



Potencial e perspectivas do uso da energia eólica no estado do Espírito Santo *Potential and prospects for the use of wind energy in the state of Espírito Santo*

Márcio Faria Miranda¹, Leandra Altoé^{2,*}, Antonio Augusto Martins Pereira Júnior³, Diunay Zuliani Mantegazini⁴

¹ Bacharel em Engenharia de Petróleo e Fiscal de Sonda na Carmo Energy, Carmópolis, Sergipe, Brasil

² Professora do Departamento de Engenharia e Tecnologia, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, São Mateus, ES, Brasil

³ Professor da Escola Superior de Engenharia, Tecnologia e Inovação da Universidade do Distrito Federal Professor Jorge Amaury Maia Nunes - UnDF, Brasília, DF, Brasil

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica e Pós-doutorando em Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, São Paulo, SP, Brasil

*Autora para correspondência, E-mail: leandra.altoe@ufes.br

Received: 28 March 2025 | Accepted: 10 April 2025 | Published online: 15 April 2025

Resumo: A crescente demanda energética mundial e nacional, associada à necessidade de conservação dos recursos naturais, requer o aumento da capacidade de geração por meio de fontes menos poluentes. O estado do Espírito Santo apresenta condições favoráveis à geração de energia eólica, incluindo um extenso território costeiro, porém, ainda não possui geração por essa fonte. Dessa forma, objetivou-se analisar o potencial eólico do Espírito Santo, comparativamente ao seu consumo e à sua geração de energia elétrica, além de perspectivas do uso dessa fonte no estado. Estudos técnicos apontam para a existência de uma potência instalável de cerca de 269.269 MW, sendo 127.189 MW para torres de 200 m de altura em ambiente *onshore* e 142.080 MW para torres de 100 m de altura e com até 50 m de profundidade em ambiente *offshore*, no estado. Verificou-se que o aproveitamento de apenas 3,5% do potencial *onshore*, 3,1% do potencial *offshore* e 1,6% do potencial somado (*onshore* e *offshore*) seriam suficientes para suprir o consumo de energia elétrica do estado. A exploração de, respectivamente, 1,7%; 1,5%; e 0,8% do potencial eólico *onshore*, *offshore* e somado, por sua vez, seriam equivalentes à geração de energia elétrica do estado. Há expectativas para o início da geração eólica no estado, uma vez que existem seis empreendimentos eólicos *offshore*, que somam uma potência de aproximadamente 11.230 MW, e um empreendimento híbrido (eólico, solar e diesel) *onshore* em processo de licenciamento ambiental junto ao IBAMA. Assim, o aproveitamento de parte desse expressivo potencial poderia promover a diversificação e independência da matriz elétrica do Espírito Santo, por meio de uma fonte de baixo carbono.

Palavras-chave: fontes renováveis de energia; energia eólica; sistemas de geração de energia elétrica; sustentabilidade ambiental.

Abstract: The growing global and national energy demand, combined with the need to conserve natural resources, requires an increase in generation capacity from less polluting sources. The state of Espírito Santo has favorable conditions for the generation of wind energy, including an extensive coastal territory, however, it does not yet have generation from this source. Thus, the objective of this study was to analyze the wind potential of Espírito Santo, compared to its consumption and generation of electricity, in addition to prospects for the use of this source in the state. Technical studies indicate the existence of an installable capacity of approximately 269,269 MW, of which 127,189 MW for 200 m high towers in an onshore environment and 142,080 MW for 100 m high towers and up to 50 m deep in an offshore environment, in the state. It was found that the use of only 3.5% of the onshore potential, 3.1% of the offshore potential and 1.6% of the combined potential (onshore and offshore) would be sufficient to meet the state's electricity consumption. The exploitation of, respectively, 1.7%; 1.5%; and 0.8% of the onshore, offshore and combined wind potential, in turn, would be equivalent to the state's electricity generation. There are expectations for the start of wind generation in the state, since there are six offshore wind projects, which total a capacity of approximately 11,230 MW, and one hybrid project (wind, solar and diesel) onshore in

the process of environmental licensing with the IBAMA. Thus, the use of part of this significant potential could promote the diversification and independence of Espírito Santo's electricity matrix, through a low-carbon source.

Keywords: renewable energy sources; wind energy; electricity generation systems; environmental sustainability.

1 Introdução

A geração de energia por fontes renováveis é um dos segmentos que mais cresce no mundo, sendo a fonte eólica uma das mais utilizadas (Sadorsky, 2021). Segundo dados da Agência Internacional de Energia - EIA (IEA, 2025), a oferta global de energia elétrica por fonte eólica aumentou de 31.354 GWh em 2000 para 2.119.771 GWh em 2022, um acréscimo de 67,6 vezes. Em 2022, a fonte eólica representou 7,2% da oferta global de eletricidade, sendo a segunda fonte renovável com maior participação, atrás apenas da hidrelétrica (IEA, 2025). A expansão da fonte eólica tem sido importante para o atendimento da crescente demanda energética mundial, bem como para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor de energia (Long et al., 2023; Summerfield-Ryan e Park, 2023; Ramalho et al., 2025).

No Brasil, houve um crescimento no uso da energia eólica a partir da década de 2010, impulsionado pela promulgação de políticas públicas de incentivo, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e os leilões de geração de energia elétrica por fontes renováveis realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (Tolmasquim et al., 2021; Sampaio e Batista, 2021; Werner e Lazaro, 2023). Desde então, a geração eólica continuou a aumentar no país, sendo atualmente a segunda fonte com maior participação na oferta interna de energia elétrica (EPE, 2024). Assim, a energia eólica tem propiciado a diversificação da matriz elétrica brasileira, o qual apresenta grande dependência de fonte hidrelétrica (Vieira et al., 2023).

O estado do Espírito Santo apresenta um regime de ventos e localização geográfica que o torna interessante para o desenvolvimento de projetos de energia eólica, principalmente na região costeira, que é majoritariamente plana, e conta com ventos advindos diretamente do mar (ISI-ER, 2022). Apesar disso, ainda não há usinas eólicas no estado (ANEEL, 2025), somente projetos em processo de licenciamento ambiental no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (IBAMA, 2025). A geração eólica poderia contribuir para promover a independência energética do estado, o qual é importador de energia elétrica gerada em outras unidades da federação, por meio de uma fonte renovável (ARSP, 2024).

