

Energia Eólica *Offshore*: Panorama Tecnológico, Produtivo e Econômico na Engenharia de Produção

Israelly Nadhya Silva Medeiros (UFRN) israellynadhya116@gmail.com
Douglas Jhonata Cardoso De Macedo (UFRN) douglasjhonata21@gmail.com
Franklyn Erick Rodrigues Ribeiro (UFRN) franklynerick2019@gmail.com
Robert Antônio Araújo Sucupira (UFRN) robertsucupira67@gmail.com
Juliana Amorim Coelho (UFRN) juliana.coelho@ufrn.br

Resumo

A energia eólica *offshore* tem se consolidado como uma das principais alternativas para a transição energética mundial, em razão de sua elevada eficiência produtiva, do grande potencial de geração em larga escala e de sua contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa. A literatura nacional tem abordado principalmente aspectos tecnológicos, ambientais e regulatórios, havendo menor atenção às implicações gerenciais e produtivas desses empreendimentos. Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar os desafios da energia eólica *offshore* sob a ótica da Engenharia de Produção, com foco na cadeia produtiva, logística e decisões gerenciais ao longo do ciclo de vida do projeto. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa, baseada em revisão bibliográfica recente. Os resultados indicam que a viabilidade e competitividade do setor dependem da integração da cadeia de suprimentos, do planejamento logístico em ambiente *offshore* e da gestão de custos e riscos ao longo do ciclo de vida dos ativos. Como contribuição, o estudo evidencia que decisões gerenciais estruturadas são determinantes para reduzir incertezas e ampliar a eficiência econômica dos empreendimentos eólicos *offshore* no contexto brasileiro.

Palavras-Chaves: *Energia eólica offshore, Engenharia de Produção, Cadeia de suprimentos, Logística offshore, Custo do ciclo de vida.*

Abstract

Offshore wind energy has become one of the main alternatives for the global energy transition due to its high production efficiency, strong large-scale generation potential, and significant contribution to reducing greenhouse gas emissions. National literature has primarily focused on technological, environmental, and regulatory aspects, with less attention given to the managerial and production-related implications of these projects. In this context, the objective

of this study is to analyze the challenges of offshore wind energy from an Industrial Engineering perspective, focusing on the supply chain, logistics, and managerial decisions throughout the project life cycle. The research is characterized as applied and qualitative, based on a recent literature review. The results indicate that the sector's viability and competitiveness depend on supply chain integration, offshore logistical planning, and cost and risk management across the asset life cycle. As a contribution, the study highlights that structured managerial decisions are crucial to reducing uncertainties and improving the economic efficiency of offshore wind projects in the Brazilian context.

Keywords: *Offshore wind energy, Industrial Engineering, Supply chain, Offshore logistics, Life cycle cost.*

1. Introdução

A energia eólica é uma fonte de energia renovável obtida a partir da conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica, por meio de turbinas que atuam como geradores. Por se tratar de um recurso abundante e renovável, a energia eólica destaca-se como alternativa relevante para a transição energética mundial. Sua utilização contribui significativamente para a redução da dependência de combustíveis fósseis, mitigação dos impactos ambientais e fortalecimento da segurança energética dos países (Nascimento, 2025).

No cenário atual, marcado pelo aumento da demanda energética e pelas mudanças climáticas, as fontes renováveis têm assumido papel estratégico nas políticas energéticas globais. Nesse contexto, a energia eólica apresenta expressivo crescimento, impulsionado tanto pelo avanço tecnológico quanto por incentivos governamentais, consolidando-se como uma das principais matrizes sustentáveis da atualidade.

Dentro desse setor, a energia eólica pode ser classificada em duas modalidades principais: *onshore* e *offshore*. A energia eólica *onshore* refere-se aos parques de geração em que as turbinas estão localizadas em terra, utilizando os sistemas de vento que atuam sobre o continente para gerar eletricidade. Já a energia eólica *offshore* corresponde à utilização dos sistemas de vento de alta velocidade e elevada regularidade disponíveis no ambiente marítimo, com as unidades de produção instaladas em diferentes pontos do mar, em profundidades variadas, o que exige métodos de implantação específicos para cada contexto. Cada uma dessas modalidades apresenta particularidades quanto à implementação, manutenção, operação, custos e capacidade de geração (Assis, 2024).

