



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Gustavo Dias de Freitas

Avaliação dos desafios para o desenvolvimento da geração eólica offshore

CARAÚBAS - RN

2024

Gustavo Dias de Freitas

Avaliação dos desafios para o desenvolvimento da geração eólica offshore

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Rodrigo de Almeida Coelho, Prof. Dr.

CARAÚBAS - RN

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F862a Freitas, Gustavo Dias de.
Avaliação dos desafios para o desenvolvimento
da geração eólica offshore / Gustavo Dias de
Freitas. - 2024.
49 f. : il.

Orientador: Rodrigo de Almeida Coelho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2024.

1. Fontes renováveis. 2. Geração eólica. 3.
Geração eólica offshore. 4. Ambiente regulatório de
geração de energia no Brasil. I. Coelho, Rodrigo
de Almeida, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Gustavo Dias de Freitas

Avaliação dos desafios para o desenvolvimento da geração eólica *offshore*

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Defendida em: 16 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO DE ALMEIDA COELHO**
Data: 24/10/2024 19:48:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rodrigo de Almeida Coelho, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO COSTA DE OLIVEIRA**
Data: 16/10/2024 16:28:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adriano Costa de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **JAN ERIK MONT GOMERY PINTO**
Data: 24/10/2024 17:09:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jan Erik Mont Gomery Pinto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Francisco Freitas e Evilma Dias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me fortalecer para chegar ao fim dessa jornada e me conceder forças para não desistir.

Também gostaria de agradecer a toda minha família, em especial ao meu pai Francisco Freitas, a minha mãe Evilma Dias e a minha irmã Sara Dias, que sempre me apoiam em todas as etapas da minha vida, incluindo esta jornada acadêmica, sem eles eu não conseguiria essa conquista.

A minha amada Camila Clara, que sempre está ao meu lado me fazendo lembrar dos meus objetivos, sempre me ajudando quando mais preciso, agradeço por todo amor e carinho, te amo.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo de Almeida Coelho, pela sua orientação dedicada e valiosos conselhos. Sem o seu comprometimento este trabalho não teria sido possível.

Também gostaria de agradecer a banca examinadora pela disponibilidade em participar deste projeto.

Agradeço aos meus amigos, por todo o apoio e compartilhamento de conhecimentos. Agradeço em especial aos irmãos que a vida me deu pela parceria e contribuições: Gabriel Ribeiro, Pablo Alves, Pedro João, Romel Monteiro e Mikael Ferreira.

Agradeço ao meu grande companheiro de curso, Kennedy Dias, por estar ao meu lado durante o processo desta conquista.

Por fim, agradeço a todos que, direto ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Obrigado a todos.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

RESUMO

As preocupações em torno dos impactos do uso de combustíveis fósseis, tanto econômicos quanto ambientais, levaram a estudos voltados à utilização de fontes renováveis de energia. No Brasil, os fatores climáticos tornaram o uso da geração eólica pertinente no cenário nacional, principalmente na região nordeste. A geração eólica é dividida em dois ramos: a geração instalada em meio terrestre, *onshore*, e a geração instalada no âmbito marítimo, *offshore*. O potencial de geração de energia *offshore* supera o da geração *onshore*, uma vez que a velocidade dos ventos é maior em ambiente marítimo. Todavia, no Brasil, ainda existem impasses que dificultam a implantação e disseminação da geração *offshore*. Este trabalho expõe os desafios que rodeiam a geração de energia eólica *offshore*, dando ênfase às questões legislativas desse tipo de geração. O trabalho aborda o Decreto nº 10.946/2022, já aprovado, e o Projeto de Lei nº 576/2021 (substitutivo apresentado pela Câmara dos Deputados), que ainda está em tramitação, os quais regulamentam a geração de energia por meio de empreendimentos *offshore*. O trabalho também apresenta uma análise de ambientes regulatórios em países em que a geração eólica *offshore* é consolidada, como Dinamarca, Reino Unido e China. Foi possível concluir, por meio deste trabalho, que a legislação brasileira sobre a geração eólica *offshore* ainda é incipiente. A ausência de um ambiente regulatório bem definido constitui um impedimento para investimentos no setor *offshore* no Brasil, dificultando seu estabelecimento e consolidação no país.

Palavras-chave: fontes renováveis; geração eólica; geração eólica *offshore*; ambiente regulatório de geração de energia no Brasil.

