

Potencial e Limitações da Energia Eólica Offshore: Um Mapeamento Bibliométrico

Carla N. Medina Zumbé (IFPB, Campus João Pessoa), Maria Eduarda F. Amorim (IFPB, Campus João Pessoa), Maria do Socorro L. Buriti (IFPB, Campus João Pessoa), Walmeran José T. Júnior (IFPB, Campus João Pessoa).

E-mails: carla.medina@academico.ifpb.edu.br, maria.amorim@academico.ifpb.edu.br, maria.buriti@ifpb.edu.br, walmeran@ifpb.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.04.01-0 Geração de Energia Elétrica.

Palavras-chave: "wind energy"; "offshore wind"; "wind farm offshore"; e "wind technology".

1. Introdução

Com os impactos ambientais ocorridos mundialmente ao longo dos anos, as energias renováveis ganham destaque na agenda global, impulsionando a transição energética, com ênfase na energia eólica. Essa forma de energia é proveniente da conversão da energia cinética do vento em energia elétrica por meio de aerogeradores, sendo uma fonte limpa, renovável e amplamente disponível (Ribeiro, 2017). Nesse contexto, a energia eólica é considerada uma das fontes mais promissoras, por ser inesgotável, não poluente e distribuída globalmente (Martinho, 2016). Existem dois tipos principais de geração: *onshore* (em terra) e *offshore* (no mar), sendo esta última destacada por sua eficiência na redução de emissões de gases de efeito estufa e na diversificação da matriz energética (Carvalho *et al.*, 2024). Segundo o *Global Wind Energy Council* (GWEC, 2019), países como Reino Unido, Alemanha e China concentram mais de 90% da capacidade instalada mundial de energia eólica *offshore*. Em 2018, foram adicionados 4,5 GW, com a China liderando pela primeira vez as novas instalações. A Europa continua sendo o maior mercado global, com destaque para Reino Unido e Alemanha (GWEC, 2019a).

No Brasil, de acordo com Amarante *et al.*, (2001), o potencial é elevado tanto em terra quanto no mar, principalmente na região Nordeste, entre o Cabo de São Roque (RN) e o Ceará, por exemplo, onde os ventos são constantes e intensos. Apesar disso, esse potencial permanece subutilizado em comparação ao cenário internacional. Mesmo com a expansão global da energia eólica *offshore* e o crescimento dos investimentos, ainda há uma lacuna significativa na consideração de critérios socioambientais para definição dos locais de instalação. A operação desses parques pode gerar impactos relevantes nos ecossistemas marinhos, abrangendo dimensões biológicas, físicas e socioeconômicas (Carvalho, Nobre e Frota, 2024). Assim, este estudo tem como objetivo geral realizar uma análise bibliométrica da produção científica sobre energia eólica *offshore*. Especificamente, busca-se identificar os países líderes na área, analisar os entraves ao avanço dessa tecnologia no Nordeste brasileiro e comparar o estágio de desenvolvimento do Brasil com outros países da América Latina.