A energia eólica *offshore*, em especial, tem apresentado elevado potencial de expansão em âmbito internacional, sobretudo em países com extensas áreas costeiras, devido à maior estabilidade e intensidade dos ventos, o que resulta em maior eficiência produtiva e elevada capacidade de geração em larga escala. Além disso, esse segmento conta atualmente com *players* internacionais que já dispõem de bases jurídicas e operacionais bem consolidadas, bem como amplo histórico de implantação e operação de parques ao longo da vida útil dos empreendimentos, incluindo processos de descomissionamento.

No Brasil, até o momento da elaboração deste trabalho, ainda não existem parques eólicos *offshore* em operação em águas jurisdicionais. Entretanto, diversos empreendimentos já foram licenciados ou encontram-se em fase de estudo e planejamento, evidenciando o interesse e o potencial de desenvolvimento desse setor no país. Destacam-se, entre esses projetos, o Parque Eólico *Offshore* Caucaia-Parazinho e o Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I, no Estado do Ceará, o Complexo Eólico Marítimo Jangada, o Complexo Eólico Maravilha, no Estado do Rio de Janeiro, e o Complexo Eólico Marítimo Águas Claras, no Rio Grande do Sul, todos licenciados por meio de estudos ambientais do tipo EIA/Rima, com capacidades que variam de centenas de megawatts a alguns gigawatts. Além desses, foi proposto um projeto piloto de geração eólica *offshore* no Estado do Rio Grande do Norte, licenciado por meio de Relatório Ambiental Simplificado (RAS), cuja execução foi posteriormente suspensa enquanto se aguardam melhores condições de parceria e amadurecimento do setor.

Paralelamente, o país vem avançando na estruturação de um marco legal específico para a exploração da energia eólica *offshore*, com o objetivo de regulamentar o uso de áreas marítimas, organizar processos de cessão e viabilizar futuros leilões de energia. Assim, embora ainda não haja empreendimentos em operação, observa-se um ambiente institucional em consolidação e um portfólio expressivo de projetos em avaliação, indicando que a implantação de parques eólicos *offshore* no Brasil tende a ocorrer de forma progressiva, especialmente quando analisada à luz da experiência internacional, que comprova a viabilidade técnica, econômica e operacional desse tipo de empreendimento (Vaicberg, 2021).

A escolha do tema justifica-se pela relevância econômica, ambiental e estratégica da energia eólica *offshore* no cenário energético contemporâneo, bem como pelos desafios técnicos, logísticos e operacionais envolvidos em sua implantação e operação. Trata-se de um setor que demanda elevados investimentos, gestão integrada da cadeia de suprimentos,

planejamento logístico complexo, controle rigoroso de custos e forte atuação da Engenharia de Produção.

Dessa forma, o presente estudo propõe uma análise sobre o setor de energia eólica *offshore*, abordando seu desenvolvimento no cenário mundial, os principais aspectos relacionados aos custos de implantação e operação, bem como uma análise da situação atual desse segmento no Brasil, considerando seus desafios técnicos, logísticos, regulatórios e produtivos. No que se refere à classificação da pesquisa, trata-se de um estudo aplicado, ao envolver reflexões voltadas à utilização prática dos conhecimentos da Engenharia de Produção frente aos desafios do setor. Quanto aos objetivos, a pesquisa é descritiva, ao apresentar e discutir fatos pertinentes ao mercado de energia eólica *offshore*. Em relação à abordagem do problema, o estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, ao buscar compreender e analisar, de forma interpretativa, as principais questões relacionadas à implantação, operação e gestão desse setor sob a ótica da Engenharia de Produção.