ABSTRACT

Concerns about the economic and environmental impacts of fossil fuel use have led to studies focused on renewable energy sources. In Brazil, climate factors have made wind power important at the national level, especially in the northeast region. Wind power is divided into two types: onshore and offshore generation. Offshore wind energy has greater potential than onshore, as wind speeds are higher in offshore environments. However, in Brazil, there are still challenges that hinder the implementation and expansion of offshore wind power. This work highlights the challenges surrounding offshore wind power, with an emphasis on legislative issues. It addresses Decree No. 10,946/2022, already approved, and Bill No. 576/2021 (substitute presented by the Chamber of Deputies), which is still in progress, regulating offshore power generation projects. Additionally, it presents an analysis of regulatory frameworks in countries where offshore wind power is established, such as Denmark, the United Kingdom, and China. This study concludes that Brazilian legislation on offshore wind generation remains underdeveloped. The lack of a well-defined regulatory environment is a barrier to investment in the offshore sector in Brazil, hindering its growth and consolidation in the country.

Keywords: renewable energy sources; wind power; offshore wind power; regulatory environment for power generation in Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos ventos com relação ao movimento das massas de ar.....	3
Figura 2 - Processo de conversão da energia eólica em energia elétrica.....	4
Figura 3 - Componentes de um aerogerador.	5
Figura 4 - Aerogerador com eixo vertical.	6
Figura 5 - Turbinas de eixo horizontal <i>upwind</i> e <i>downwind</i>	7
Figura 6 - Exemplo de um sistema eólico <i>offshore</i>	9
Figura 7 - Exemplo de uma turbina eólica <i>onshore</i> e uma estimativa do seu tamanho em 2035.	10
Figura 8 - Exemplo de uma turbina eólica <i>offshore</i> e uma estimativa do seu tamanho em 2035.	11
Figura 9 - Fundações utilizadas em parques eólicos <i>offshore</i>	12

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BImSchG	<i>Bundesimmissionsschutzgesetz</i> (Lei Federal de Controle de Emissões)
BSH	<i>Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie</i> (Agência Federal Marítima e Hidrográfica)
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
DEA	<i>Danish Energy Agency</i> (Agência Dinamarquesa de Energia)
DIP	Declaração de Interferência Prévia
DMA	<i>Danish Maritime Authority</i> (Autoridade Marítima Dinamarquesa)
DNA	<i>Danish Nature Agency</i> (Agência Dinamarquesa de Natureza)
EKF	<i>Eksport Kredit Fonden</i>
FCP	Fundação Cultural Palmares
FCFS	<i>Frist Come, Frist Served</i>
FiT	<i>Feed-in tariff</i> (Tarifa de alimentação)
FPF	Fundo de Participação dos Estados e do Distrito Federal
FPM	Fundo de Participação dos Municípios
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
HVAC	<i>High Voltage AC Transmission</i>
HVDC	<i>High Voltage DC Transmission</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPHAN	Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kW	Quilowatt
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
m/s	Metros por segundo
MME	Ministério de Minas e Energia

