

PERSPECTIVA PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA AZUL: ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO INTERNACIONAL DE MERCADOS DE ENERGIA OFFSHORE

PERSPECTIVE FOR THE BLUE ENERGY TRANSITION: ANALYSIS OF THE INTERNATIONAL DEVELOPMENT OF OFFSHORE ENERGY MARKETS

TATIANE DE SOUSA SERAFIM
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

GABRIEL RALILE DE FIGUEIREDO MAGALHÃES
FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV

THAUAN SANTOS

JORCELINO RINALDE DE PAULO

Comunicação:

O XIII SINGEP foi realizado em conjunto com a 13th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

Agradecimento à órgão de fomento:

Os autores agradecem ao Grupo Economia do Mar pelo apoio a esta pesquisa.

PERSPECTIVA PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA AZUL: ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO INTERNACIONAL DE MERCADOS DE ENERGIA OFFSHORE

Objetivo do estudo

Apresentar um panorama internacional do desenvolvimento dos mercados de energia offshore, com ênfase na eólica, analisando aspectos setoriais, tecnológicos, econômicos e regulatórios, identificando desafios e oportunidades no contexto da transição energética global.

Relevância/originalidade

O estudo reúne dados atualizados e comparativos sobre um setor estratégico para a descarbonização, oferecendo visão integrada que conecta inovação tecnológica, finanças e políticas energéticas, contribuindo para um campo ainda pouco explorado na literatura nacional sobre transição energética azul.

Metodologia/abordagem

Pesquisa qualitativa, com elementos quantitativos, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica sistemática e análise documental de fontes internacionais, complementada por triangulação de dados para assegurar maior confiabilidade e validade dos resultados.

Principais resultados

Os resultados apontam forte expansão da eólica offshore, sobretudo na Ásia-Pacífico e Américas, mas revelam desafios relacionados a custos, gargalos logísticos, financiamento e regulação, indicando necessidade de políticas adaptadas para garantir competitividade e sustentabilidade global.

Contribuições teóricas/metodológicas

A pesquisa avança ao integrar perspectivas setoriais, tecnológicas e econômicas em um quadro analítico comparativo, contribuindo para o aprofundamento do debate acadêmico sobre transição energética, metodologias híbridas de análise e o papel estratégico das energias oceânicas.

Contribuições sociais/para a gestão

Oferece subsídios para formulação de políticas públicas e decisões empresariais, orientando investimentos sustentáveis e estratégias de governança. Reforça a necessidade de alinhar expansão energética com inclusão socioeconômica e preservação ambiental, fortalecendo a segurança energética global.

Palavras-chave: Transição Energética Azul, Energia Offshore, Eólica Marítima, Mercados Internacionais, Sustentabilidade Energética

PERSPECTIVE FOR THE BLUE ENERGY TRANSITION: ANALYSIS OF THE INTERNATIONAL DEVELOPMENT OF OFFSHORE ENERGY MARKETS

Study purpose

To present an international overview of offshore energy markets, with emphasis on offshore wind, analyzing sectoral, technological, economic, and regulatory aspects, while identifying challenges and opportunities within the broader context of the global energy transition.

Relevance / originality

This study compiles updated, comparative data on a strategic sector for decarbonization, providing an integrated view connecting technological innovation, finance, and energy policies, thus contributing to an area still underexplored in national literature on the blue energy transition.

Methodology / approach

Qualitative research with quantitative elements, exploratory and descriptive in nature, based on systematic literature review and documentary analysis of international sources, complemented by data triangulation to ensure greater reliability and validity of the findings.

Main results

Findings reveal strong expansion of offshore wind, particularly in Asia-Pacific and the Americas, but highlight challenges related to costs, logistics bottlenecks, financing, and regulation, stressing the need for tailored policies to ensure global competitiveness and sustainability.

Theoretical / methodological contributions

The research advances by integrating sectoral, technological, and economic perspectives into a comparative analytical framework, contributing to the academic debate on energy transition, hybrid methodologies, and the strategic role of ocean-based renewable energies.

Social / management contributions

Provides inputs for public policy formulation and corporate decision-making, guiding sustainable investments and governance strategies. It reinforces the importance of aligning energy expansion with socioeconomic inclusion and environmental preservation, strengthening global energy security.

Keywords: Blue Energy Transition, Offshore Energy, Offshore Wind, International Markets, Energy Sustainability

PERSPECTIVA PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA AZUL: ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO INTERNACIONAL DE MERCADOS DE ENERGIA OFFSHORE

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço do reconhecimento da importância socioeconômica e ambiental do mar, a exploração de seu espaço e recursos está cada vez mais proeminente no cenário internacional. Segundo o mais recente relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2025), *The Ocean Economy to 2050*, a economia oceânica global teve um crescimento de USD 1,3 trilhão de valor agregado bruto em 1995 para USD 2,6 trilhões em 2020, representando um aumento de cerca de 100% em 25 anos, impulsionado, sobretudo, pelos setores de turismo e de petróleo e gás offshore. Se considerada como um país, a economia oceânica ocuparia a quinta posição entre as maiores economias do mundo, contribuindo para a geração de emprego e para o alcance das metas globais de sustentabilidade. O relatório aponta que diferentes caminhos para uma transição energética global afetarão o crescimento econômico dos oceanos de formas distintas e que, na busca por uma transição acelerada para fontes de baixo carbono, a economia oceânica poderá crescer até 2050, atingindo aproximadamente 2,5 vezes o tamanho registrado em 1995.

Em paralelo, é crescente a literatura que tem discutido a importância do uso do mar para a sociedade, em particular através da exploração energética (Shadman *et al.*, 2019; Santos, 2021; Estefen; Shadman, 2022; Kildow; McIlgorm, 2010). Ainda que, até então, não se constate uma mudança de direção em larga escala dentro de uma indústria tradicionalmente dominada por combustíveis fósseis para um mercado de energias renováveis e menor impacto ambiental (Mäkitie *et al.*, 2019; Shadman *et al.*, 2019), estudos têm demonstrado uma crescente participação de fontes de menor impacto ambiental na matriz global (IRENA, 2021; GWEC, 2025b).