2. Materiais e métodos

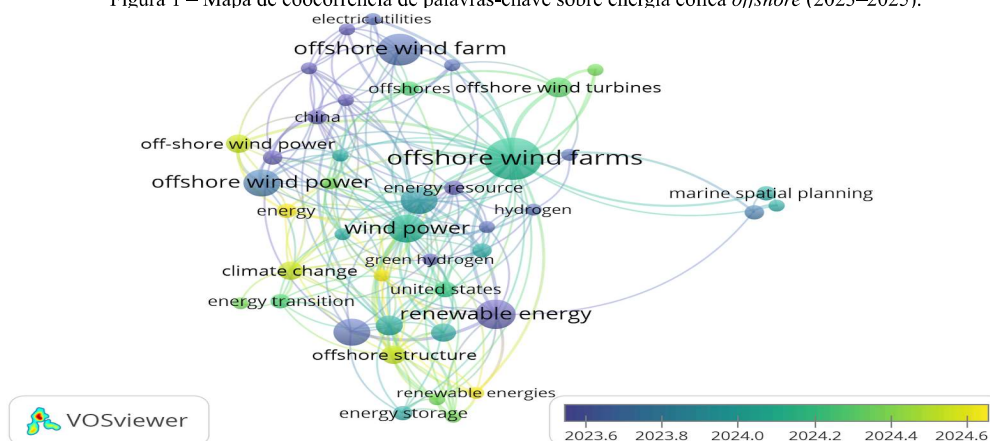
O presente estudo foi desenvolvido por meio de uma análise bibliométrica com foco na produção científica sobre energia eólica *offshore*. Os dados foram coletados nas bases *Scopus*, *Web of Science (WOS)* e *Periódicos CAPES*, acessadas via a instituição de ensino considerando artigos publicados no período temporal de 2023 a 2025, nos idiomas português, espanhol e inglês. Inicialmente, foram encontrados 73 artigos acerca do tema foco utilizando as seguintes palavras-chave: "wind energy"; "offshore wind"; "wind farm offshore"; e "wind technology".

A partir dos artigos selecionados, foi criado um critério de exclusão onde os artigos precisam: a) ter relação direta com o tema; b) ter acesso livre para análises e c) ter alinhamento com os objetivos do estudo. Após leitura detalhada, os dados foram organizados no *Google Drive* para facilitar a sistematização. A análise bibliométrica, realizada com o software *VOSviewer*, mapeou as principais palavras-chave e os países mais produtivos, com resultados ilustrados em figuras que evidenciam as principais tendências da pesquisa global sobre energia eólica *offshore*.

3. Resultados e discussão

O resultado da análise bibliométrica abaixo, refere-se à coocorrência de palavras-chave nos artigos selecionados, permitindo identificar os temas mais recorrentes e suas inter-relações no campo da energia eólica *offshore*.

Figura 1 – Mapa de coocorrência de palavras-chave sobre energia eólica *offshore* (2023–2025).

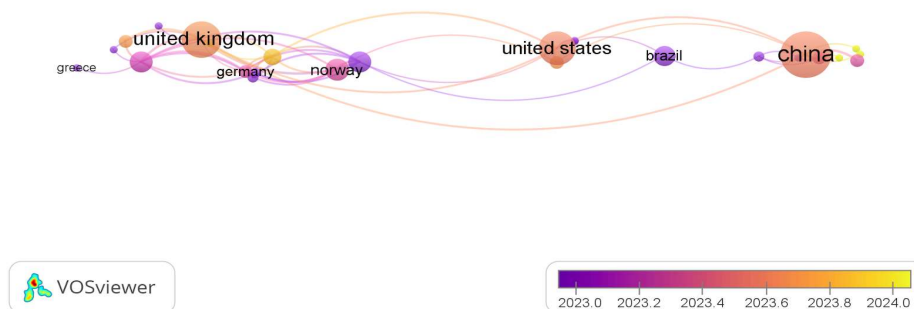


Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 1 apresenta a centralidade de termos como *offshore wind farms*, *wind power* e *renewable energy*, indicando o predomínio de abordagens técnicas voltadas à geração de energia. Também aparecem conexões com termos como *climate change*, *energy transition* e *marine spatial planning*, sugerindo um crescimento recente no interesse por aspectos socioambientais e estratégias de planejamento costeiro, alinhando a discussão técnica com preocupações ambientais e políticas energéticas sustentáveis.

A Figura 2 apresenta uma análise bibliométrica realizada com base nos dados extraídos das bases *Web of Science* e *Scopus*, onde demonstrou um crescimento expressivo da produção científica sobre energia eólica *offshore* entre os anos de 2023 e 2025. Segundo Ceballos *et al.*, (2024), países como China, Estados Unidos, Reino Unido, representam maior produção científica nessa área.