MW	Mega Watts
NEA	<i>National Energy Administration</i> (Administração Nacional de Energia)
NFFO	<i>Non-Fossil Fuel Obligation</i> (Obrigação de Combustível Não Fóssil)
PPA	<i>Power Purchase Agreement</i> (Contrato de compra de energia)
PL	Projeto de Lei
PLS	Projeto de Lei do Senado
ROCS	<i>Renewable Energy Certificates</i> (Certificados de Obrigação de Energia Renovável)
RO	<i>Renewables Obligations</i> (Obrigações de energias renováveis)
SIN	Sistema Interligado Nacional
SOA	<i>State Ocean Administration</i> (Administração Oceânica do Estado)
SPU	Secretaria de Patrimônio da União
TAUS	Termo de Autorização de Uso Sustentável
TCE	<i>The Crown Estate</i> (Coroa Britânica)
TSO	<i>Transmission System Operator</i> (Operador do Sistema de Operação)
UE	União Europeia
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos.....	2
2. FUNDAMENTOS DA GERAÇÃO EÓLICA.....	3
2.1. Dinâmica dos Ventos	3
2.2. Conversão da energia cinética em energia elétrica.....	4
2.3. Componentes de um aerogerador	5
2.4. Tipos de turbinas eólicas.....	6
2.5. Diferenças entre as gerações eólicas <i>onshore</i> e <i>offshore</i>.....	7
3. GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE	9
3.1. Características principais	9
3.2. Potencial de geração	12
3.3. Impactos ambientais.....	13
3.4. Desafios de implementação	14
3.4.1. Desafios técnicos	14
3.4.2. Desafios econômicos	15
3.4.2. Desafios Regulatórios.....	15
4. AMBIENTE REGULATÓRIO DA GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL	17
4.1. Decreto nº 10.946/2022	17
4.2. Projeto de Lei nº 11.247/2018 e Projeto de Lei nº 576/2021.....	20
4.3. Licenciamento Ambiental	23
4.4. Meios para promover a utilização da geração eólica <i>offshore</i> no Brasil.....	24
5. AMBIENTE REGULATÓRIO DA GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE EM OUTROS PAÍSES	25
5.1. Dinamarca	25
5.2. Reino Unido.....	26
5.3. Alemanha.....	27
5.4. China.....	28
5.5. O que pode ser aplicado no Brasil.....	29
6. CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a geração de energia baseada em combustíveis fósseis surgiu a partir dos anos 1970, a qual foi motivada pela finitude desse tipo de fonte e pelo impacto ambiental de sua utilização. Outros fatores que influenciaram nessa preocupação foram a crise do petróleo de 1973 a 1979 e a guerra do Golfo de 1990 a 1991 (Pinto, 2013).

Em virtude da atenção voltada para os impactos ambientais causados pela utilização de fontes de energia não renováveis, foram iniciadas buscas por novas fontes de energia. Com isso, as fontes de energia renováveis surgiram como uma alternativa sustentável, como por exemplo a geração solar e a geração eólica. Dentre as fontes renováveis, a geração eólica possui destaque no continente europeu (Pinto, 2013). A União Europeia (UE) iniciou fortes investimentos em fontes renováveis devido às limitações de território terrestre, a partir dessa razão os países europeus iniciaram a implementação de leis nacionais voltadas para a promover a utilização da geração eólica *offshore* (Lima, 2023).

No Brasil, o primeiro aerogerador foi instalado no arquipélago de Fernando de Noronha, no ano de 1992. Atualmente, a geração eólica é uma das fontes renováveis que mais se destaca no país. Esse crescimento ocorre devido ao bom cenário climático que o país possui, em especial na região Nordeste, que se tornou um polo estratégico para a instalação de parques eólicos (Santos; Araújo, 2023).

A geração de energia elétrica a partir da fonte eólica envolve a transformação da energia cinética do vento em energia cinética rotacional por meio de aerogeradores, também conhecidos como turbinas eólicas. As usinas eólicas podem ser instaladas em terra, conhecida como geração eólica *onshore*, e podem ser instaladas no mar, referida como geração eólica *offshore* (Ribeiro, 2017).

Os aerogeradores instalados no mar são semelhantes aos utilizados em parque eólicos terrestres, mas necessitam de um reforço adicional para enfrentar as condições adversas presentes no mar, como os ventos intensos, tempestades, ondas fortes, entre outros desafios (Ferreira, 2019).

O potencial de geração eólica *offshore* é maior que o da *onshore*, o que ocorre devido às circunstâncias do ambiente onde os aerogeradores são instalados. Quando são instalados no mar, o vento é mais forte e mais constante, quando comparado às turbinas que são instaladas em terra, proporcionando uma maior geração de energia elétrica (Markard; Petersen, 2009).

Conforme apontado por Markard e Petersen (2009), a geração eólica *offshore* possui desafios particulares que a geração *onshore* não apresenta, dentre os quais podem ser citados:

a distância da costa em que os aerogeradores serão instalados; influência em rotas marítimas; profundidade da água; condições ambientais; água salgada; dificuldade de acesso aos aerogeradores devido à distância; manutenção mais onerosa. Assim, é evidente a necessidade de uma análise teórica em torno dos desafios que a instalação da geração eólica *offshore* pode trazer.

Uma das etapas para a disseminação da geração eólica *offshore* é o estabelecimento de leis para regulação desse tipo de geração de energia. Todavia, a definição de um ambiente regulatório não é um processo simples visto que, além de definir políticas de incentivo à implantação de parques eólicos *offshore*, é primordial que o aspecto de preservação ambiental seja contemplado na regulamentação. O estabelecimento de leis para regulamentar a geração *offshore* constitui o primeiro passo para que as empresas estejam asseguradas juridicamente para realizar investimentos nesse tipo de empreendimento.