2. Referencial teórico

2.1 Histórico do setor de energia eólica *offshore*

A utilização da força dos ventos como fonte de energia remonta às primeiras civilizações, com registros históricos que indicam sua aplicação por volta de 644 a.C., no Império Persa, onde dispositivos como moinhos e cataventos eram empregados na moagem de cereais e no bombeamento de água. Com o decorrer do tempo, essas tecnologias espalharam-se pelo continente europeu, resultando no aperfeiçoamento dos moinhos de eixo horizontal, especialmente na Holanda, tornando-se um marco da engenharia eólica no período pré-industrial. A transformação da energia cinética dos ventos em energia elétrica ocorreu apenas no final do século XIX, a partir do aerogerador desenvolvido por Charles F. Brush, em 1888, com capacidade de geração contínua de 12 kW (Montezano, 2007). Contudo, a utilização de turbinas eólicas de grande porte só passou a se expandir de forma mais significativa após a Segunda Guerra Mundial, impulsionada pelas crises energéticas e pela necessidade de diversificação das fontes de geração de energia (Nascimento, 2025).

A energia eólica *offshore* teve seu desenvolvimento iniciado no começo da década de 1990, especialmente nos países do norte da Europa, onde os ventos sobre o mar apresentam maior intensidade e regularidade em comparação aos observados em terra. Dinamarca, Alemanha e Reino Unido destacaram-se como pioneiros na exploração desse potencial

marítimo. O primeiro parque eólico *offshore* comercial do mundo foi instalado na Dinamarca em 1991, o parque de Vindeby, composto por 11 turbinas com potência individual de 450 kW, totalizando 4,95 MW de capacidade instalada, em águas rasas de aproximadamente cinco metros de profundidade. Esse empreendimento teve como principal objetivo comprovar a viabilidade técnica e econômica da geração de energia eólica em ambiente marítimo, permanecendo em operação por cerca de 25 anos e servindo como referência para a expansão desse tipo de projeto em escala internacional (Cerutti, 2023). Com a consolidação inicial da tecnologia, os projetos de energia eólica *offshore* evoluíram rapidamente ao longo das décadas seguintes. No ano 2000, foi inaugurado também na Dinamarca, próximo à cidade de Copenhague, o parque de Middelgrunden, que à época se tornou o maior do mundo, com 20 turbinas de 2 MW cada, totalizando 40 MW de capacidade instalada (Cerutti, 2023).

No mesmo período, o Reino Unido passou a integrar esse mercado com a implantação do parque de Blyth, que introduziu o uso de turbinas flutuantes, eliminando a necessidade de estruturas fixadas no fundo do mar. Paralelamente, os projetos avançaram das regiões costeiras rasas para áreas de maior profundidade, exigindo turbinas de maior porte e técnicas de instalação mais sofisticadas, viabilizadas, em grande parte, por tecnologias herdadas da indústria de petróleo e gás. Esse crescimento foi fortemente impulsionado pela necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa, pelo menor impacto visual em relação à geração *onshore*, pela ampla disponibilidade de áreas marítimas e pela possibilidade de ganhos de escala, inicialmente na Europa e, mais recentemente, em países da Ásia como China, Japão e Coreia do Sul (Souza, 2025).

2.2 Crescimento do setor

Atualmente, a energia eólica *offshore* configura-se como um dos segmentos de maior expansão dentro do setor energético mundial. De acordo com dados recentes coletados pela GWEC (2025), a capacidade global instalada de energia eólica *offshore* totalizou 83,2 GW ao final de 2024, correspondendo a aproximadamente 7,3% da capacidade eólica global, com crescimento médio anual de 10% na última década. Em 2024, foram conectados 8 GW de nova capacidade, evidenciando a continuidade da expansão do setor e sustentando projeções de crescimento expressivo para os próximos anos. A liderança desse avanço permanece concentrada na Europa, especialmente em países como Reino Unido, Alemanha e Dinamarca, que se destacaram pela criação antecipada de políticas públicas, incentivos governamentais e

consolidação de cadeias produtivas voltadas à geração eólica em ambiente marítimo. Paralelamente, a China passou a ocupar posição de destaque nos últimos anos, impulsionada por elevados investimentos estatais e pelo rápido aprimoramento tecnológico. Esse crescimento tem sido fortemente motivado pela necessidade de descarbonização dos sistemas elétricos, pelo menor impacto local em comparação à geração *onshore*, pela ampla disponibilidade de áreas marítimas e pelo elevado potencial de ganhos de escala (Souza, 2025).