A *International Energy Agency* (IEA, 2025a) indica que a demanda global por energia segue em expansão, sobretudo nos países em desenvolvimento. Em 2024, as energias renováveis foram responsáveis pela maior parte do crescimento do fornecimento global de energia, representando 38% do total, seguidas pelo gás natural com 28%, carvão com 15%, petróleo com 11% e energia nuclear com 8%. Nesse mesmo ano, 80% do aumento da geração global de eletricidade foi suprido por fontes renováveis e energia nuclear. Segundo a *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2025a), a capacidade instalada de energia renovável per capita alcançou o recorde histórico de 478 watts globalmente em 2023, embora ainda esteja aquém das necessidades para garantir acesso universal à energia moderna e sustentável. Apesar do crescimento de fontes renováveis offshore, como a geotérmica, a solar e a oceânica, projeções indicam que seu papel pode ser reduzido sem apoio político e investimentos consistentes. Em contrapartida, o *Global Wind Energy Council* (GWEC, 2025) projeta que as instalações anuais de capacidade eólica offshore crescerão de 8 GW em 2024 para 34 GW em 2030, reforçando sua relevância estratégica na transição energética.

Nesse panorama, surge a seguinte questão de pesquisa que guia este trabalho: qual o atual estágio de desenvolvimento internacional dos mercados de energias offshore, em particular no setor de eólica offshore, considerando variáveis setoriais, tecnológicas, econômicas e regulatórias? Para responder a essa questão, o presente estudo possui como objetivo geral apresentar, de forma breve e a contextualizar, um panorama do mercado internacional de energias offshore, particularmente nos setores de petróleo e gás e de fontes renováveis, e, de forma específica, discutir a fonte eólica offshore. Para alcançar esse objetivo geral, definem-se três objetivos específicos: analisar o panorama atual e as projeções de

crescimento das energias offshore, destacando as diferenças entre mercados e regiões; identificar os avanços tecnológicos, modelos de financiamento e custos que influenciam a viabilidade econômica da energia eólica offshore; e avaliar os principais desafios e oportunidades para a consolidação dessa matriz energética no contexto da transição energética global. Estabelece-se como marco temporal o período de 2018-2025, bem como as respectivas projeções para as próximas duas décadas.

A relevância deste estudo decorre da necessidade de reunir informações atualizadas e comparativas sobre um setor estratégico para a descarbonização e a segurança energética mundial, em um momento caracterizado pela redefinição de políticas energéticas, pela aceleração tecnológica e pela busca por investimentos sustentáveis. Ao integrar dados provenientes de instituições internacionais de referência e de literatura científica, o trabalho oferece subsídios para a formulação de políticas públicas, para a tomada de decisão empresarial e para a pesquisa acadêmica, contribuindo para um entendimento aprofundado das oportunidades e limitações da expansão das energias offshore.

A pesquisa foi conduzida por meio de uma abordagem qualitativa com elementos quantitativos, de natureza exploratória e descritiva, fundamentada em análise documental e revisão bibliográfica sistemática. Foram consultados relatórios e bases de dados de organizações como OCDE, IEA, IRENA, OES e GWEC, além de artigos indexados em bases científicas, garantindo uma visão abrangente e embasada do tema.

No que tange à estrutura, este artigo está organizado em cinco seções. A primeira apresenta o contexto, a questão de pesquisa, os objetivos, a relevância e a metodologia adotada. A segunda reúne o referencial teórico, discutindo a configuração atual do setor de energia offshore e seus principais segmentos. A terceira descreve os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa. A quarta seção expõe e discute os resultados obtidos, integrando dados setoriais e interpretações analíticas. Por fim, a quinta seção apresenta as conclusões, destacando implicações, recomendações e sugestões para estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Panorama do Setor de Energia Offshore Internacional

Nas últimas décadas, a configuração do setor energético offshore tem passado por uma reorientação estratégica significativa. Pressões climáticas globais, compromissos com a transição para fontes de baixo carbono e avanços tecnológicos em infraestrutura marinha vêm remodelando a forma como a energia é gerada no ambiente oceânico (IEA, 2024). Esse processo de transformação é marcado por um duplo movimento: de um lado, a permanência de fontes fósseis – principalmente petróleo e gás natural, como componentes centrais de segurança energética para muitos países; de outro, a expansão acelerada das fontes renováveis offshore, como a eólica, a solar flutuante e as tecnologias oceânicas emergentes (OES, 2025).

A diversificação da matriz offshore é impulsionada tanto por políticas públicas, leilões, prêmios fixos, subsídios e créditos fiscais, quanto por ganhos de competitividade tecnológica que tornam algumas fontes renováveis economicamente viáveis frente às alternativas fósseis (IEA, 2024). Essa tendência é reforçada pela necessidade de muitos países reduzirem sua dependência de importações energéticas, especialmente em contextos de instabilidade geopolítica e volatilidade nos preços internacionais de combustíveis.

2.1.1 Petróleo e Gás

Apesar do crescimento das energias renováveis, o petróleo e o gás offshore ainda mantêm papel estratégico no suprimento energético global, especialmente para países exportadores que dependem dessa receita para manter a estabilidade econômica. Segundo

estimativas da IEA (2018), até 2040 a produção de petróleo offshore poderá variar de um aumento modesto, alcançando 27,4 milhões de barris equivalentes por dia, até uma redução significativa para 18,7 milhões, dependendo do cenário político e da intensidade da transição energética. Já a produção de gás natural offshore apresenta trajetória consistente de crescimento, podendo chegar a 29,6 milhões de barris equivalentes por dia, o que reforça sua função como combustível de transição para sistemas energéticos menos intensivos em carbono.

No comércio internacional, dados do *International Trade Centre* (ITC, 2025) apontam que as exportações de petróleo cresceram 17% entre 2020 e 2024, sendo lideradas por Rússia, Estados Unidos, Emirados Árabes Unidos, Canadá, Iraque, Noruega e Brasil, muitos deles com operações offshore de grande porte e alto nível tecnológico. Essa concentração de produção e exportação garante competitividade a esses países, mas também os expõe a riscos geopolíticos e econômicos, sobretudo em contextos de conflito e instabilidade nos preços internacionais.

2.1.2 Energias Renováveis Offshore

O avanço das energias renováveis offshore é um dos fenômenos mais marcantes da atual transição energética. Projeções da IEA (2024) indicam que a capacidade global de fontes oceânicas e eólica offshore poderá aumentar cerca de 5,08 e 3,72 vezes, respectivamente, até 2030, resultado direto de políticas de incentivo e da redução do custo nivelado de eletricidade (LCOE). Embora a aplicação prática de tecnologias como a maremotriz e a térmica oceânica ainda seja restrita a poucos países, como Coreia do Sul, França, China, Japão, Índia e Holanda (OES, 2025), o avanço de projetos-piloto demonstra potencial de expansão futura, especialmente em nações com capacidade tecnológica consolidada. A energia solar flutuante, apesar de seu potencial promissor, ainda enfrenta barreiras regulatórias e ambientais, além de custos relativamente altos, mas estudos indicam que a automação e a melhoria nas práticas de operação e manutenção podem acelerar sua adoção (Selj; Wieland; Tsanakas, 2025).