Pesquisas nessa área de estudo são importantes para compreender o progresso, o panorama atual e os possíveis impactos socioeconômicos e ambientais da energia eólica, com vistas a colaborar para um atendimento mais seguro, viável e sustentável para a geração de energia elétrica (McKenna et al., 2025). Assim, objetivou-se com este trabalho analisar o potencial eólico do estado do Espírito Santo, comparativamente ao seu consumo e à geração de energia elétrica, bem como perspectivas futuras do uso desta fonte de energia no estado.

2 Metodologia

Inicialmente, foi feito o levantamento do potencial eólico do estado do Espírito Santo, com base na potência instalável e na energia elétrica anual que poderia ser gerada por esta fonte. Para tanto, considerou-se dados do Atlas Eólico do Espírito Santo, desenvolvido pelo Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis (ISI-ER, 2022), o qual apresenta simulações para velocidade de vento igual ou superior à 6 m/s, alturas de torre eólica de 100 m, 150 m e 200 m para o território terrestre (*onshore*) e alturas de torre eólica de 100 m, 150 m e 200 m e profundidades de lâmina d'água de até 25 m e de até 50 m para o território marítimo (*offshore*).

Em seguida, foi realizado o levantamento da geração e do consumo de energia elétrica no estado do Espírito Santo. A geração foi observada para fontes renováveis e não renováveis, divididas nos grupos: centrais geradoras hidrelétricas e pequenas centrais hidrelétricas; usinas hidrelétricas; cana-de-açúcar; lixívia; solar fotovoltaica; e termelétricas a gases de processo, a gás natural e à óleo combustível. O consumo, por sua vez, foi observado para diferentes municípios e setores, sendo eles: industrial; residencial; comercial; público; rural; e energético. Este estudo foi realizado considerando os dados apresentados no “Balanço Energético do Espírito Santo 2024 - ano base 2023” (ARSP, 2024).

Com base nos dados citados anteriormente, foi feita uma avaliação comparativa do potencial eólico em relação à geração e ao consumo de energia elétrica no estado do Espírito Santo. Nesta avaliação,

considerou-se diferentes porcentagens de aproveitamento do potencial eólico *onshore*, potencial *offshore* e potencial somado (*onshore* e *offshore*). Para compor este último, selecionou-se a altura de torre com maior potência instalável em ambiente terrestre; e a altura de torre e a profundidade de lâmina d'água com maior potência instalável em ambiente marítimo.

Por fim, discutiu-se expectativas futuras do uso da energia eólica no estado do Espírito Santo no horizonte 2050, especialmente, no que diz respeito à mitigação de gases de efeito estufa. Para isto, foi feito um levantamento dos empreendimentos eólicos em processo de licenciamento ambiental junto ao IBAMA (IBAMA, 2025). Além disso, analisou-se o Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do Espírito Santo - 2050, o qual apresenta uma análise multicritério e priorização para 42 estratégias destinadas aos setores de energia, indústria, transportes, agropecuário, florestal e gerenciamento de resíduos. Dentre as estratégias para o setor de energia, está fomentar a energia eólica no estado, a qual foi estudada nesse trabalho. A análise multicritério prevê a classificação de critérios das estratégias, divididos em tecnológico, ambiental, econômico e político/institucional, em cinco níveis de desempenho ou impacto: excelente ou muito positivo, bom ou positivo, regular ou neutro, ruim ou negativo e péssimo ou muito negativo. A análise de priorização, por sua vez, prevê a classificação das estratégias em um de três níveis de desempenho para promover a mitigação de GEE no estado do Espírito Santo, de maior para menor: prioridade 1, prioridade 2 ou prioridade 3 (ARSP, 2024).

3 Resultados e discussões

Na Figura 1, apresenta-se o potencial eólico *onshore* do estado do Espírito Santo, com base na potência instalável e energia anual.

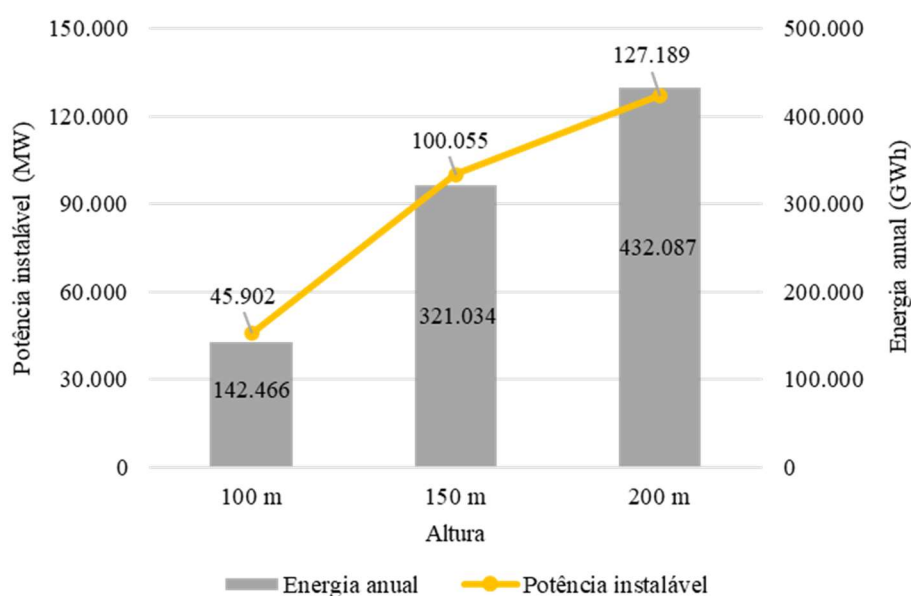


Figura 1. Potencial eólico *onshore* para velocidade de vento igual ou superior à 6 m/s e alturas de torres de 100 m, 150 m e 200 m no estado do Espírito Santo. Fonte: Adaptado de ISI-ER (2022).