Diante do exposto, o entendimento pleno sobre os desafios para a implantação da geração eólica *offshore* é capaz de subsidiar uma análise acerca de políticas e estratégias para o incentivo do uso desse tipo de geração. Nesse contexto, é fundamental realizar um estudo sobre as barreiras regulatórias, ambientais e econômicas que dificultam o estabelecimento de leis e políticas públicas para que o Brasil seja capaz de aproveitar seu potencial para a geração de energia elétrica a partir de parques eólicos *offshore*.

1.1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise sobre os desafios associados à implantação da geração eólica *offshore* no Brasil. Como objetivos específicos, os seguintes itens podem ser elencados:

- Apresentar os fundamentos da geração eólica;
- Detalhar os desafios da geração eólica *offshore*;
- Realizar um levantamento sobre o ambiente regulatório da geração eólica *offshore* no Brasil;
- Apresentar leis utilizadas em outros países voltadas para o ambiente regulatório da geração eólica *offshore*.

2. FUNDAMENTOS DA GERAÇÃO EÓLICA

Neste capítulo será abordada a fundamentação teórica necessária para compreender os princípios da geração eólica.

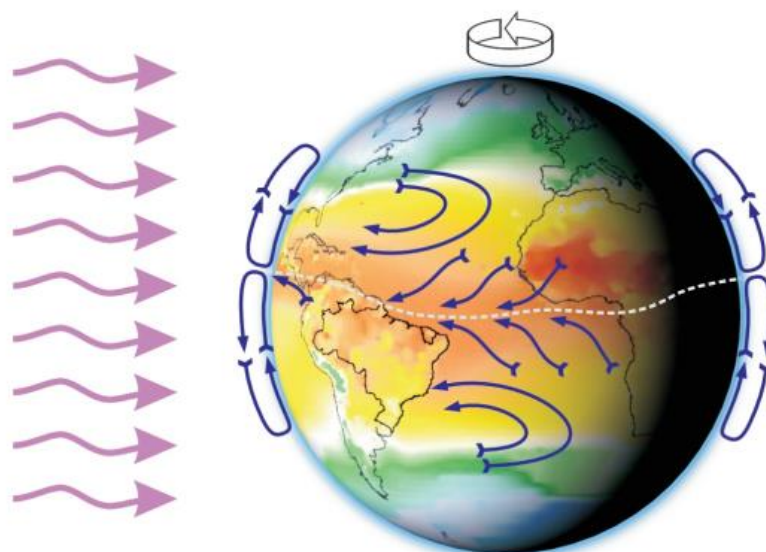
2.1. Dinâmica dos Ventos

O vento é constituído de uma mistura de gases, o qual possui propriedades físicas típicas dos fluidos. À medida que o ar esquentando ele tende a se expandir, o que faz com que ele se torne menos denso que o ar frio, fazendo com que ele suba e o ar frio mais denso tenda a descer. Os ventos mais fortes estão presentes nas regiões mais próximas à Linha do Equador, o que ocorre devido ao fato das regiões tropicais apresentarem temperaturas mais elevadas do que em relação aos polos (Lima, 2023).

Devido à inclinação que o eixo de rotação da Terra possui em relação ao sol durante o movimento de translação, ocorrem as conhecidas estações do ano, ou variações sazonais. Esse fato afeta diretamente na duração dos ventos (Lima, 2023). Por meio das variações sazonais ocorre o surgimento de ventos continentais ou periódicos. Ventos continentais, ou monções, são os ventos que mudam de direção a cada seis meses e os ventos periódicos, ou brisas, são os ventos diários que acontecem por causa do aquecimento diferencial entre a terra e o mar (Silvestre, 2017).

Na Figura 1 é ilustrada a distribuição das massas de ar ao redor do planeta terra.

Figura 1 - Distribuição dos ventos com relação ao movimento das massas de ar.