No caso da energia eólica offshore, as projeções são ainda mais robustas. Segundo a Global Wind Energy Council (GWEC, 2025), a capacidade instalada anual deverá crescer de 81,5 gigawatts (GW) em 2025 para mais de 219 GW em 2030, impulsionada por mercados consolidados na Europa e por novos polos de desenvolvimento na Ásia-Pacífico e nas Américas.

2.2 Um Olhar Mais Profundo: Eólica Offshore

A energia eólica offshore consolidou-se como um dos pilares da transição energética azul, destacando-se por sua alta capacidade de geração e pela competitividade de custos em mercados maduros. Estima-se que a capacidade global instalada possa ultrapassar 486 GW até 2033, resultado da combinação entre avanços tecnológicos, como turbinas de mais de 15 MW e fundações flutuantes para águas profundas, e políticas públicas orientadas para a descarbonização (GWEC, 2025). Contudo, o crescimento acelerado do setor é acompanhado de desafios complexos, que incluem gargalos logísticos, custos elevados de capital, trâmites burocráticos para licenciamento e resistência social em áreas costeiras (GWEC, [s.d.], p. 16–72).

2.2.1 Panorama da Capacidade Instalada Global de Energia Eólica Offshore

De acordo com o (GWEC, [s.d.], p. 13) o setor encerrou 2023 com uma capacidade instalada global de 75,2 GW, representando um aumento de 24% em relação a 2022. A China permanece como líder mundial, concentrando cerca de 50% da capacidade acumulada, enquanto a Europa mantém posição estratégica com expansão contínua e projetos de grande escala. Projeções indicam que, na próxima década, o setor deverá adicionar mais de 410 GW,

triplicando a taxa anual de novas instalações e ampliando a participação da eólica offshore no total de novas capacidades eólicas globais de 9% para pelo menos 25%.

2.2.2 Principais Mercados e Desafios (2024-2025)

A Europa, berço do desenvolvimento industrial da eólica offshore, segue como referência mundial, combinando infraestrutura portuária adaptada, políticas públicas consistentes e cadeia de suprimentos diversificada. Em 2023, foram adicionados 3,8 GW distribuídos entre sete mercados, com destaque para a Holanda, o Reino Unido, a França, a Dinamarca e a Alemanha (GWEC, [s.d.]b, p. 125). As metas estabelecidas pela União Europeia, por meio da estratégia REPowerEU, projetam atingir 111 GW de geração offshore até 2030 e 317 GW até 2050, porém desafios como o aumento de custos de insumos, gargalos logísticos e atrasos de conexão à rede ameaçam o cumprimento desses objetivos.

Na região Ásia-Pacífico, excluindo a China, o setor se configura como um novo polo de expansão, especialmente em países como Japão, Coreia do Sul, Filipinas e Austrália. O Japão, com metas entre 30 e 45 GW até 2040, e a Coreia do Sul, com potencial estimado em 624 GW, buscam superar entraves como licenciamento moroso e fragmentação regulatória (GWEC, [s.d.]b, p. 104). Nessas economias, a criação de ambientes regulatórios mais transparentes e a estruturação de projetos financeiramente sólidos são fundamentais para atrair investimentos privados.

Nos Estados Unidos, o avanço ainda é inicial, com apenas 42 MW operacionais em 2023, mas com um pipeline de 50 GW em desenvolvimento e 4,3 GW em construção (GWEC, [s.d.]b, p. 118). A meta de 30 GW até 2030 depende de superar pressões inflacionárias, custos elevados de capital e processos de licenciamento complexos, apesar dos esforços do governo federal para simplificar a regulação e acelerar a implementação de projetos (GWEC, [s.d.]b, p. 118).

2.3 Evolução Tecnológica e Parques Eólicos

A evolução tecnológica no setor de energia eólica offshore tem sido um dos principais vetores para sua expansão global e para a redução de custos operacionais e de capital. Nas últimas duas décadas, o setor experimentou avanços expressivos em todos os estágios da cadeia produtiva, desde a concepção de turbinas até a instalação e operação de parques em ambientes marítimos cada vez mais desafiadores (OREAC, 2020, p. 18). Um dos marcos mais relevantes foi o aumento substancial da capacidade individual das turbinas. No início da década de 2010, a potência média situava-se em torno de 2 MW, enquanto atualmente turbinas acima de 12 MW são amplamente utilizadas em mercados líderes, com fabricantes já apresentando modelos de 15 MW e OEMs chineses lançando protótipos na faixa de 16 a 18 MW. A Mingyang, por exemplo, estabeleceu um novo recorde ao apresentar sua turbina de 22 MW recorde (GWEC, [s.d.]b, p. 96). Esse crescimento no porte das turbinas foi acompanhado pelo aumento do diâmetro dos rotores, que passaram de cerca de 60 metros para mais de 200 metros, ampliando significativamente a área varrida e, consequentemente, a capacidade de captação de energia (OREAC, 2020, p. 18).

A ampliação do tamanho e da eficiência das turbinas tem implicações diretas na economia de projetos, pois reduz o custo por megawatt instalado ao diminuir a necessidade de fundações, operações de instalação e manutenções em proporção ao ganho de potência (OREAC, 2020). Paralelamente, os parques eólicos têm escalado em dimensão e capacidade instalada. Projetos que no início dos anos 2000 eram limitados a algumas dezenas de megawatts hoje alcançam patamares na ordem de gigawatts, como o caso do Hornsea One, no Mar do Norte, com 1.200 MW, concluído em 2020, que se tornou referência mundial pela

complexidade logística e pelo impacto na matriz energética do Reino Unido (OREAC, 2020, p. 8).

Outro aspecto central da evolução tecnológica é a adoção crescente de fundações flutuantes, uma solução que amplia a viabilidade da geração em áreas com profundidade superior a 50 metros, onde as fundações fixas se tornam economicamente inviáveis ou tecnicamente complexas. Essa inovação é particularmente relevante para países com plataformas continentais estreitas e profundidades abruptas próximas à costa, como Japão, Noruega e partes da costa oeste dos Estados Unidos. A comercialização plena dessa tecnologia é esperada para o final desta década, com destaque para o projeto Hywind Tampen, na Noruega, com 94,6 MW, atualmente o maior parque eólico offshore flutuante do mundo (GWEC, [s.d.], p. 93).