Figura 2 - Mapa de publicação entre países na área de energia eólica *offshore*.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Concentrando-se majoritariamente em países com maior investimento tecnológico e políticas energéticas consolidadas, Ceballos *et al.*, (2024) afirma que o Reino Unido, por exemplo, é apontado como líder global na implementação de parques eólicos *offshore*, sendo referência em integração à rede elétrica e licenciamento ambiental acelerado.

A China por outro lado, tem se destacado por um rápido crescimento da capacidade instalada, liderando a expansão nos últimos anos com grandes projetos costeiros associados a planos nacionais de transição energética. Já o Estados Unidos aparece entre os principais produtores científicos e tecnológicos na área, com forte atuação em pesquisa de métodos de previsão de produção, uso de inteligência artificial e estratégias de mitigação da intermitência (Ceballos *et al.*, 2024). Países líderes em publicações sobre tecnologia *offshore* impulsionam o interesse global, influenciando o Brasil na busca por estratégias e ações jurídicas para desenvolver a energia eólica *offshore*.

No contexto latino-americano, o Brasil se destaca pelo alto potencial técnico para energia eólica *offshore*, especialmente na região Nordeste, com ventos médios entre 6 e 9 m/s (EPE, 2020). Segundo Vinhoza *et al.*, (2023), o país é um mercado promissor, com grande potencial ainda não explorado. O *World Bank Group* (2024) estima mais de 1.200 GW disponíveis, sendo 480 GW em águas rasas e 748 GW em áreas profundas. O Nordeste concentra o maior potencial eólico *offshore* do país e apresenta o menor risco financeiro, sendo a região mais competitiva para a instalação de parques, superando estados como Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro (Ozato *et al.*, 2023).

Embora o Brasil tenha elevado potencial para a geração de energia eólica *offshore*, esse recurso ainda é subexplorado devido à ausência de regulamentação, limitações de infraestrutura e desafios logísticos, exigindo ações coordenadas para viabilizar seu desenvolvimento (Carvalho, Nobre e Frota, 2024). No Nordeste, apesar de áreas promissoras terem sido descartadas por causa da batimetria íngreme, apenas 7,5% da área tecnicamente viável é excluída por restrições ambientais e sociais, sem comprometer o avanço da atividade (Vinhoza *et al.*, 2023). A literatura ainda carece de análises sobre impactos socioambientais, especialmente em relação à biodiversidade marinha e às comunidades tradicionais (Carvalho, Nobre e Frota, 2024). Dentre os principais impactos, destacam-se colisões de aves, alterações em espécies marinhas e ruídos subaquáticos (EPE, 2020). Além de possíveis prejuízos à pesca artesanal em áreas próximas à costa (Gorayeb *et al.*, 2024).

Em comparação com outros países da América Latina, o Brasil contrasta seu elevado potencial técnico para energia eólica *offshore* com um desenvolvimento ainda lento. A ausência de regulamentação específica, infraestrutura portuária adequada e a burocracia no licenciamento ambiental dificultam o avanço dos projetos (Morais, 2024). Já México e Chile, mesmo com menor potencial, têm avançado com políticas públicas mais ágeis, projetos-piloto e modelos de governança. O México destaca-se pela cooperação internacional, enquanto o Chile foca na regulação ambiental e diversificação da matriz energética (Ceballos *et al.*, 2024).

4. Considerações finais

A análise bibliométrica entre 2023 e 2025 revelou que os estudos sobre energia eólica *offshore* priorizam termos como *offshore wind farms*, *wind power* e *renewable energy*, com foco técnico, mas já incorporando temas como sustentabilidade e transição energética. Destacam-se China, Reino Unido e Estados Unidos como líderes na produção

científica e na aplicação prática da tecnologia. No Brasil, apesar do alto potencial técnico, especialmente no Nordeste, o avanço é limitado por falta de regulamentação, infraestrutura e atenção aos impactos socioambientais. Em contrapartida, México e Chile têm evoluído mais rapidamente com políticas públicas e projetos-piloto.