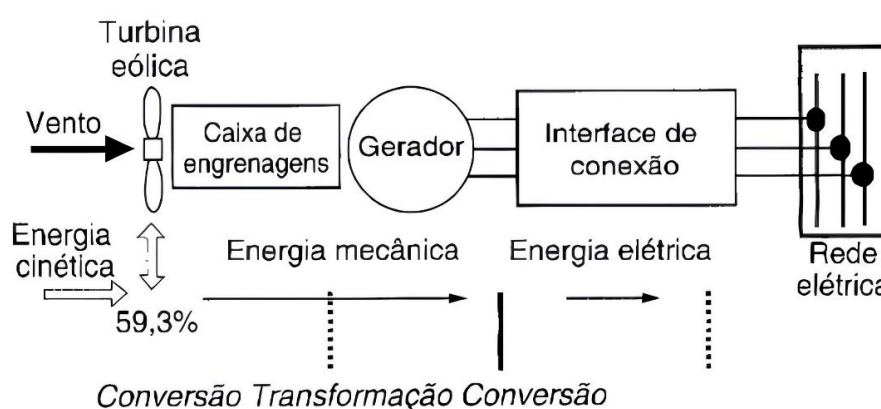


Fonte: Adaptado de Amarante *et al.* (2001).

2.2. Conversão da energia cinética em energia elétrica

A conversão da energia eólica em energia elétrica ocorre por meio dos aerogeradores e essa conversão possui duas etapas. Na primeira etapa, a turbina utiliza parte da energia cinética disponível para converter em energia mecânica, e, na segunda etapa, o gerador converte a energia mecânica em energia elétrica e enviar para a rede da concessionária (Pinto, 2013). Na Figura 2 é ilustrado o processo mencionado acima.

Figura 2 - Processo de conversão da energia eólica em energia elétrica.



Fonte: Adaptado de Pinto (2013).

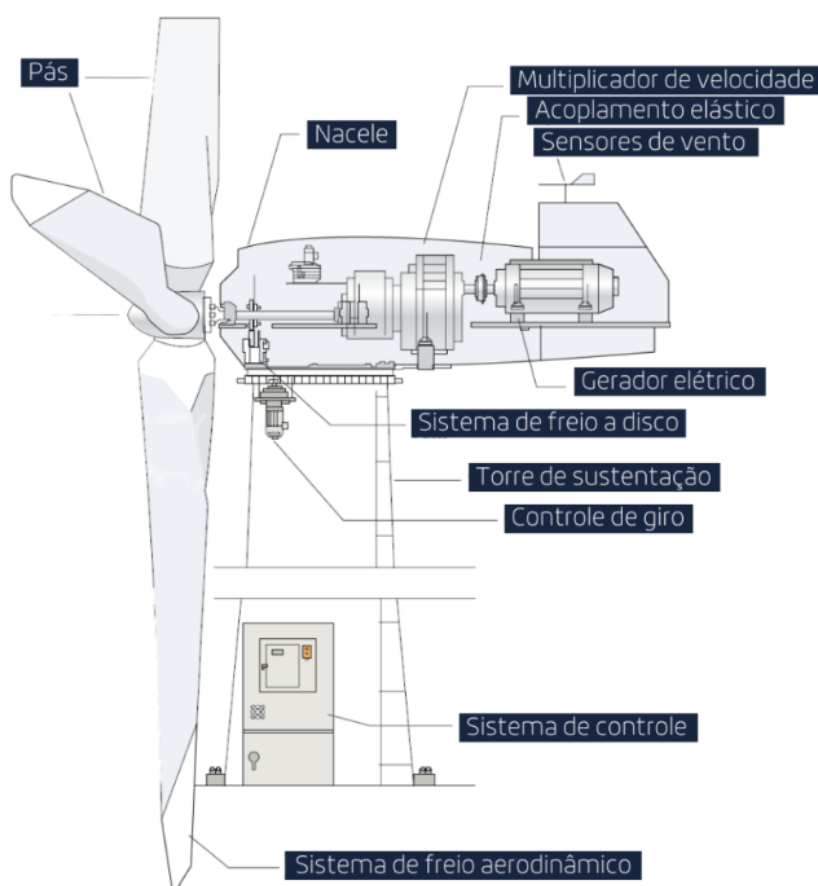
O funcionamento de um aerogerador é diretamente influenciado pelas condições do vento, sobre as quais não se tem controle. Para isso, medidas podem ser implementadas para a otimização de determinadas condições operacionais, permitindo um controle mais eficaz da energia convertida pelo aerogerador (Pinto, 2013).