Adicionalmente, observa-se um avanço significativo na aplicação de tecnologias digitais e automação nos parques eólicos offshore. Sistemas de monitoramento remoto em tempo real, drones para inspeção de torres e pás e robôs subaquáticos para manutenção de cabos e fundações têm reduzido custos de operação (OPEX) e aumentado a confiabilidade dos ativos. A integração de inteligência artificial e big data possibilita a otimização preditiva da produção, identificando padrões de falha antes que ocorram e permitindo intervenções preventivas, o que prolonga a vida útil dos equipamentos e reduz o tempo de indisponibilidade (GWEC, [s.d.], p. 10).

A combinação dessas inovações tecnológicas, somada a ganhos de escala industrial, tem potencial para manter a trajetória de redução do custo nivelado de eletricidade, mesmo diante de pressões macroeconômicas recentes. Ao mesmo tempo, essa evolução exige a adaptação da cadeia de suprimentos, da logística e da formação de mão de obra, de forma a acompanhar a crescente complexidade técnica dos projetos e garantir a sustentabilidade econômica e ambiental da expansão da energia eólica offshore (GWEC, [s.d.], p. 78).

2.4 Financiamento e Custos

O financiamento da energia eólica offshore apresenta-se como um dos aspectos mais desafiadores e determinantes para a viabilidade econômica dos projetos, dada a natureza altamente intensiva em capital dessa tecnologia. Em geral, a estrutura de capital utilizada segue o padrão de 70% de dívida e 30% de capital próprio, com prazos de financiamento de longo alcance para diluir os elevados custos iniciais (GWEC, [s.d.], p. 5). A elevada demanda por recursos financeiros se deve ao fato de que, antes mesmo de gerar receita, os projetos demandam investimentos vultosos em estudos de viabilidade, licenciamento ambiental, infraestrutura portuária, fabricação e transporte de componentes, instalação offshore e conexão à rede elétrica.

Nos mercados maduros, como Reino Unido, Alemanha e China, a trajetória de redução do Custo Nivelado de Eletricidade (LCOE) tem sido um fator-chave para atrair investidores institucionais e bancos de desenvolvimento. No Reino Unido, por exemplo, o LCOE da energia eólica offshore caiu 61,9% entre 2014 e 2021, resultado direto da maturidade regulatória, da industrialização da cadeia de suprimentos e da adoção de turbinas de maior porte (GWEC, [s.d.], p. 14). Essa redução de custos também está associada à realização de leilões competitivos e à previsibilidade de políticas públicas, que diminuem o risco percebido e, consequentemente, o custo de capital.

Contudo, o cenário macroeconômico global recente trouxe novos desafios. Eventos como a pandemia de COVID-19, o conflito Rússia-Ucrânia e as pressões inflacionárias elevaram significativamente os custos de matérias-primas, logística e financiamento. Estima-se que nos Estados Unidos os custos da energia eólica offshore tenham aumentado entre 30% e 50% desde 2021, enquanto no Reino Unido o aumento chegou a 40% (GWEC, [s.d.], p. 9).

Um dos fatores mais sensíveis nesse contexto é a taxa de juros: cada aumento de 1% no custo de capital pode elevar o LCOE em aproximadamente 8%, impactando diretamente a competitividade da fonte (GWEC, [s.d.]a, p. 9).

Em mercados emergentes e economias em desenvolvimento, o desafio de financiar projetos eólicos offshore é ainda mais acentuado. A percepção de risco por parte de investidores privados é maior devido a incertezas regulatórias, ausência de infraestrutura adequada, volatilidade cambial e falta de histórico de projetos bem-sucedidos no setor. Para mitigar esses riscos, mecanismos de financiamento misto (*blended finance*) têm sido utilizados com sucesso, combinando recursos públicos e privados, assim como a participação de bancos multilaterais e agências de crédito à exportação. Essa estratégia não apenas reduz o custo do capital, como também amplia a segurança jurídica e operacional dos projetos (GWEC, [s.d.]b, p. 35). Um exemplo é o projeto *Baltic Power*, na Polônia, que se beneficiou de reformas regulatórias e do suporte de Instituições Financeiras de Desenvolvimento (IFDs), viabilizando sua estrutura de capital e atraindo investidores de longo prazo (GWEC, [s.d.]b, p. 40-41).

Outro elemento central no financiamento é a definição de contratos de compra e venda de energia (*Power Purchase Agreements* – PPAs) de longo prazo, que fornecem previsibilidade de receita e são frequentemente exigidos por financiadores como condição para liberar recursos. Em mercados onde o ambiente regulatório é instável, a ausência de PPAs robustos pode inviabilizar a obtenção de crédito ou elevar substancialmente as taxas de financiamento (GWEC, [s.d.]b, p. 30).

Além disso, estratégias inovadoras de financiamento vêm sendo testadas, como a emissão de títulos verdes (*green bonds*) e o uso de fundos de infraestrutura especializados em energias renováveis, que oferecem uma alternativa de captação a custos competitivos, especialmente para operadores com histórico consolidado. A tendência é que esses instrumentos ganhem relevância à medida que aumenta a pressão de investidores institucionais e governos para que os fluxos financeiros estejam alinhados às metas climáticas globais, como estabelecido no Acordo de Paris (GWEC, [s.d.]b, p. 16–72).

Portanto, embora o potencial de retorno sobre o investimento da energia eólica offshore seja significativo no longo prazo, a viabilidade dos projetos depende diretamente de um arcabouço financeiro sólido, que combine previsibilidade regulatória, acesso a instrumentos de mitigação de riscos e condições macroeconômicas favoráveis. Sem esses elementos, o setor pode enfrentar limitações de expansão mesmo em um contexto de demanda crescente por energias renováveis e de urgência na transição energética global (GWEC, [s.d.]a, p. 5).

2.5 Desafios de Mercado e Soluções

Apesar de sua trajetória de crescimento, o setor de eólica offshore enfrenta um conjunto de desafios estruturais que, se não forem adequadamente superados, podem comprometer sua competitividade global. Um dos entraves mais críticos é o licenciamento e a permissão de projetos. Na União Europeia, estima-se que cerca de 88 GW de capacidade estejam retidos em processos burocráticos, o que corresponde a quatro vezes a capacidade atualmente em construção (GWEC, [s.d.]b, p. 68). Essa morosidade, frequentemente associada à sobreposição de legislações e à falta de coordenação entre órgãos reguladores, eleva custos e compromete cronogramas. Soluções como a criação de “balcões únicos” e a adoção de processos digitais integrados têm sido recomendadas para acelerar aprovações e aumentar a previsibilidade regulatória (GWEC, [s.d.]b, p. 69).