No contexto brasileiro, o cenário é caracterizado por elevado potencial técnico e estratégica oportunidade de desenvolvimento. O país possui cerca de 8.000 km de litoral e condições favoráveis de ventos, sobretudo na região Nordeste, o que o posiciona entre os mais promissores do mundo para a implantação de empreendimentos eólicos *offshore*, segundo Nascimento (2025). A abertura de processos de licenciamento ambiental a partir de 2018 impulsionou estudos técnicos e estratégicos sobre o setor, resultando na elaboração de documentos como o “*Roadmap Eólica Offshore Brasil*”, que identificou desafios estruturais, gargalos logísticos, entraves regulatórios e diretrizes para os futuros agentes do setor no país (EPE, 2020). Embora a energia eólica *offshore* apresente custos de capital superiores aos das fontes *onshore* e solar, em razão da complexidade construtiva e das grandes estruturas empregadas, seus custos vêm apresentando queda expressiva nos últimos anos, com projetos internacionais já alcançando níveis de competitividade elevados, inclusive sem subsídios governamentais, especialmente no norte da Europa (Cerutti, 2023).

A consolidação da energia eólica *offshore* no Brasil ainda enfrenta desafios relacionados à limitada infraestrutura específica e à reduzida experiência do mercado. Contudo, o país possui ampla expertise em atividades *offshore* oriunda do setor de petróleo e gás, o que pode acelerar a implantação desses empreendimentos e promover sinergias entre os setores. Vale ressaltar a possibilidade de aproveitamento de plataformas e estruturas petrolíferas descomissionadas como suporte à geração eólica *offshore*, configurando uma alternativa economicamente viável e ambientalmente favorável, ao contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Segundo a Petrobras, a geração eólica *offshore* pode apresentar custos reduzidos em razão de economias de escopo, ao utilizar infraestruturas já existentes, embora essa integração possa gerar conflitos e restrições regulatórias entre as indústrias (Coletta, 2022).

O setor de petróleo e gás passou por significativas transformações institucionais a partir da década de 1990, com a promulgação da Lei nº 9.478/1997, que ampliou o número de agentes e redefiniu a estrutura do mercado. Nesse contexto, diversos estudos apontam sinergias entre os segmentos de petróleo e gás *offshore* e de energia eólica *offshore*, especialmente no

fornecimento de energia às plataformas com redução do consumo de combustíveis fósseis e das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, o setor petrolífero desempenha papel fundamental no desenvolvimento da eólica *offshore* ao atuar como investidor e fornecedor de tecnologia, infraestrutura e *know-how* logístico, apoiando o aproveitamento de competências consolidadas em fundações marítimas, operações em águas profundas e gestão regulatória (Magalhães, 2024).

3. Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com objetivos descritivos, voltada à compreensão do setor de energia eólica *offshore* sob a ótica da Engenharia de Produção. Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa, baseada na análise e interpretação de informações obtidas em fontes secundárias. O procedimento metodológico adotado foi a pesquisa bibliográfica, realizada por meio da consulta a artigos científicos, livros, publicações institucionais, e estudos sobre o setor entre os períodos de 2020 a 2025. A análise dos dados ocorreu de forma descritiva e interpretativa, permitindo discutir o desenvolvimento da energia eólica *offshore*, seus custos de implementação e as oportunidades de atuação para o engenheiro de produção no contexto brasileiro.

4. Resultados e Discussão

4.1 Custos da implementação

O desenvolvimento de empreendimentos eólicos *offshore* caracteriza-se por sua elevada complexidade técnica, operacional e gerencial, quando comparado aos projetos *onshore*. Desde as fases iniciais de concepção até as etapas de implantação e operação, faz-se indispensável a realização de um planejamento operacional minucioso, capaz de integrar prazos, recursos, riscos e tecnologias envolvidas. Esse tipo de projeto exige, ainda, o alinhamento constante entre todos os agentes participantes, bem como o mapeamento completo da cadeia de suprimentos necessária para cada etapa do processo. Em razão dessas particularidades, o tempo médio de desenvolvimento de um parque eólico *offshore* tende a ser significativamente superior ao de um empreendimento *onshore*, podendo alcançar mais de uma década, o que evidencia a necessidade de uma gestão estratégica e integrada ao longo de todo o ciclo de vida do projeto (Assis, 2024).