Os resultados indicam que o Brasil reúne condições climáticas, geográficas e técnicas ideais para liderar a geração de energia eólica *offshore* na América Latina. Contudo, a liderança do Brasil dependerá da superação de entraves institucionais e da articulação de políticas públicas que viabilizem socialmente os projetos *offshore*, promovendo uma transição energética com eficiência, justiça ambiental e sustentabilidade econômica.

Referências

- AMARANTE, O. A. C. do; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A. L. de. *Atlas do potencial eólico brasileiro*. Brasília: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, 2001. 98 p. Disponível em: https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf. Acesso em: 28 mai. 2025.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Roadmap eólica offshore Brasil: perspectivas e caminhos para energia eólica marítima*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 14 dez. 2020. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf#search=Roadmap. Acesso em: 14 mai 2025.
- CARVALHO, N. S. F. de S.; NOBRE, F. E. C.; FROTA, A. J. A. A relação entre energia eólica offshore e pegada ecológica: um estudo sobre sustentabilidade nas energias renováveis. *Revista Capital Científico - Eletrônica*, Ceará, v. 22, n. 4, p. 1-21, 18 dez. 2024. Disponível em: <http://www.doi.org/10.5935/2177-4153.20240021>. Acesso em: 15 mai. 2025.
- CEBALLOS, J. S.; LAURENS, R. R.; RAMOS, R. A.; PULIDO; A. D. P.; BELTRAN, J. C. N. B.; TORO, B. V. Methods of wind energy harnessing: a state-of-the-art and bibliometric analysis. *Ingeniería y Competitividad*, Colombia, v. 26, n. 2, 24 jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.25100/iyce.v26i2.13503>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; XAVIER, T.; SOARES, M. O.; TEIXEIRA, C. E. P.; SANTOS, A. M. F.; CARVALHO, R. G. Emerging challenges of offshore wind energy in the Global South: perspectives from Brazil. *Energy Research & Social Science*, Amsterdã, v. 113, p. 103542, 10 abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103542>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- MARTINHO, F. M. *Energia eólica: estudos e reflexões sobre a viabilidade do potencial dessa matriz energética no Brasil*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, São Paulo, ano 1, v. 10, p. 25–38, 18 nov. 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-de-producao/energia-eolica>. Acesso em: 14 mai. 2025.
- MORAIS, E. J. F. Situação atual e perspectivas de futuro das energias solar e eólica no Brasil. 2024. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraubas, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/12813>. Acesso em: 14 mai. 2025.
- OZATO, J. Y.; AQUILA, G.; PAMPLONA, E. O.; ROCHA, L. C. S.; ROTELLA JUNIOR, P. Offshore wind power generation: an economic analysis on the Brazilian coast from the stochastic LCOE. *Ocean & Coastal Management*, Rio de Janeiro, v. 244, p. 106835, 1 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106835>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- RIBEIRO, G. L. Parques eólicos: impactos socioambientais provocados na região da Praia do Cumbe, no município de Aracati, Ceará. **Tese (doutorado)** - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/34819701-7ace-4493-9207-d51e53731a14>. Acesso em: 15 mai. 2025.
- VINHOZA, A.; LUCENA, A. F. P.; ROCHEDO, P. R. R.; SCHAEFFER, R. Brazil's offshore wind cost potential and supply curve. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Rio de Janeiro, v. 57, p. 103151, 27 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103151>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- WORLD BANK GROUP. *Cenários para o desenvolvimento de eólica offshore no Brasil*. Resumo Executivo. [Brasília]: Ministério de Minas e Energia (MME); Washington, DC: World Bank Group, 16 jul. 2024. 16 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-recebe-estudo-para-o-desenvolvimento-de-eolicas-offshore-no-brasil/ResumoExecutivoCenariosparaoDesenvolvimentodeEolicaOffshore.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2025.