A aceitação social representa outro desafio central. A instalação de parques eólicos offshore pode gerar resistência de comunidades costeiras e de setores como a pesca e o turismo, especialmente quando há percepção de que os projetos não trazem benefícios econômicos diretos para a região (GWEC, [s.d.]b, p. 72). O engajamento comunitário desde as fases iniciais,

associado a estratégias de compensação socioeconômica e à transparência na divulgação de informações, tem se mostrado eficaz na redução de conflitos e no fortalecimento da legitimidade social dos empreendimentos (GWEC, [s.d.], p. 71).

A falta de mão de obra qualificada também limita a capacidade de expansão do setor. A instalação, operação e manutenção de parques eólicos offshore demandam profissionais especializados em áreas como engenharia, logística, eletricidade e robótica submarina. (GWEC, [s.d.], p. 77) Programas de capacitação técnica, requalificação de trabalhadores de setores tradicionais e incentivo à diversidade na força de trabalho são estratégias necessárias para suprir essa demanda crescente (GWEC, [s.d.], p. 78).

Adicionalmente, gargalos na cadeia de suprimentos, como a produção limitada de pás, naceles, torres e fundações, e a disponibilidade insuficiente de navios de instalação e infraestrutura portuária, aumentam custos e geram atrasos na entrega de projetos. A padronização de componentes, a regionalização de cadeias produtivas e o investimento em novas capacidades industriais são medidas estratégicas para mitigar essas restrições (GWEC, [s.d.], p. 51).

A infraestrutura de rede elétrica representa um dos maiores gargalos para a integração da geração offshore (GWEC, [s.d.], p. 85). O desenvolvimento de linhas de transmissão e sistemas de conexão submarina nem sempre acompanha o ritmo de instalação de novas capacidades, criando riscos de subutilização de ativos. Modelos de entrega de rede “liderados pelo Estado” e investimentos coordenados entre governo e setor privado podem otimizar custos, acelerar prazos e garantir maior confiabilidade no fornecimento energético (GWEC, [s.d.], p. 84)

3 METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa com elementos quantitativos, caracterizando-se como uma pesquisa exploratória e descritiva que busca analisar o panorama internacional da energia offshore, com ênfase na eólica, integrando dados setoriais, tecnológicos, econômicos e regulatórios. A escolha desta abordagem fundamenta-se na necessidade de compreender fenômenos complexos e multifacetados, nos quais variáveis econômicas, geopolíticas e ambientais se inter-relacionam, influenciando a dinâmica global do setor (Yin, 2018; Gil, 2019).

A pesquisa foi estruturada a partir de análise documental e revisão bibliográfica sistemática, incorporando dados provenientes de relatórios técnicos internacionais, estudos de mercado e publicações acadêmicas relevantes. Entre as fontes consultadas destacam-se o *Global Wind Energy Council (GWEC)*, a *International Energy Agency (IEA)*, a *Ocean Energy Systems (OES)*, o *International Trade Centre (ITC)* e o *Global Offshore Wind Report*, além de artigos indexados em bases como *Scopus* e *Web of Science* (Severino, 2017; Bardin, 2016).

A coleta de dados secundários abrangeu informações referentes à capacidade instalada global, projeções de crescimento, evolução tecnológica, modelos de financiamento, custos, desafios e soluções de mercado para o período de 2024 a 2035. Foram priorizados documentos publicados entre 2018 e 2025, considerando a necessidade de incluir dados recentes para captar as tendências mais atuais do setor.

A análise dos dados foi conduzida por meio de três eixos principais: (i) dimensão setorial e tecnológica, contemplando a evolução das fontes offshore, com destaque para a eólica e sua inserção no contexto energético global; (ii) dimensão econômica e financeira, abordando custos, estruturas de capital, instrumentos de financiamento e variações do custo nivelado de eletricidade (LCOE); e (iii) dimensão estratégica e regulatória, identificando os principais mercados, barreiras de expansão e soluções adotadas internacionalmente (Flick, 2013).

A metodologia também incorporou triangulação de dados como estratégia para garantir maior confiabilidade e validade dos resultados. Nesse processo, informações provenientes de fontes primárias, entrevistas com especialistas do setor e análises publicadas por organizações setoriais, foram comparadas e validadas com dados secundários obtidos em relatórios e artigos científicos. Essa triangulação possibilitou identificar convergências e divergências, minimizando vieses inerentes a uma única fonte de informação (Denzin, 2012; Patton, 2014).

Para a interpretação dos resultados, adotou-se uma análise comparativa entre regiões-chave: Europa, Ásia-Pacífico (excluindo China) e América do Norte, considerando não apenas indicadores de capacidade instalada e projeções de crescimento, mas também variáveis macroeconômicas e geopolíticas que impactam o ritmo de desenvolvimento da energia offshore. Essa comparação seguiu critérios definidos previamente, como o ambiente regulatório, o nível de maturidade da cadeia de suprimentos e a existência de políticas públicas específicas para o setor (Marconi; Lakatos, 2017).

O fluxo metodológico deste estudo pode ser descrito da seguinte forma: inicialmente, realizou-se a definição clara do problema de pesquisa e dos objetivos, conforme orientações de Yin (2018) e Gil (2019), seguida de uma revisão bibliográfica e análise documental fundamentada em Severino (2017) e Bardin (2016), com a seleção criteriosa de documentos técnicos e acadêmicos. Em seguida, procedeu-se à coleta de dados secundários a partir de fontes reconhecidas como GWEC, IEA, OES e ITC, que foram posteriormente organizados e sistematizados de acordo com a abordagem proposta por Flick (2008). A etapa subsequente consistiu na triangulação de dados, combinando diferentes tipos de informações para fortalecer a confiabilidade dos resultados, alinhando-se às diretrizes de Denzin (2012) e Patton (2014). A partir dessa base consolidada, desenvolveu-se uma análise comparativa entre as principais regiões produtoras de energia offshore, identificando padrões e particularidades. Por fim, a interpretação e discussão dos resultados, guiada por Lakatos e Marconi (2017), conduziu à elaboração das conclusões e recomendações finais, inspiradas na perspectiva reflexiva de Stake (2010).