Nesse contexto, diante da elevada complexidade técnica, operacional e gerencial dos empreendimentos eólicos *offshore*, a atuação do engenheiro de produção torna-se essencial para a organização e a coordenação da cadeia de suprimentos, marcada pela participação de múltiplos atores, longos prazos de execução e elevada dependência logística. Trata-se de uma indústria em desenvolvimento, caracterizada por rápida evolução tecnológica, ampliação da escala dos projetos e por um ambiente regulatório ainda em consolidação, o que exige planejamento integrado ao longo de todo o ciclo do empreendimento. Ao longo desse processo, o engenheiro de produção contribui para a avaliação da viabilidade técnico-econômica, para o gerenciamento de fornecedores e para o planejamento das operações logísticas, apoiando a integração entre as etapas de projeto, aquisição, instalação e comissionamento, de modo a reduzir riscos, atrasos e ineficiências e assegurar uma transição adequada para a fase de operação (Dias, 2023).

4.1.1 Custos durante o ciclo de vida do projeto *offshore*

A estrutura típica de custos de um projeto eólico *offshore* apresenta uma distribuição bastante característica ao longo de suas etapas. A fase de desenvolvimento inicial corresponde a aproximadamente 2% do total, valor semelhante ao destinado ao descomissionamento da planta ao final de sua vida útil. Já os gastos com Operação e Manutenção (O&M), durante o período de funcionamento do parque, estimado em cerca de 25 anos, representam a maior parcela, em torno de 40%. Na etapa de construção, que costuma durar aproximadamente dois anos, os custos relacionados ao processo de instalação giram em torno de 12%. O investimento em turbinas eólicas corresponde a cerca de 24%, enquanto o chamado *Balance of Plant* (BoP) responde por aproximadamente 20%. Essa última categoria inclui elementos essenciais de suporte às turbinas, como infraestrutura elétrica, cabeamento, subestações e projetos complementares (Vaicberg, 2021).

A distribuição dos custos dos projetos eólicos *offshore* evidencia gargalos relevantes em diferentes etapas do ciclo de vida do empreendimento, nos quais a Engenharia de Produção pode atuar de forma estratégica. O elevado peso dos custos de Operação e Manutenção, que representam a maior parcela do total, está associado principalmente a desafios logísticos, à gestão de ativos e às restrições operacionais impostas pelo ambiente *offshore*, demandando a aplicação de práticas de planejamento da manutenção, gestão de estoques e otimização de recursos. Na fase de construção e instalação, bem como nos investimentos em turbinas e no *Balance of Plant*, observam-se gargalos relacionados à coordenação de fornecedores, à

infraestrutura portuária e ao sequenciamento das atividades, áreas nas quais o engenheiro de produção contribui por meio do planejamento e controle de projetos, da gestão da cadeia de suprimentos e da análise de custos e riscos. Mesmo nas fases de desenvolvimento e descomissionamento, o uso de análises do custo do ciclo de vida (*Life Cycle Costing* – LCC) permite apoiar decisões que impactam a eficiência econômica global do empreendimento (Cerutti, 2023).

4.2 Aerogeradores

A definição das características técnicas dos aerogeradores exerce influência direta sobre a viabilidade econômica e operacional dos parques eólicos *offshore*. A vida útil desses equipamentos constitui um aspecto relevante nos projetos, pois impacta decisões relacionadas à repotenciação ou descomissionamento, exigindo análises de custo do ciclo de vida e planejamento de longo prazo. Os aerogeradores são compostos por cinco elementos principais, fundação, torre, rotor, *nacelle* e conversor, cujas especificações técnicas afetam custos, logística e riscos do empreendimento (Vaicberg, 2021).

4.2.1 Fundações

As fundações em parques eólicos *offshore* são estruturas responsáveis pela fixação dos aerogeradores no ambiente marinho e variam conforme a profundidade das águas e as condições hidrodinâmicas locais. Podem ser fixas, como as do tipo *monopile*, predominantes em instalações de até sessenta metros de profundidade, ou flutuantes, que utilizam sistemas de ancoragem semelhantes aos empregados em plataformas de petróleo e gás. A escolha da fundação impacta diretamente na viabilidade econômica do projeto, podendo representar até 30% do custo total de construção, pois envolve a estabilidade estrutural, complexidade de instalação e definição da área de implantação do parque (Cerutti, 2023).

