examining wind energy deployment pathways in complex macro-economic and political settings using a fuzzy cognitive map-based method. **Energy**, Amsterdam, v. 238, p. 1-16, jan. 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544221019216>. Acesso em: 23 fev. 2024.

ZSIBORÁCS, H.; HEGEDŰSNÉ BARANYAI, N.; ZENTKÓ, L.; MÓRO CZ, A.; PÓCS, I.; MÁTÉ, K.; PINTÉR, G. Electricity market challenges of photovoltaic and energy storage technologies in the European Union: regulatory challenges and responses. **Applied sciences**, Basel, v. 10, n. 4, p. 1-26, fev. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/4/1472>. Acesso em: 7 fev. 2024.