Como pode ser visto na Figura 1, a elevação da altura de torre implicou no aumento de potência instalável e consequentemente em geração de energia elétrica, devido ao aumento de áreas disponíveis com velocidade de vento igual ou superior à 6 m/s com a elevação da altura de torre para o ambiente terrestre analisado. Segundo dados do Atlas Eólico Onshore e Offshore do Espírito Santo (ISI-ER, 2022), há 11.475, 25.014 e 31.797 km² de área disponível com tal velocidade de vento para torres com alturas de 100, 150 e 200 m, respectivamente.

O potencial eólico *offshore* do estado do Espírito Santo, novamente, com base na potência instalável e energia anual, é apresentado na Figura 2.

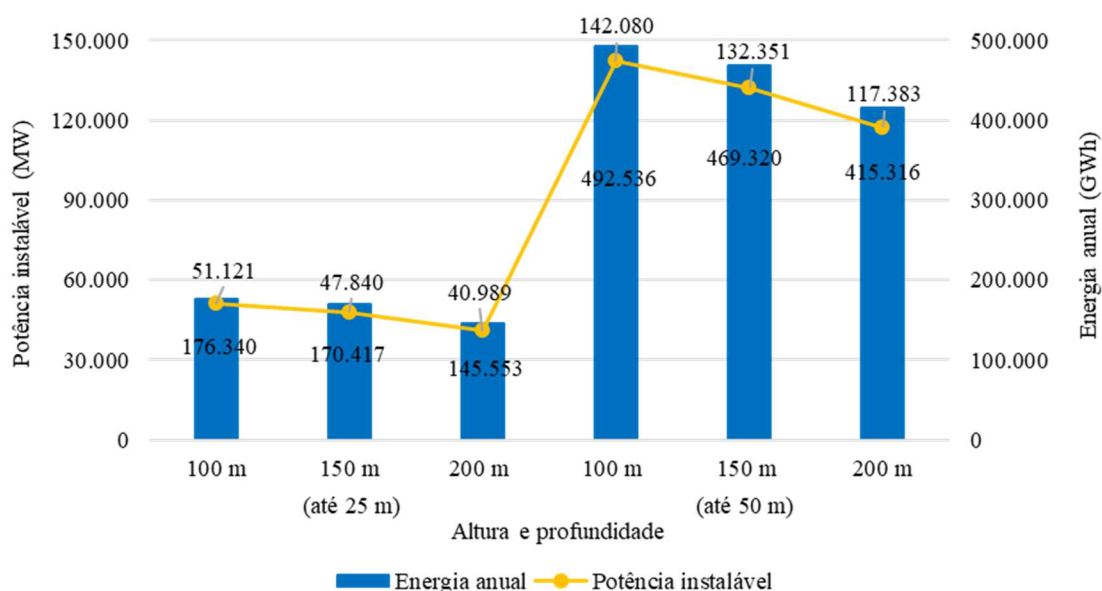


Figura 2. Potencial eólico *offshore* para velocidade de vento igual ou superior à 6 m/s e alturas de torres de 100 m, 150 m e 200 m de altura, com profundidades de até 25 m e 50 m, no estado do Espírito Santo. Fonte: Adaptado de ISI-ER (2022).

Como mostrado na Figura 2, o aumento da profundidade da lâmina d'água de até 25 m para até 50 m implicou em acréscimo de potência instalável e consequentemente de energia elétrica gerada. Todavia, diferente ao verificado para o ambiente *onshore*, houve decréscimo de potência e energia anual com o aumento da altura de torre para o ambiente *offshore*. Isto se deve à diminuição de áreas disponíveis com velocidade de vento igual ou superior à 6 m/s com o aumento da altura de torre. Para a profundidade de até 25 m, observou-se áreas disponíveis de 8.520, 7.973 e 6.832 km², respectivamente, para torres de 100, 150 e 200 m; enquanto para profundidade de até 50 m, verificou-se áreas disponíveis de 23.680, 22.058 e 19.564 km² para torres de 100, 150 e 200 m, respectivamente (ISI-ER, 2022).

Assim, o potencial eólico pode se alterar substancialmente para condições *onshore* e *offshore*, bem como para altura de torre e profundidade de lâmina d'água. De tal modo, o prévio conhecimento do potencial é de suma importância para escolha da localização das usinas por essa fonte, de modo a maximizar o uso dos recursos energéticos. O primeiro atlas eólico com abrangência nacional foi publicado em 2001 e a partir de então as unidades da federação realizaram os próprios levantamentos, cada qual com suas justificativas e elementos de análises (Pereira, 2023). O estado do Espírito Santo publicou o seu primeiro atlas em 2009 e o mais recente, intitulado Atlas Eólico Onshore e Offshore do Espírito Santo (IRI-ISI, 2022), foi considerado nesse trabalho.

Considerando a potência instalável *onshore* e *offshore*, mostradas respectivamente nas Figuras 1 e 2, e o fato de que as torres não podem ser sobrepostas, o estado do Espírito Santo contaria com uma potência eólica instalável somada de aproximadamente 269.269 MW, sendo 127.189 MW para torres de 200 m em ambiente *onshore* e 142.080 MW para torres de 100 m com até 50 m de profundidade de lâmina d'água em ambiente *offshore*. Para ilustrar a distribuição espacial do potencial eólico, apresenta-se o mapa com o regime de vento do estado para torres de 100 metros na Figura 3.

Como visto na Figura 3, os melhores regimes de ventos para geração de energia eólica ocorrem em território marítimo e território terrestre costeiro no estado do Espírito Santo, incluindo os municípios de Presidente Kennedy e Marataízes (macrorregião sul), Guarapari e Vila Velha (macrorregião metropolitana) e Linhares (macrorregião central). Vale mencionar que o Atlas Eólico Onshore e Offshore do Espírito Santo (ISI-ER, 2022) apresenta os mapas de velocidade de vento sazonal para as outras alturas de torres consideradas nesse trabalho (ISI-ER, 2022).