4.2.2 Torres

As torres são elementos estruturais fundamentais dos parques eólicos, responsáveis por sustentar as *nacelles* que abrigam o rotor e os sistemas de geração de energia. Construídas em aço ou concreto, garantem estabilidade sob ventos intensos e sua altura é decisiva, já que a velocidade do vento aumenta conforme a elevação, permitindo maior eficiência na produção de

energia. As torres de aço predominam por serem duráveis e resistentes à corrosão, enquanto as de concreto, mais pesadas e onerosas, são indicadas para ambientes *offshore* sujeitos a condições climáticas mais severas. Projetadas para suportar condições adversas, incorporam sistemas que viabilizam a manutenção dos aerogeradores (Cerutti, 2023).

4.2.3 *Nacelle*

A *nacelle* é a estrutura localizada no topo da torre que abriga os principais componentes mecânicos e elétricos responsáveis pela geração de energia, como o gerador, a caixa de engrenagens e os sistemas de controle e monitoramento. Projetada para proteger esses elementos contra vento, chuva e corrosão, especialmente em ambientes *offshore*, é construída com materiais resistentes, como aço e fibra de vidro, podendo atingir dimensões de até 8 metros de comprimento e 4 metros de largura. Além de garantir a conversão da energia cinética do rotor em eletricidade, pode incorporar sistemas avançados, como conversores de potência plena, que dispensam a caixa de engrenagens e permitem maior flexibilidade tecnológica. Também integra sensores que monitoram as condições de vento, ajustando a orientação do rotor para maximizar a produção (Cerutti, 2023).

O desenvolvimento tecnológico desempenha papel relevante na redução do custo médio da energia produzida em plantas eólicas *offshore*, sobretudo no que se refere ao projeto das turbinas, que podem representar até 45% dos custos totais de instalação. Nesse contexto, os avanços tecnológicos aplicados à *nacelle* têm contribuído para a diminuição dos custos médios da energia *offshore* e para o aumento da capacidade de geração das turbinas. Embora o potencial de produção *offshore* seja superior ao das turbinas *onshore* devido à maior constância dos ventos em alto-mar, sua implantação envolve custos elevados e inerentes às condições climáticas adversas. Em termos percentuais, as turbinas representam uma parcela menor dos custos totais de implantação de um parque eólico *offshore* quando comparadas às instalações em terra, mas o custo nominal permanece mais alto, refletindo os desafios técnicos e econômicos associados ao ambiente marítimo (Vaicberg, 2021).

4.2.4 Rotor

O rotor de uma turbina eólica é o conjunto formado pelas pás aerodinâmicas e pelo *hub* (suporte central), responsável por capturar a energia cinética do vento e convertê-la em energia mecânica rotativa. Cada pá é fixada ao *hub* por sistemas que permitem o ajuste do ângulo de

ataque, otimizando o desempenho da turbina em diferentes condições de vento. O design das pás é um dos principais focos de inovação tecnológica nos aerogeradores, pois impacta diretamente na eficiência produtiva e na redução de custos de operação e manutenção. Atualmente, o modelo de três pás é o mais utilizado mundialmente, tanto em parques *onshore* quanto *offshore*, por razões comerciais, econômicas e ambientais. As turbinas modernas empregam materiais leves e resistentes e a tendência é o desenvolvimento de rotores com áreas de varredura cada vez maiores, capazes de extrair mais potência do vento e suportar esforços intensos (Cerutti, 2023).

4.2.5 Conversores

Os conversores presentes nas turbinas eólicas integram o sistema de potência e controle da máquina, sendo responsáveis por adequar a energia produzida à frequência e à tensão exigidas para sua inserção na rede elétrica. São equipamentos de grande porte e elevado peso, representando custos relevantes tanto na construção, instalação e manutenção. Os avanços tecnológicos nessa área concentram-se no desenvolvimento de novos semicondutores e materiais magnéticos, com o objetivo de reduzir o tamanho e o peso desses sistemas, tornando-os mais eficientes e economicamente viáveis (Cerutti, 2023).