4. ANÁLISE DO RESULTADOS E DISCUSSÕES

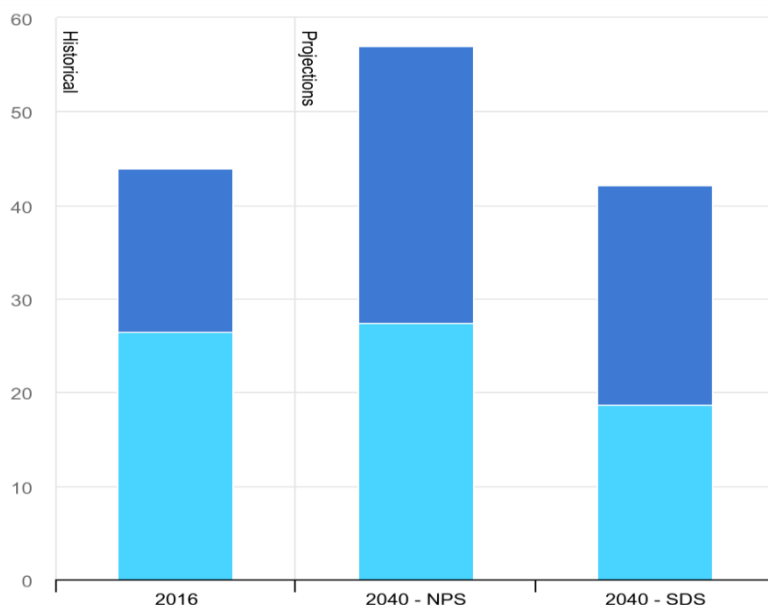
Esta seção apresenta os principais resultados obtidos a partir da análise dos dados quantitativos e qualitativos, fundamentais para compreender a evolução da energia offshore, com destaque para a energia eólica. Para isso, são expostos dados referentes às projeções globais de produção de petróleo e gás, à capacidade instalada das fontes energéticas oceânicas e ao panorama do mercado internacional de energia eólica offshore. Cada conjunto de dados será detalhadamente analisado, relacionando os achados às dinâmicas técnicas, econômicas e geopolíticas que influenciam o setor, além dos desafios e oportunidades que se apresentam para a consolidação dessa matriz energética.

4.1 Projeções para produção mundial de petróleo e gás natural

A seguir, apresenta-se o Gráfico 1, que traz as projeções da Agência Internacional de Energia (IEA, 2018) para a produção global de petróleo e gás natural até 2040, contemplando as tendências de oferta e demanda no cenário energético mundial.

Gráfico 1

Projeções para produção de petróleo e gás



Fonte: IEA (2018)

O gráfico apresenta três conjuntos de dados, comparando valores históricos de 2016 com duas projeções para 2040: o cenário NPS (New Policies Scenario) e o cenário SDS (*Sustainable Development Scenario*). As barras empilhadas indicam duas categorias, provavelmente correspondendo a tipos diferentes de energia (podemos inferir pela cor, mas seria ideal confirmar as legendas).

Em 2016, a produção total está em cerca de 44 unidades (milhões de barris por dia ou outra medida), sendo aproximadamente 27 da primeira categoria (barra azul clara) e 17 da segunda (barra azul escura).

No cenário NPS para 2040, a produção total aumenta para quase 58 unidades, com a primeira categoria subindo para cerca de 28 unidades e a segunda categoria apresentando um aumento mais expressivo para aproximadamente 30 unidades.

No cenário SDS para 2040, a produção total diminui para cerca de 42 unidades, com a primeira categoria caindo para 19 unidades e a segunda categoria aumentando para cerca de 23 unidades.

O gráfico indica que, sob o cenário NPS, que assume a continuidade das políticas atuais, há uma elevação significativa da produção total até 2040, com destaque para a segunda categoria, que quase dobra sua produção em relação a 2016. Já a primeira categoria apresenta estabilidade ou crescimento leve. Isso sugere que, sem medidas adicionais de sustentabilidade, a demanda e produção de fontes tradicionais ou fósseis tenderão a crescer.

Por outro lado, o cenário SDS, mais ambicioso e alinhado aos objetivos climáticos globais, prevê uma redução na produção total, principalmente na primeira categoria que cai de 27 para 19 unidades. No entanto, a segunda categoria ainda cresce, embora menos que no cenário NPS. Isso indica um esforço de transição para fontes menos intensivas em carbono ou mais sustentáveis, refletindo a necessidade de redução do uso de combustíveis fósseis e aumento das energias limpas.

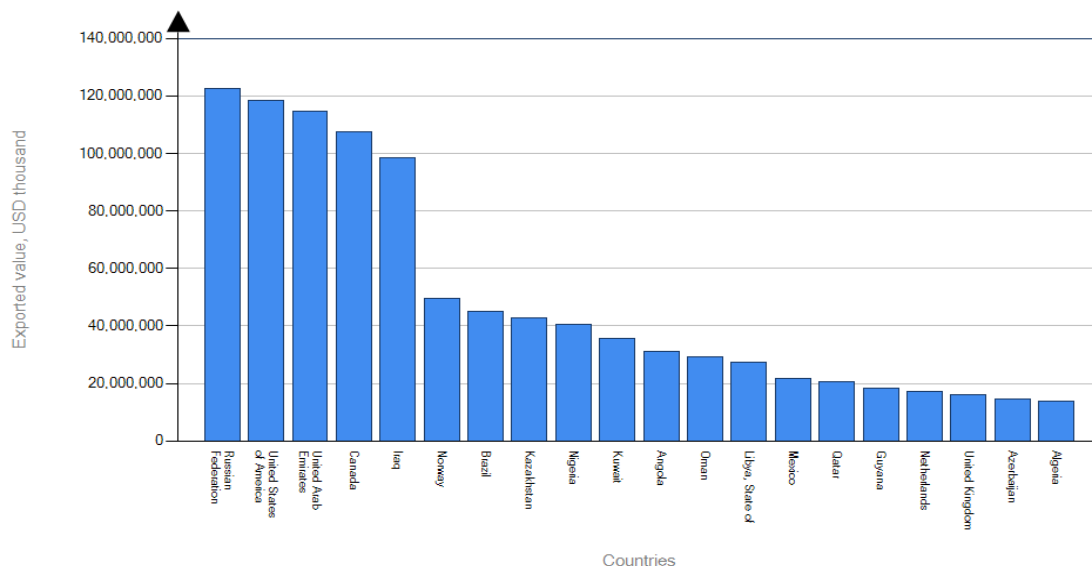
Portanto, o gráfico reforça a existência de trajetórias divergentes para o futuro energético: um caminho de expansão da produção fóssil e um caminho de transição sustentável, com redução significativa da produção total e mudanças na composição da matriz energética.

4.2 Panorama da exportação global de petróleo

O Gráfico 2 evidencia a concentração da exportação global de petróleo em poucos países, com dados do International Trade Centre (ITC, 2025) para o ano de 2024.

Gráfico 2

Lista dos maiores países exportadores de petróleo (SH 2709) em 2024



Fonte: ITC (2025)

Neste gráfico, observa-se que a Arábia Saudita lidera as exportações, seguida por Rússia e Estados Unidos, com volumes anuais próximos a 7,5 milhões, 5,7 milhões e 4,8 milhões de barris por dia, respectivamente. Outros países emergentes também aparecem na lista, demonstrando forte dependência da receita petrolífera.