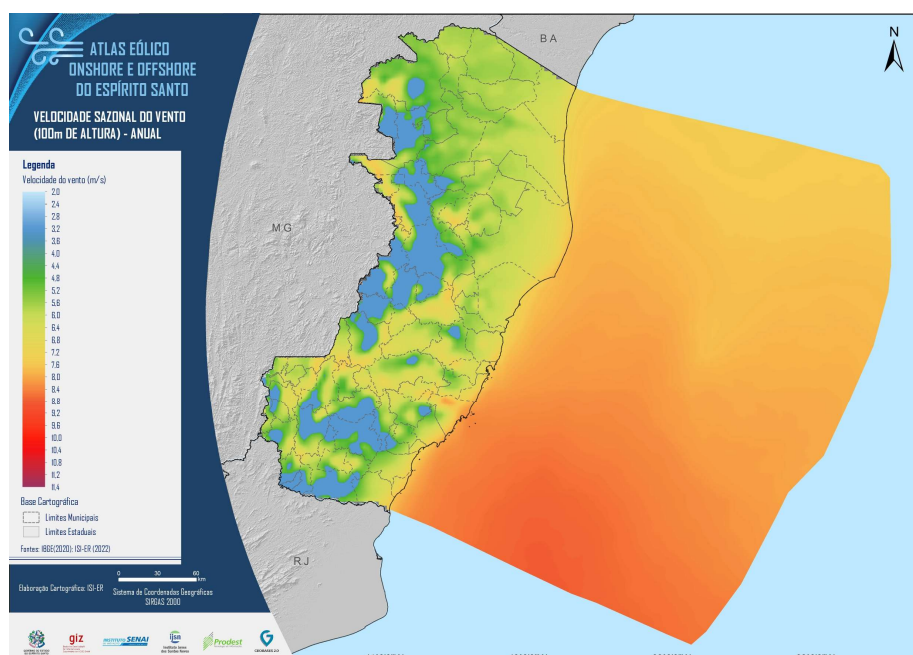


Figura 3. Velocidade sazonal do vento para altura de 100 metros no estado do Espírito Santo. Fonte: ISI-ES (2022).

Segundo informações presentes no Sistema de Informações de Geração da ANEEL (ANEEL, 2025), de 26 de março de 2025, ainda não há usinas eólicas no estado do Espírito Santo. Todavia, existe um empreendimento *onshore* e seis empreendimentos de usinas eólicas *offshore* em processo de licenciamento ambiental junto ao IBAMA. O empreendimento *onshore* é referente à uma usina de geração de energia elétrica por fonte eólica, solar e combustível fóssil na Ilha da Trindade, na capital Vitória/ES, por parte da Marinha do Brasil. Tal projeto é constituído de duas unidades de geração a diesel (potência instalada de 226 Kva), 399 painéis fotovoltaicos de 130 W cada (potência instalada de 51,87 kW) e 36 aerogeradores de 5kW cada (potência instalada de 180 kW) (Feio et al., 2024; IBAMA, 2025). O detalhamento dos seis empreendimentos eólicos *offshore* é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Empreendimentos eólicos *offshore* em processo de licenciamento ambiental no IBAMA em 10 de dezembro de 2024.

Código	Empreendimento	Empreendedor	Potência do gerador (MW)	N.º de geradores	Potência total (MW)
ES-01	Votu Winds	Votu Winds	10	144	1.440
ES-03	Quesnelia	Bluefloat Energy do Brasil Ltda	20	62	1.240
ES-04	Projeto Ubu	Shell Brasil Petróleo Ltda	14	180	2.520
ES-05	Vitória Offshore	Geradora Eólica Brigadeiro II S.A.	15	80	1.200
ES-06	Espírito Santo I	Petróleo Brasileiro S/A - Petrobras	18	110	1.980
ES-07	Serra do Mar	Fiabe Participações Ltda	15	190	2.850
Total					11.230

Fonte: adaptado de IBAMA (2025).

Vale ressaltar que dos seis empreendimentos, dois são solicitados por grandes empresas do setor de Óleo e Gás, a Shell e a Petrobrás, que somam, cerca de 40% da potência total. Foi verificado, ainda, a presença dessas e de outras companhias do setor nos demais estados, incluindo a Equinor e a TotalEnergies (IBAMA, 2025). Várias empresas petrolíferas têm expandido os negócios nos últimos anos, incluindo a entrada nos mercados de energias renováveis, como eólica, solar, hidrogênio e biocombustíveis, com vistas à inserção no processo de transição energética e ao cumprimento de metas de descarbonização previstas em seus planos estratégicos (Abraham-Dukuma, 2021; Halttunen et al., 2023; Dongo e Relvas, 2025).

O IBAMA divide os empreendimentos eólicos *offshore* em processo de licenciamento ambiental em cinco blocos ao longo da costa brasileira, estando o Espírito Santo e o Rio de Janeiro no bloco 04, como apresentado na Figura 4.

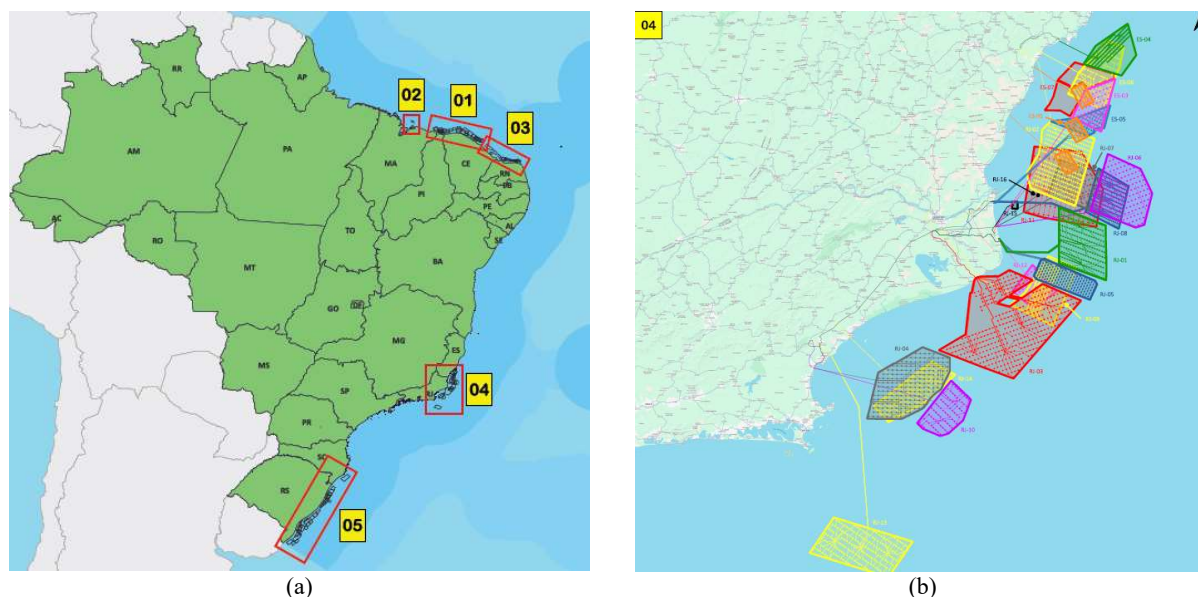


Figura 4. (a) Localização dos empreendimentos eólicos *offshore* em licenciamento ambiental (a) no Brasil; e (b) no bloco 04 (Espírito Santo e Rio de Janeiro), em 10 de dezembro de 2024. Fonte: IBAMA (2025).