4.3 Conexão com a Engenharia de Produção

A energia eólica *offshore* apresenta uma interface crítica com a Engenharia de Produção devido à elevada complexidade produtiva, logística e gerencial que caracteriza esses empreendimentos. Diferentemente dos projetos *onshore*, as decisões tomadas ao longo das fases de planejamento, projeto, implantação e operação possuem impactos amplificados sobre custos, prazos e riscos, exigindo uma gestão integrada e estratégica. Nesse contexto, o engenheiro de produção atua diretamente na definição de processos, no planejamento e controle da produção, na gestão da cadeia de suprimentos e na análise da viabilidade econômica, sendo responsável por decisões que afetam a competitividade e a sustentabilidade do empreendimento ao longo do seu ciclo de vida.

Um dos principais desafios dos projetos eólicos *offshore* está relacionado à logística *offshore*, marcada por elevados custos, grandes distâncias da costa, dependência de embarcações especializadas e forte influência das condições climáticas. Decisões envolvendo o planejamento logístico, a escolha de bases portuárias, o sequenciamento das operações e a

alocação de recursos impactam diretamente os prazos de instalação e os custos operacionais. A ausência de um planejamento adequado pode resultar em atrasos significativos, paralisações operacionais e aumento expressivo dos custos, comprometendo a viabilidade econômica do projeto. Nessa etapa, a atuação do engenheiro de produção é fundamental para minimizar ineficiências e reduzir riscos associados à logística marítima.

Outro aspecto crítico refere-se à cadeia produtiva, caracterizada pela dependência de fornecedores internacionais, pela complexidade dos componentes e pela necessidade de coordenação entre múltiplos agentes. Decisões relacionadas à estratégia de suprimentos, ao grau de nacionalização de componentes e à gestão de contratos influenciam diretamente o risco de rupturas na cadeia, variações de custos e atrasos no cronograma. A Engenharia de Produção contribui para a integração entre fornecedores, para o planejamento de compras e para a mitigação de riscos associados à dependência externa, especialmente relevante no contexto brasileiro, cujo potencial técnico *offshore* é estimado em aproximadamente 700 GW, com destaque para o litoral do Nordeste (Souza, 2025).

Além disso, os projetos *offshore* envolvem decisões gerenciais complexas, frequentemente associadas a *trade-offs* entre custo, risco e confiabilidade. Opções por tecnologias mais avançadas, estratégias de manutenção, níveis de redundância e investimentos em infraestrutura podem elevar os custos iniciais, mas reduzir riscos operacionais e despesas ao longo da vida útil do parque. Decisões mal conduzidas nesses aspectos podem resultar em maior incidência de falhas, aumento dos custos de operação e manutenção e perda de desempenho do empreendimento. Assim, a Engenharia de Produção desempenha papel essencial ao apoiar decisões baseadas em análises de custo do ciclo de vida, gestão de riscos e eficiência operacional, contribuindo não apenas para a viabilização econômica e a sustentabilidade do setor, mas também para a definição da estratégia competitiva dos empreendimentos eólicos *offshore*.

5. Considerações Finais

A energia eólica *offshore* consolidou-se como uma das principais alternativas para a transição energética global, apresentando elevado fator de capacidade, grande potencial de geração em larga escala e crescente competitividade econômica, apesar dos desafios técnicos e financeiros associados à sua implantação.

No contexto brasileiro, embora o país apresente condições naturais favoráveis para o desenvolvimento desse segmento, a consolidação da energia eólica *offshore* envolve desafios técnicos, logísticos e regulatórios que impactam diretamente a estruturação dos projetos. A análise realizada evidenciou que fatores como a dependência de fornecedores especializados, a elevada complexidade logística em ambiente *offshore* e os altos custos de operação e manutenção ampliam o impacto das decisões tomadas nas fases iniciais de planejamento, podendo comprometer prazos, desempenho econômico e sustentabilidade dos empreendimentos.