As turbinas eólicas de velocidade variável com controle de passo, geralmente possuem dois controladores interligados. Em caso de baixas velocidades do vento, o controlador de velocidade irá ajustar a rotação do rotor, influenciando a produção de energia. O controle de ângulo das pás ajusta o ângulo para maximizar a geração de energia abaixo da velocidade nominal e é responsável por limitar a potência mecânica regulando a potência aerodinâmica colocando-a acima da velocidade com a intenção de evitar sobre cargas. Manter a velocidade da ponta do rotor em um nível ideal é essencial para que o aerogerador aumente a eficiência. O ajuste do ângulo de passo é crucial em altas velocidades do vento, permitindo estabilidade na rotação e impactando positivamente o desempenho da turbina (Zhang *et al.*, 2008).

2.3. Componentes de um aerogerador

Um aerogerador é composto por um rotor, pás, nacele, multiplicador de velocidade, acoplamento elástico, sensores de vento, como exemplo o anemômetro, gerador elétrico, síncronos ou assíncronos, sistema de freio a disco, torre de sustentação, controle de giro, sistema de controle e um sistema de freio aerodinâmico (Galdino, 2018). Na Figura 3 é apresentada uma ilustração contendo alguns dos componentes presentes em um aerogerador.

Figura 3 - Componentes de um aerogerador.



Fonte: Adaptado de Cotesa (2023).

De acordo com Pinto (2013), os aerogeradores possuem, além da turbina, outros componentes importantes que serão apresentados a seguir:

- A torre é a estrutura responsável pela sustentação de todos os dispositivos da turbina. As torres podem ser construídas em aço ou concreto, denominadas de tubulares cônicas, e as que são feitas de aço, conhecidas como treliçadas;
- A nacele é a estrutura montada na parte superior da torre;

- A caixa de engrenagens adequa a velocidade da turbina à velocidade do gerador;
- O cubo é a parte onde as pás estão fixadas;
- As pás, estrutura movimentada pelo vento, são construídas com fibra de vidro e revestidas em epóxi ou madeira;
- O gerador é o responsável por gerar a energia elétrica.

2.4. Tipos de turbinas eólicas

Existem dois tipos de aerogeradores, os de eixo horizontal e os de eixo vertical. Os aerogeradores de eixo horizontal, apesar de possuírem um custo maior, são amplamente utilizados pela indústria devido à sua maior eficiência. Os aerogeradores de eixo vertical têm vantagem sobre os de eixo horizontal pois não precisam de mecanismos para acompanhar as mudanças na direção do vento (Galdino, 2018).

Na Figura 3 foi ilustrado um aerogerador com eixo horizontal. Na Figura 4 é apresentado um modelo de aerogerador de eixo vertical.

Figura 4 - Aerogerador com eixo vertical.

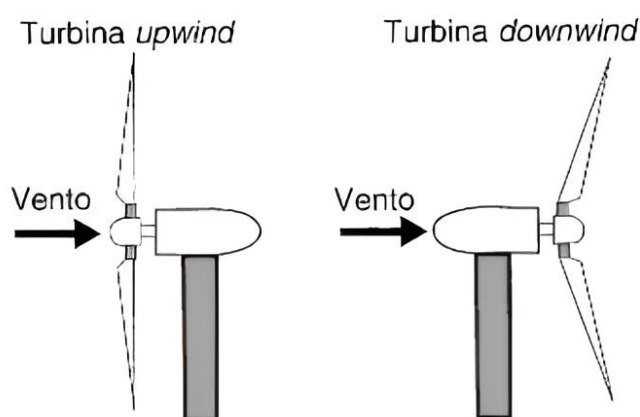


Fonte: Adaptado de Stroski (2019).

Nos aerogeradores com eixo vertical existem diferentes tipos de turbina, como as turbinas Savonius e a Darrieus. Um exemplo da turbina Darrieus pode ser observado na Figura 4 (Silvestre, 2017).

As turbinas de eixo horizontal podem ser classificadas com base na posição do rotor em relação à torre. A turbina pode ser projetada para receber o vento de frente, denominada de *upwind*, ou por trás, chamada de *downwind* (Silvestre, 2017). Na Figura 5 são representados os dois tipos de turbinas de eixo horizontal supramencionados.

Figura 5 - Turbinas de eixo horizontal *upwind* e *downwind*.