Os empreendimentos eólicos *offshore* em processo de licenciamento ambiental no Espírito Santo estão localizados numa faixa marítima entre os municípios de Guarapari e Presidente Kennedy, na região sul do estado, onde há os melhores regimes de ventos, como apresentado anteriormente na Figura 3. Observa-se, ainda, que há uma grande superposição dos projetos no Espírito Santo e de um destes com parte dos projetos no Rio de Janeiro, ocorrendo o mesmo nos demais blocos ao longo da costa brasileira, uma vez que as empresas buscam as melhores regiões para solicitar as licenças ambientais.

Em 2023, a geração de energia elétrica no Espírito Santo foi de 7.524,6 GWh, considerando serviço público, produtor independente de energia e autoprodutor de energia, sendo 55,9% de fontes renováveis e de 44,1% de não renováveis (ARSP, 2024). Entre as fontes do primeiro grupo, estão a solar fotovoltaica (8,8%), centrais geradoras hidrelétricas e pequenas centrais hidrelétricas (9,3%), usinas hidrelétricas (18,7%), cana-de-açúcar (1,2%) e lixo (17,9%), enquanto entre as fontes do segundo grupo, estão as termelétricas a gases de processo (33,0%), a gás natural (10,9%) e a óleo combustível (0,2%) (ARSP, 2024).

A efeito de comparação com o cenário nacional, a oferta interna de eletricidade no Brasil foi representada por 89,2% por fontes renováveis, destacando-se hidráulica (58,9%) e eólica (13,2%) em 2023 (EPE, 2024). Assim, enquanto a energia eólica já se configura como a segunda fonte com maior participação na matriz elétrica nacional, o estado do Espírito Santo ainda não começou a explorar essa importante fonte renovável em seu território, o que seria importante para tornar a matriz elétrica estadual mais abrangente e sustentável.

O consumo final de energia elétrica no estado do Espírito Santo foi de 15.226,9 GWh, considerando consumo cativo, livre e autoprodução, em 2023 (ARSP, 2024). Ao se comparar o consumo com a geração, de 7.524,6 GWh (ARSP, 2024), percebe-se que o estado gerou menos da metade da energia elétrica consumida em seu território, 49,4%, sendo, portanto, dependente de outros estados. O setor industrial apresentou o maior consumo, com 50,6%, seguido por residencial (21,1%), comercial (13,3%), agropecuário (7,9%), público (5,3%) e setor energético (1,8%) (ARSP, 2024).

O consumo final de energia elétrica fornecido pelas concessionárias, referente à soma do cativo e do livre, foi de 11.504,0 GWh no estado do Espírito Santo em 2023 (ARSP, 2024). A capital Vitória foi responsável pela maior fatia desse consumo, com 18,8%, seguido por Serra (12,9%), Vila Velha (8,9%), Cariacica (6,9%), Cachoeiro de Itapemirim (6,3%), Aracruz (5,4%), Linhares (4,8%) e Anchieta (3,8%) em 2023 (ARSP, 2024). Vale destacar que a maioria dos municípios mencionados estão em regiões litorâneas com grande potencial de geração eólica, como foi discutido e apresentado na Figura 3.

Com base nos dados energéticos apresentados anteriormente, verificou-se que o potencial eólico atende com bastante facilidade a demanda de eletricidade do estado do Espírito Santo. Na Figura 5, apresenta-se diferentes porcentagens de aproveitamento do potencial eólico *onshore* para torres de 200 m

de altura (432.087 GWh/ano); do potencial *offshore* para torres de 100 m de altura e até 50 m de profundidade de lâmina d'água (492.536 GWh/ano); e do potencial somado (924.623 GWh/ano), em comparação ao consumo e à geração de energia elétrica do estado em 2023.

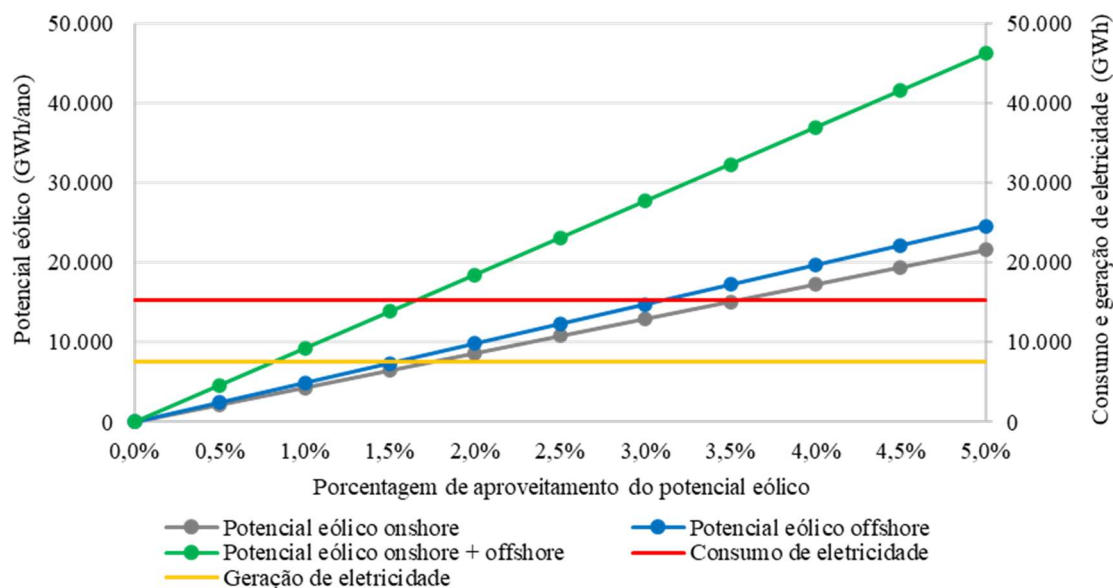


Figura 5. Potencial eólico de geração de energia elétrica *versus* geração e consumo de energia elétrica no Espírito Santo em 2023. Fonte: Adaptado de ISI-ER (2022) e ARSP (2024).