A concentração geográfica das exportações ressalta o caráter estratégico do petróleo, cuja volatilidade afeta diretamente a segurança energética mundial. Regiões dependentes da importação, como Europa e Ásia, vêm buscando diversificar suas matrizes, destacando a energia eólica offshore como alternativa para reduzir riscos relacionados à oferta e flutuação de preços. Para os países exportadores, o dilema entre a preservação das receitas fiscais e a adesão a compromissos climáticos globais será determinante para suas políticas futuras (ITC, 2025).

4.3 Capacidade instalada de energias renováveis oceânicas

A Tabela 1 mostrará a capacidade instalada de fontes energéticas oceânicas, incluindo energia eólica offshore, ondas e marés, nos principais países até 2025, com dados da Organização para Energia Oceânica Sustentável (OES, 2025).

Tabela 1

Capacidade instalada de fontes oceânicas em países selecionados

Fonte	País	Capacidade instalada
Maremotriz	China	4.1 MW
Maremotriz	França	240 MW
Maremotriz	Coreia do Sul	254 MW
Energia térmica oceânica	Coreia do Sul	20 kW

Energia térmica oceânica	Índia	65 kW
Energia térmica oceânica	Japão	100 kW
Gradiente de salinidade	Holanda	4-50 kW

Fonte: Elaborado pelos autores com base em OES (2025).

A Tabela 1 revela que, apesar do potencial técnico significativo dessas fontes, sua aplicação prática ainda é pontual e concentrada em poucos países. A Coreia do Sul lidera com 254 MW de energia maremotriz e 20 kW de térmica oceânica, seguida pela França (240 MW) e China (4,1 MW) no segmento maremotriz. Já no campo da energia térmica oceânica, destacam-se Índia e Japão com capacidades instaladas modestas. As tecnologias de gradiente de salinidade, em estágio ainda mais experimental, são observadas apenas na Holanda, com instalações de até 50 kW. Esses dados demonstram que, embora exista crescente interesse, a adoção em larga escala ainda enfrenta desafios técnicos, regulatórios e financeiros, especialmente em comparação com fontes como eólica e solar. Ainda assim, o avanço de projetos-piloto sinaliza uma trajetória de inovação com potencial futuro, sobretudo em países com expertise tecnológica consolidada.

Por sua vez, a fonte fotovoltaica (solar) flutuante também observa avanço notórios, conforme relatório de 2025 (Selj; Wieland; Tsanakas, 2025). Apesar do potencial promissor, incertezas relacionadas aos impactos ambientais, às estruturas regulatórias complexas ou ausentes e às barreiras de custo retardam uma implementação ampla da fonte. Para tanto, identifica-se que aprimoramentos e automação das práticas de monitoramento, operação e manutenção, combinados com um compartilhamento mais aberto de dados, podem reduzir os custos durante a operação e apoiar a avaliação de fatores de estresse e confiabilidade específicos da fonte, resultando em potencial escalabilidade mais rápida.

4.4 Panorama do mercado internacional de energia eólica offshore

Por fim, a Tabela 2 sintetiza o panorama da capacidade instalada, previsão de crescimento médio anual e participação regional no mercado global de energia eólica offshore, conforme relatório do Global Renewable Industry Project (GRIP, 2025)

Tabela 2

Panorama do mercado internacional de eólica offshore

Crescimento acumulado em MW (%)				
EMEA	Américas	APAC	China	Mundo
21,2	74,7	51,9	4,1	17,1
Projeção de crescimento anual (TotEx) (%)				
EMEA	Américas	APAC	China	Mundo
26,9	22,4	33,6	-25,3	15,4
Projeção de crescimento anual (CapEx) (%)				
EMEA	Américas	APAC	China	Mundo
32,1	20,3	41,1	-44,9	17,2
Projeção de crescimento anual (DevEx) (%)				
8,9	27,2	-3,2	N/A	6,3
Projeção de crescimento anual (OpEx) (%)				
EMEA	Américas	APAC	China	Mundo

6,6	93,9	25	7,7	9,5
-----	------	----	-----	-----

Fonte: Elaborado pelos autores com base em GRIP (2025).

A Tabela 2 indica um forte dinamismo global na expansão da energia eólica offshore, com destaque para as regiões Américas (74,7%) e Ásia-Pacífico (51,9%), que apresentam os maiores percentuais de crescimento acumulado. A região EMEA (Europa, Oriente Médio e África) também se destaca, ainda que com crescimento mais estável (21,2%). No que tange aos investimentos, a região Ásia-Pacífico lidera em crescimento de CapEx (41,1%) e TotEx (33,6%), refletindo o esforço de países como Japão, Coreia do Sul e Índia em estabelecer mercados eólicos offshore robustos. Por outro lado, a China, apesar de ser líder em capacidade instalada, apresenta projeções negativas de investimento, sugerindo uma fase de transição entre expansão acelerada e consolidação regulatória.

A projeção de crescimento em OpEx nas Américas (93,9%) é particularmente significativa e pode indicar desafios relacionados à manutenção, logística ou falta de infraestrutura consolidada na região, como observado nos EUA e Brasil. A análise da Tabela 2 confirma que, embora a eólica offshore esteja em expansão global, os ritmos, custos e riscos variam intensamente entre regiões, exigindo políticas públicas e estratégias industriais adaptadas a cada contexto.

O avanço tecnológico também foi constante, mas concentrado. Conforme apontado pela IRENA (2023), após 2017, houve um aumento em pedidos de registro de patente, sendo as principais empresas aplicantes a Vestas, Universidade de Tianjin na China, Samsung, Siemens e Powerchina Huadong. Contudo, entre novos aplicantes, isto é, empresas que começaram suas atividades de solicitação de registro de patentes de tecnologias do setor de eólica offshore, predominam as categorias de fundações flutuantes; proteção à corrosão; torres e armazenamento de energia; e fundações fixas.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos ao longo desta pesquisa evidenciam que o desenvolvimento da energia offshore, especialmente a eólica, apresenta um potencial estratégico significativo para a diversificação da matriz energética e para o avanço das metas de descarbonização. A análise dos dados quantitativos e qualitativos, incluindo projeções internacionais de produção de petróleo e gás, o posicionamento dos principais países exportadores e a capacidade instalada de fontes oceânicas, confirma que o setor se encontra em um momento de transição e expansão, marcado por inovações tecnológicas, investimentos crescentes e políticas públicas mais direcionadas à transição energética.