Fonte: Adaptado de Pinto (2013).

As turbinas *downwind* possuem uma vantagem sobre as *upwind*, pois não necessitam de mecanismos para realizar o ajuste nas pás. Isto é, a turbina se ajusta naturalmente com relação a direção do vento. Porém, a torre pode causar uma turbulência maior no vento, gerando mais ruído. As turbinas *upwind* conseguem reduzir o ruído pois elas evitam a interação do vento com a torre, entretanto esse tipo de turbina necessita de um mecanismo para ajustar as pás e mantê-las voltadas para a direção do vento (Ribeiro, 2017).

2.5. Diferenças entre as gerações eólicas *onshore* e *offshore*

A geração eólica *onshore* é caracterizada por ter suas turbinas eólicas instaladas em superfícies terrestres, o que demanda grandes extensões territoriais (Luz *et al.*, 2020). Para esse tipo de geração, a avaliação da superfície é bastante importante, uma vez que a rugosidade do terreno desempenha um papel fundamental na geração de energia elétrica. Isto é, a irregularidade do terreno pode determinar qual área é melhor para a geração (Barreto, 2019).

A geração eólica *offshore* é caracterizada por aerogeradores instalados em ambientes aquáticos, como em mares costeiros, oceanos profundos, baías, lagoas e reservatórios de hidrelétricas (Fernandes, 2023).

A principal diferença entre a estrutura utilizada para a geração eólica *onshore* e a geração eólica *offshore* está nos materiais utilizados, que devem ser mais resistentes para suportar as condições que o ambiente marinho possui. Os aerogeradores instalados no mar também costumam ser maiores que os instalados em terra, aproveitando melhor o espaço marinho (Casagrande, 2021).

Ao comparar o custo da geração eólica *offshore* com o da *onshore* observa-se uma diferença muito grande, sendo o da eólica *offshore* bem maior. Isso ocorre devido ao ambiente em que as turbinas serão instaladas, pois, no mar a montagem das turbinas, a ligação à rede, a fundação, a manutenção, entre outros fatores que tornam a eólica *offshore* altamente desafiadora e, consequentemente, mais cara que a instalação da eólica *onshore* (Markard; Petersen, 2009).

De acordo com Araujo (2021), no Brasil, o custo médio por quilowatt da geração eólica *onshore* chega a ser 1.559 dólares, comparando com o custo por quilowatt da geração eólica *offshore* no mundo, que tem uma média de 3800 dólares, o valor chega a ser 41% mais caro para a implantação de usinas eólicas *offshore*.

A geração eólica *offshore*, com relação aos custos envolvendo as etapas de operação e manutenção, podem ser até duas vezes mais cara quando comparado com a geração eólica *onshore* (Su *et al.*, 2024).

Diferentemente da geração eólica *onshore*, a eólica *offshore* possui vários fatores que elevam o custo do seu investimento. Um desses fatores está presente nos materiais que serão utilizados para a proteção contra a corrosão que é causada pela água do mar (Vaicberg; Valiatt; Queiroz, 2021).

3. GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE

Neste capítulo, será fornecida uma análise detalhada sobre a geração eólica *offshore*, abordando seus principais aspectos, características, impactos ambientais e desafios.

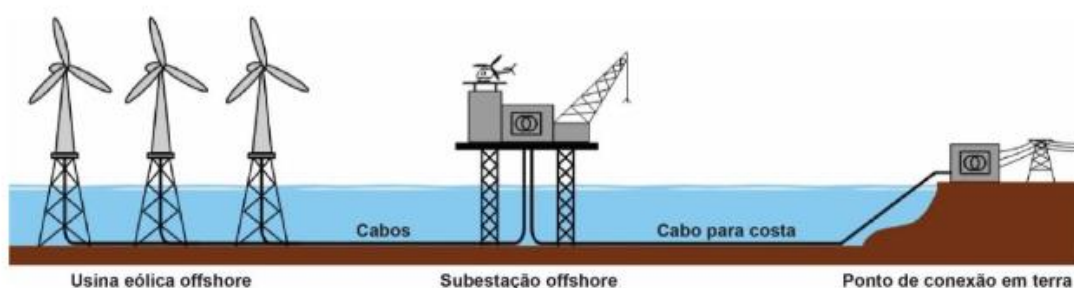
3.1. Características principais

A primeira turbina eólica *offshore* instalada foi no ano de 1990, na Suécia. Localizada a 350 metros de distância da costa, com uma profundidade de 6 metros e com uma estrutura de tripé, ancorada no fundo do mar (Esteban *et al.*, 2011).