Portanto, para as alturas de torre e profundidade de lâmina d'água consideradas, o aproveitamento de, respectivamente, 3,5% do potencial *onshore*, 3,1% do potencial *offshore* e 1,6% do potencial somado seriam suficientes para suprir o consumo de energia elétrica do estado, de 15.226,9 GWh, em 2023. Ademais, a exploração de respectivamente 1,7%; 1,5%; e 0,8% do potencial eólico *onshore*, *offshore* e somado seriam equivalentes a geração de energia elétrica do estado do Espírito Santo, de 7.524,6 GWh, para o mesmo ano. Assim, o aproveitamento de apenas uma pequena parte do potencial eólico promoveria não apenas a diversificação da matriz elétrica estadual, por meio de uma fonte renovável, mas a redução da dependência de outras unidades da federação.

Na Tabela 2, apresenta-se a análise multicritério para fomentar a energia eólica no estado do Espírito Santo realizada pela Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo - ARSP e presente no Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do Espírito Santo - 2050 (ARSP, 2023).

Tabela 2. Análise multicritério para fomentar a energia eólica no estado do Espírito Santo.

Aspecto	Critério	Desempenho ou impacto
Tecnológico	Potencial de mitigação	Excelente ou muito positivo
	Custo de mitigação	Regular ou neutro
	Maturidade tecnológica	Excelente ou muito positivo
	Vulnerabilidade climática	Bom ou positivo
Ambiental	Impacto na disponibilidade de água	Regular ou neutro
	Impacto na qualidade do ar	Excelente ou muito positivo
	Impacto na produção de alimentos	Regular ou neutro
	Impacto na biodiversidade	Ruim ou negativo
Econômico	Impacto na disponibilidade de energia	Regular ou neutro
	Impacto na geração de empregos	Excelente ou muito positivo
	Impacto no crescimento econômico	Excelente ou muito positivo
	Competitividade local	Excelente ou muito positivo
Político/Institucional	Aceitação pública	Bom ou positivo
	Arcabouço regulatório	Ruim ou negativo
	Facilidade de implementação e acompanhamento	Ruim ou negativo
	Disponibilidade de financiamento	Bom ou positivo

Fonte: adaptado de ARSP (2023).

Como visto na Tabela 2, o desempenho dos critérios tecnológicos variou de excelente à regular, para o primeiro caso, referente ao atual estágio de desenvolvimento da fonte eólica e à redução das emissões de gases de efeito estufa, comparado à geração por combustíveis fósseis; e no segundo, relacionado ao custo financeiro dessa mitigação (Silva, 2023). O desempenho dos critérios ambientais, por sua vez, oscilou de excelente à ruim, no primeiro caso, associado à qualidade do ar, uma vez que a energia eólica não emite poluentes na geração de energia elétrica; e no, segundo caso, relacionado aos recursos hídricos e à produção de alimentos; consequência dos impactos negativos que as usinas eólicas causam nos meios físicos e bióticos (Santos e Araújo, 2023; Cunha et al., 2024; Sousa et al., 2024). Vale acrescentar que a população está inserida no meio ambiente e um dos principais impactos sociais da energia eólica refere-se à poluição sonora que atinge as comunidades presentes no entorno das usinas, além de conflitos de terra entre população local e empreendedores do mercado de energia eólica (Silva et al., 2022; Aquino et al., 2024).

O desempenho dos critérios econômicos oscilou de excelente à regular, associado, no primeiro caso, à geração de empregos e renda, que tem sido o principal impacto positivo da energia eólica apontado em estudos da área (Silva et al., 2022; Oliveira et al., 2022; Cunha et al., 2024); e, no segundo caso, quanto a disponibilidade de energia elétrica, uma vez que a fonte eólica é do tipo intermitente (Silva et al., 2024). O desempenho dos critérios políticos/institucionais, por outro lado, oscilou de bom à ruim, no primeiro caso, associado à aceitação da população e disponibilidade de financiamento, e no segundo caso, devido à necessidade de melhoria do marco regulatório, em especial da energia eólica *offshore*, o qual tem sido apontado na literatura como um dos principais desafios para expansão dessa fonte no Brasil (Silva, 2023; Assis et al., 2024; Nóbrega, 2025).

Neste sentido, foi aprovada a Lei nº 15.097/2025 em 10 de janeiro de 2025 (Brasil, 2025), a qual disciplina o aproveitamento do potencial energético *offshore* no Brasil, por diferentes fontes, incluindo eólica e solar. O texto considera ambiente *offshore* como “ambiente marinho localizado em águas interiores de domínio da União, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e na plataforma continental”, que poderá ser dividido em prismas para a exploração do potencial energético. A lei prevê que a cessão do uso de bens da união para geração de energia elétrica poderá ser ofertada de acordo com os seguintes procedimentos: oferta permanente (“poder concedente delimita prismas para exploração a partir da solicitação de interessados, na modalidade de autorização”); e oferta planejada (“poder concedente oferece prismas pré-delimitados para exploração conforme planejamento espacial do órgão competente, na modalidade de concessão, mediante procedimento licitatório”). Desse modo, espera-se que a Lei nº 15.097/2025 fomenta a energia eólica *offshore* no país e, consequentemente, no estado do Espírito Santo, assim como as primeiras políticas públicas de incentivo na área, como o PROINFA e os leilões por fontes renováveis da ANEEL, foram importantes para promover a energia eólica *onshore*.