Contudo, a investigação também revelou desafios substanciais, como a necessidade de maior integração entre planejamento energético, preservação ambiental e inclusão socioeconômica das comunidades costeiras afetadas por esses empreendimentos. A interdependência entre aspectos técnicos, econômicos e regulatórios reforça a importância de abordagens multidisciplinares e colaborativas na formulação de políticas e no desenvolvimento de projetos.

Nesse sentido, futuros estudos devem aprofundar-se na modelagem econômica de longo prazo para a energia offshore no Brasil, considerando cenários de precificação de carbono, variações cambiais e políticas de incentivo, a fim de oferecer previsões mais precisas sobre a viabilidade financeira desses projetos. Também é relevante investigar os impactos cumulativos e sinérgicos da instalação de parques eólicos offshore sobre ecossistemas marinhos e atividades econômicas locais, como pesca artesanal e turismo, utilizando metodologias que combinem análise espacial, modelagem ambiental e estudos etnográficos. Além disso, pesquisas voltadas à avaliação da eficiência tecnológica de novas turbinas eólicas offshore em condições

brasileiras, bem como estudos comparativos com outras fontes oceânicas como a energia das marés e das correntes, poderão fornecer subsídios essenciais para otimizar investimentos e mitigar riscos.

Assim, a continuidade da produção científica sobre o tema será determinante para que a expansão da energia offshore no Brasil ocorra de forma sustentável, competitiva e socialmente inclusiva, permitindo que o país se posicione de maneira estratégica no cenário energético global.

REFERÊNCIAS

Bardin, L. (2016). *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70.

Denzin, N. K. (2012). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (7th ed.). New York: Routledge.

ERM. (2025). *GRIP offshore wind projects database*. Retrieved July 11, 2025, from <https://grip.thinkrcg.com/>

Estefen, S., & Shadman, M. (2022). Energias renováveis no oceano. In: Santos, T. [et al.] (org.). *Economia azul: vetor para o desenvolvimento do Brasil*. (2022). São Paulo: Essential Idea Editora, p. 649-668.

Flick, U. (2008). *Introdução à pesquisa qualitativa* (3rd ed.). Porto Alegre: Artmed.

Gil, A. C. (2019). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (1st ed.). São Paulo: Atlas.

Global Wind Energy Council – GWEC. (n.d.). *Financing offshore wind in APAC: Assessing the cost competitiveness of offshore wind*. Retrieved July 12, 2025, from file:./20250609%20Financing%20Offshore%20Wind%20in%20APAC%20-%20Assessing%20the%20Cost%20Competitiveness%20of%20Offshore%20Wind.pdf

Global Wind Energy Council – GWEC. (2025a). *Global offshore wind report 2024*. Retrieved June 30, 2025, from file:./GOWR24.pdf

Global Wind Energy Council – GWEC. (2025b). *Global offshore wind report 2025*. Retrieved June 30, 2025, from <https://www.gwec.net/gwec-news/offshore-wind-installed-capacity-reaches-83-gw-as-new-report-finds-2024-a-record-year-for-construction-and-auctions>

International Energy Agency – IEA. (2018). *Offshore oil and gas production by scenario, 2016-2040*. Retrieved June 13, 2025, from <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/offshore-oil-and-gas-production-by-scenario-2016-2040>

International Energy Agency – IEA. (2025a). *Global energy review 2025*. Retrieved June 13, 2025, from <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025>

International Energy Agency – IEA. (2025b). *Oil market report - June 2025*. Retrieved June 13, 2025, from <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-june-2025>

International Energy Agency – IEA. (2025c). *Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030*. Retrieved June 12, 2025, from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/17033b62-07a5-4144-8dd0-651cdb6caa24/Renewables2024.pdf>

International Energy Agency – IEA. (2025d). *Renewable energy progress tracker*. Retrieved June 12, 2025, from <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewable-energy-progress-tracker>

International Renewable Energy Agency – IRENA. (2021). *Offshore renewables: An action agenda for deployment*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 120 p.

International Renewable Energy Agency – IRENA. (2023). *Offshore wind energy: Patent insight report*. Retrieved June 3, 2025, from <https://link.epo.org/web/business/patent-insight-reports/en-offshore-wind-energy-2023.pdf>

International Renewable Energy Agency – IRENA. (2025). *Tracking SDG 7: The energy progress report 2025*. Retrieved June 30, 2025, from <https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Tracking-SDG-7-The-Energy-Progress-Report-2025>

International Trade Centre – ITC. (2025). *Trade Map*. Retrieved July 12, 2025, from https://www.trademap.org/Country_SelProduct.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c2709%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c%7c2%7c1%7c%7c1

Kildow, J., & McIllogrm, A. (2010). *The Importance of Estimating and the Contribution of the Oceans to National Economies*. Marine Policy, p. 367-374.

Lakatos, E. M., & Marconi, M. de A. (2017). *Fundamentos de metodologia científica* (8th ed.). São Paulo: Atlas.

Makitie, T., Norman, H., Thune, T., & Gonzalez, J.(2019). *The green flings: Norwegian oil and gas industry in offshore wind power*. Energy Policy, v. 127, p. 269-279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.015>.

Ocean Energy Systems – OES. (2024). *OES annual report 2024*. Retrieved June 13, 2025, from <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-annual-reports/document/oes-annual-report-2024/>

OREAC. (n.d.). *The power of our ocean*. Retrieved July 12, 2025, from file:./OREAC-The-Power-of-Our-Ocean.pdf

Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE. (2025). *The ocean economy to 2050*. Retrieved June 13, 2025, from https://www.oecd.org/en/publications/the-ocean-economy-to-2050_a9096fb1-en.html

Patton, M. Q. (2014). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Santos, T. (2021). *O potencial energético da economia do mar para além do P&G offshore*. Ensaio Energético. Retrieved June 12, 2025 from ensaioenergetico.com.br.

Selj, J., Wieland, S., & Tsanakas, I. (2025). Floating photovoltaic power plants: A review of energy yield, reliability, and maintenance. *IEA PVPS*. <https://doi.org/10.69766/KDYA8846>

Severino, A. J. (2017). *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Cortez.

Shadman, M., Silva, C., Faller, D. Wu, Z. De Freitas Assad, L., Landau, L., Levi, C., & Estefen, S. (2019). *Ocean Renewable Energy Potential, Technology, and Deployments: A Case Study of Brazil*. *Energies*, v. 12, n. 19, p. 1-37.

Stake, R. E. (2010). *Qualitative research: Studying how things work*. New York: Guilford Press.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications* (Vol. 6). Thousand Oaks, CA: Sage.