Sob a ótica da Engenharia de Produção, verificou-se que a viabilidade e a competitividade do setor dependem da capacidade de integrar decisões relacionadas à cadeia produtiva, ao planejamento logístico, à análise de custos e à gestão de riscos de forma sistêmica. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi atendido, ao analisar os principais desafios técnicos, logísticos e econômicos associados ao desenvolvimento da energia eólica *offshore* e discutir as contribuições da Engenharia de Produção para a gestão desses empreendimentos.

Como contribuição, o trabalho evidenciou o papel da Engenharia de Produção na organização da cadeia de suprimentos, na avaliação econômica baseada no custo do ciclo de vida e na redução de incertezas operacionais em projetos eólicos *offshore*. Nesse sentido, o desenvolvimento do setor no Brasil depende não apenas de avanços tecnológicos e regulatórios, mas também da adoção de abordagens gerenciais integradas que promovam eficiência operacional, governança e tomada de decisão baseada em dados ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se o desenvolvimento de estudos aplicados que analisem de forma quantitativa os custos logísticos, os modelos de cadeia de suprimentos e os impactos econômicos da implantação de parques eólicos *offshore* no contexto brasileiro. Além disso, pesquisas que investiguem estratégias de nacionalização da cadeia produtiva e o papel da infraestrutura portuária no suporte a esse setor podem contribuir para ampliar a compreensão sobre a viabilidade e a competitividade dessa fonte de energia no país.

REFERÊNCIAS

ASSIS, Bernardo Chagas et al. **Análise sobre utilização da energia eólica offshore no Brasil**. Caderno Pedagógico, v. 21, n. 12, p. e11124-e11124, 2024.



CERUTTI, Alef Júlio Schaefer et al. **Energia Eólica Offshore, um caminho para a transição energética: uma abordagem no contexto do panorama Offshore, Hidrogênio Verde e ESG.** 2023.

COLETTA, Nicholas Della; NUNES, Andrea; PAIVA, Jane M. F.; MORIS, Virgínia Aparecida da Silva. **Avaliação de oportunidades e tecnologias de energia eólica offshore no Brasil.** Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2022.

DIAS, Victor Lucas Souza. **Oportunidades e desafios da cadeia de suprimentos da eólica offshore no Brasil.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Produção, Natal, 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Roadmap Eólica Offshore Brasil: perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima.** Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE-versao_R2.pdf. Acesso em: 10 fev. 2026.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Offshore wind installed capacity reaches 83 GW as new report finds 2024 a record year for construction and auctions.** 2025. Disponível em: <https://www.gwec.net/news/offshore-wind-installed-capacity-reaches-83-gw-as-new-report-finds-2024-a-record-year-for-construction-and-auctions#:~:text=At%20the%20end%20of%202024,North%20America%20and%20Latin%20America>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MAGALHÃES, Gabriel Ralile de Figueiredo. **A inserção da energia eólica offshore no Brasil sob o viés tecnológico: uma análise através do mapeamento de patentes (2013-2021).** Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Guerra Naval (EGN), 2024.

MONTEZANO, Bruno Eduardo Monteiro. **Modelo dinâmico de visualização de um aerogerador com velocidade de rotação variável e controle de passo em vmrl.** 2007.

NASCIMENTO, M. V. do; BARBOSA, A. L. de O.; ALENCAR, J. V. L.; LIMA, K. de; LIMA, D. R. de; PONTE, L. C. B.; MOURA, A. S. **A energia eólica offshore no Brasil: avanços tecnológicos, fundamentos estruturais e viabilidade econômica à luz da literatura.** Caderno Pedagógico, [S. l.], v. 22, n. 13, p. e21190, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n13-002. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/21190>. Acesso em: 5 dez. 2025.

SOUZA, Renato Santos de; ARANTES, Guilherme Oliveira. **Panorama da energia eólica offshore e as perspectivas para o Brasil.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 31, n. 59, p.[5]-55, mar. 2025.

VAICBERG, Henrique; VALIATT, Gian; FERREIRA, Matheus. **Energia eólica offshore: Um overview do cenário global e o contexto brasileiro.** Revista de Direito e Negócios Internacionais da Maritime Law Academy International Law And Business Review, v. 1, n. 1, p. 114-143, 2021.