O desempenho dos critérios ambientais, por sua vez, oscilou de excelente à ruim, no primeiro caso, associado à qualidade do ar, uma vez que a energia eólica não emite poluentes na geração de energia elétrica; e no, segundo caso, relacionado aos recursos hídricos e à produção de alimentos; consequência dos impactos negativos que as usinas eólicas causam nos meios físicos e bióticos (Santos e Araújo, 2023; Cunha et al., 2024; Sousa et al., 2024). Vale adicionar um dos principais impactos sociais da energia eólica não apresentado na análise multicritério da ARSP (2023), referente à poluição sonora que atinge as comunidades presentes no entorno das usinas, além de conflitos de terra entre população local e empreendedores do mercado de energia eólica (Silva et al., 2022; Aquino et al., 2024).

Em relação à análise de priorização, a estratégia fomentar a energia eólica apresentou prioridade 1 (maior prioridade, entre 1, 2 ou 3) no Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do Espírito Santo - 2050 (ARSP, 2023), devido ao seu grande potencial de mitigação de gases de efeito estufa. Estima-se que haja um potencial de mitigação de 0,798; 1,154; e 5,410 Mt CO₂/ano, respectivamente, para 2030; 2040; e 2050, por energia eólica no estado do Espírito Santo (ARSP, 2023). A efeito de comparação, o consumo final de eletricidade gerou a emissão de 3.187,2 mil tCO₂ (3,2 MtCO₂) no estado em 2023 (ARSP, 2024). Assim, o potencial de mitigação por energia eólica em 2030; 2040; e 2050 equivaleriam, respectivamente, à aproximadamente 25%; 36%; e 170% das emissões por consumo de eletricidade em 2023. Adicionalmente, outras estratégias que dizem respeito às fontes renováveis apresentaram prioridade 1 no Plano, incluindo incentivar energia solar, da biomassa, do hidrogênio e hidroeletricidade, o que demonstra a importância da transição energética para mitigar as emissões de gases de estufa no estado (ARSP, 2023).

Por fim, segundo Campos et al. (2024), a energia eólica é uma grande oportunidade para diversificar a matriz energética do estado do Espírito Santo, tornando-a mais condizente com uma economia de baixo carbono. Esses autores apontam, ainda, que é necessário investimentos públicos e privados no

desenvolvimento de uma indústria de energia renovável, considerando-se premissas socioeconômicas e ambientais, além da formação de mão de obra qualificada e de uma governança regulatória adequada.

4 Conclusões

As considerações finais do trabalho são apresentadas a seguir:

- a) O potencial eólico existente no Espírito Santo é expressivo, devido à suas características naturais, que incluem uma extensa área litorânea, havendo uma estimativa de potência instalável de 269.269 MW, sendo 127.189 MW para torres de 200 m em ambiente *onshore* e 142.080 MW para torres de 100 m com até 50 m de profundidade de lâmina d'água em ambiente *offshore*, segundo dados extraídos do Atlas Eólico Onshore e Offshore do Espírito Santo;
- b) Esse potencial poderia suprir a geração e o consumo de energia elétrica do estado com grande excedente, onde a exploração de, respectivamente, 3,5% do potencial *onshore*, 3,1% do potencial *offshore* e 1,6% do potencial somado (*onshore* e *offshore*) seriam suficientes para suprir o consumo de energia elétrica do estado; e a exploração de respectivamente 1,7%; 1,5%; e 0,8% do potencial eólico *onshore*, *offshore* e somado seriam equivalentes a geração de energia elétrica do estado, com base em dados de geração e consumo presentes no Balanço Energético do Espírito Santo 2024;
- c) O estado ainda não conta com geração eólica em seu território, todavia, há expectativas para o seu início já que existem seis empreendimentos eólicos *offshore*, que somam a potência de 11.230 MW, além de um empreendimento híbrido (eólico, solar e diesel) *onshore*, em processo de licenciamento ambiental junto ao IBAMA; e
- d) O início da exploração do potencial eólico do Espírito Santo permitiria reduzir a dependência de energia elétrica em relação a outros estados, além de promover a diversificação da matriz elétrica estadual por meio de uma fonte de baixo carbono.

Referências bibliográficas

- Abraham-Dukuma, M.C. (2021). 'Dirty to clean energy: Exploring 'oil and gas majors transitioning''. *The Extractive Industries and Society*, [online], 8(3), p.100936. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100936>.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2025). *Sistema de Informações de Geração da ANEEL*. 2024. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao> (acessado em 26 de março de 2025).
- Aquino, TRB, Souza, FCS e Perlin, AP (2024) 'Planos e programas de prevenção e mitigação de impactos socioambientais: uma análise dos empreendimentos de energia eólica do Rio Grande do Norte – Brasil, entre 2010 e 2023', *Revista Ciência Geográfica*, [online], 28(2), p. 314–324. <https://doi.org/10.18817/26755122.28.2.2024.3849>.
- ARSP - Agência de Regulação de Serviços Públicos do Estado do Espírito Santo (2023). *Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do Espírito Santo - 2050*. <https://arsp.es.gov.br/energia/planodescarbonizacao> (acessado em 21 de fevereiro 2025).
- ARSP - Agência de Regulação de Serviços Públicos do Estado do Espírito Santo (2024). *Balanço Energético do Estado do Espírito Santo 2024 - ano base 2023*. <https://arsp.es.gov.br/balancoenergetico>. (acessado em 20 de fevereiro de 2025).
- Assis, BC, Costa, AF da, Costa, I de M e Murakami, G (2024) 'Análise sobre utilização da energia eólica offshore no Brasil', *Caderno Pedagógico*, [online], 21(12), p. e11124. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n12-217>.
- Brasil (2025). 'Lei nº 15.097 de 10/01/2025'. Disciplina o aproveitamento de potencial energético offshore; e altera a Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, a Lei nº 14.182, de 12 de julho de 2021, e a Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. *Diário Oficial da União*, Brasília, 10/01/2025. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/L15097.htm (acessado em 10 de fevereiro de 2025).
- Campos, AF, Pagel, UR e Montibeler, EE (2024). 'Estudo da transição energética no estado do Espírito Santo a partir de fontes renováveis de energia offshore', *Latin American Journal of Energy Research*, [online], 11(2), pp.241–248. <https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n2.p241-248>

- Cunha, GS, Silva, JA e Silva, WG (2024) ‘Os efeitos adversos da energia eólica no Brasil: Uma perspectiva crítica’, *Princípios*, [online], 43(170), p. 136–155. <https://doi.org/10.14295/principios.2675-6609.2024.170.007>.
- Dongo, DF e Relvas, S (2025). ‘Evaluating the role of the oil and gas industry in energy transition in oil-producing countries: A systematic literature review’, *Energy Research & Social Science*, [online], 120, p.103905. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103905>.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2024). *Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023*. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024> (acessado em 11 de fevereiro de 2025).
- Feio, AD, Silva, FC, Teixeira, MA, Lopes Maria, AC e Silva, GBS (2024). ‘Viability of renewable energy integration in isolated systems in Brazil – A case study at Trindade Island (Espírito Santo, Brazil)’, *Renewable Energy*, [online], 222, p.119805. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119805>.
- Halttunen, K, Slade, R e Staffell, I (2023). Diversify or die: Strategy options for oil majors in the sustainable energy transition. *Energy Research & Social Science*, [online], 104, p.103253. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103253>.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2025). *Licenciamento Ambiental Federal - Consultas*. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/consultas> (acessado em 20 de fevereiro de 2025).
- IEA - International Energy Agency (2025). *Electricity generation by source, World, 1990-2022*. <https://www.iea.org/data-and-statistics> (acessado em 20 de fevereiro 2025).
- ISI-ER - Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis (2022). Atlas Eólico Onshore e Offshore do Espírito Santo. Disponível em: <http://atlas.sectides.es.gov.br/> (acessado em 10 de fevereiro de 2025).
- Long, Y, Chen, Y, Xu, C, Li, Z, Liu, Y e Wang, H (2023). ‘The role of global installed wind energy in mitigating CO₂ emission and temperature rising’, *Journal of Cleaner Production*, [online], 423, p.138778. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138778>.
- McKenna, R, Lilliestam, J, Heinrichs, HU, Weinand, J, Schmidt, J, Staffell, I, Hahmann, AN, Burgherr, P, Burdack, A, Bucha, M, Chen, R, Klingler, M, Lehmann, P, Lowitzsch, J, Novo, R, Price, J, Sacchi, R, Scherhauser, P, Schöll, EM e Visconti, P (2025). ‘System impacts of wind energy developments: Key research challenges and opportunities’, *Joule*, [online] 9(1), p.101799. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.11.016>.
- Nóbrega, JAS (2025). ‘Estudo sobre a construção econômico-política da rede de produção de energia eólica no Brasil’, *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, [online], 14(1), pp. 66-96. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v14n1.17262>
- Oliveira, AM, Sellitto, MA e Flores, JS (2022). ‘Impactos econômicos, sociais e ambientais da geração de energia eólica em comunidades do Rio Grande do Norte’, *Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade*, [online], 12(4), pp.107–119. <https://doi.org/10.18696/reunir.v12i4.1449>.
- Pereira, LI (2023). ‘A instalação de projetos de energia eólica no Brasil: uma análise a partir do papel do Estado’, *Revista GeoUECE*, [online], 12(23), p.e2023002. <https://doi.org/10.59040/geouece.2317-028x.v12.n23.e2023002>.
- Ramalho, E, Lima, F, López-Maciél, M, Madaleno, M, Villar, J, Dias, MF, Botelho, A, Meireles, M e Robaina, M (2025). ‘Understanding wind Energy Economic externalities impacts: A systematic literature review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [online], 209, p.115120. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115120>.
- Sadorsky, P (2021). ‘Wind energy for sustainable development: Driving factors and future outlook’, *Journal of Cleaner Production*, [online], 289, p.125779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125779>.
- Sampaio, KRA e Batista, V (2021). ‘O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura’, *Research, Society and Development*, [online], 10(1), p.e57710112107. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12107>.

Santos, PEL e Araújo, FJC (2023). ‘O desenvolvimento da energia eólica no Brasil: uma revisão bibliográfica’. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, [online], 9(6), pp. 2978–2989, <https://doi.org/10.51891/rease.v9i6.10487>.

Silva, JA (2023). ‘Energia Eólica no Brasil: Avanços e Desafios’, *Princípios*, [online], 42(167), p. 179–202. <https://doi.org/10.4322/principios.2675-6609.2023.167.010>.

Silva, LF, Silva, RN, Andrade, HMLS e Andrade, LP (2022). ‘Impactos socioambientais de parques eólicos no Brasil: uma revisão da literatura’, *Diversitas Journal*, [online], 7(3), pp.1508–1515. <https://doi.org/10.48017/dj.v7i3.2004>.

Silva, SL, Linard, FMA, Almeida, AR e Santos Junior, BF (2024). ‘Análise da complementaridade de fontes intermitentes no nordeste brasileiro’, *Latin American Journal of Energy Research*, [online] 11(1), pp.154–166. <https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n1.p154-166>.

Sousa, GS, Silva, JA e Silva GW (2024). ‘Os efeitos adversos da energia eólica no Brasil’, *Princípios*, [online], 43(170), pp.136–155. <https://doi.org/10.14295/principios.2675-6609.2024.170.007>.

Summerfield-Ryan, O e Park, S (2023). ‘The power of wind: The global wind energy industry’s successes and failures’, *Ecological Economics*, [online], 210, p.107841. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107841>.

Tolmasquim, MT, Correia, TB, Porto, NA e Kruger, W (2021). ‘Electricity market design and renewable energy auctions: The case of Brazil’, *Energy Policy*, [online], 158, p.112558. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112558>.

Vieira, ANC, Ahlert, A, Hansen, JPM e Piffer, MCR (2023), ‘Crise hídrica e segurança energética: as vantagens e desvantagens dos sistemas fotovoltaico e eólico como alternativas para a geração de energia elétrica no Brasil’, *Revista Brasileira de Energia*, [online], 29(3). <https://doi.org/10.47168/rbe.v29i3.794>.

Werner, D e Lazaro, LLB (2023). ‘The policy dimension of energy transition: The Brazilian case in promoting renewable energies (2000–2022)’, *Energy Policy*, [online], 175, p.113480. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113480>.