Um parque eólico *offshore* é formado por seis elementos principais: os aerogeradores, os cabos entre as turbinas, uma subestação *offshore* (quando necessário), os cabos de transmissão até a costa, uma subestação *onshore* e a conexão com a rede elétrica (Ferreira, 2019).

Na Figura 6 é apresentado um esquemático de um sistema eólico *offshore*.

Figura 6 - Exemplo de um sistema eólico *offshore*.



Fonte: Adaptado de Barbosa (2018).

O posicionamento das turbinas em um parque eólico *offshore* é planejado para garantir que cada uma turbina opere o mais eficientemente possível, evitando que a turbulência do ar e o efeito esteira interfiram no funcionamento das turbinas (Barbosa, 2018).

O efeito esteira ocorre quando as turbinas eólicas não estão posicionadas de maneira correta. À medida que o vento passa pelos aerogeradores, sua velocidade diminui, prejudicando a produção de energia das turbinas que vêm logo após a primeira (Lima, 2023).

As turbinas eólicas *offshore* compartilham características com as turbinas *onshore*, mas tendem a ser maiores para reduzir o custo por MW de potência instalada. Além disso, um dos

principais diferenciais entre as turbinas *offshore* das *onshore* é o tipo de fundação utilizada, adaptado para a sua instalação no ambiente marítimo (Silva, 2019).

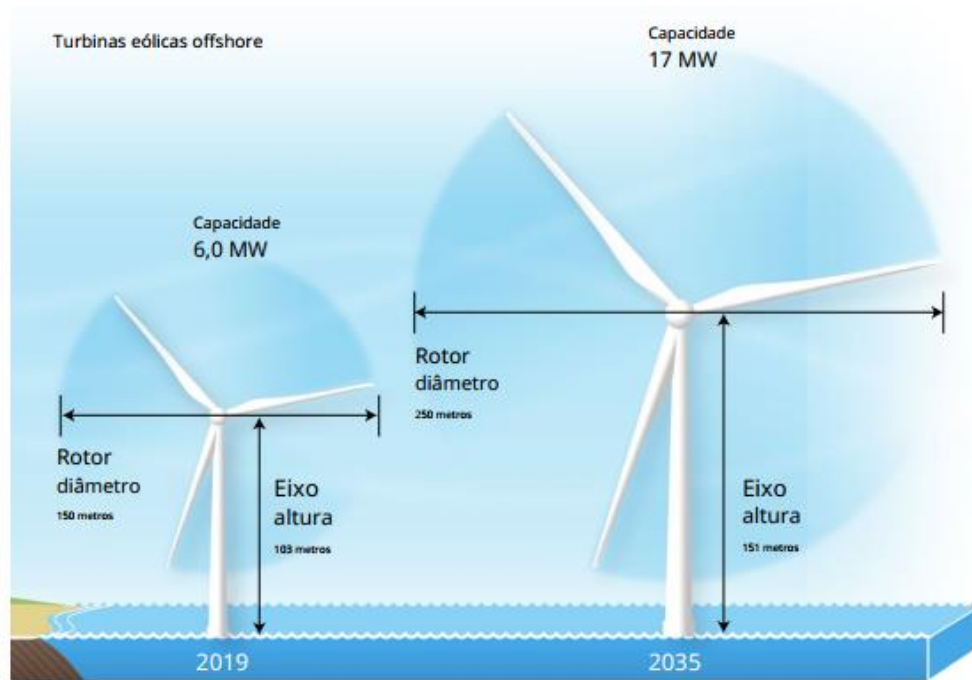
As diferenças nos tipos de fundações das turbinas *onshore* e *offshore* se refletem nas dimensões totais da estrutura. Na Figuras 7 e 8 são apresentados exemplos das dimensões de turbinas eólicas *onshore* e *offshore*, respectivamente.

Figura 7 - Exemplo de uma turbina eólica *onshore* e uma estimativa do seu tamanho em 2035.



Fonte: Adaptado de Wiser *et al.* (2021).

Figura 8 - Exemplo de uma turbina eólica *offshore* e uma estimativa do seu tamanho em 2035.

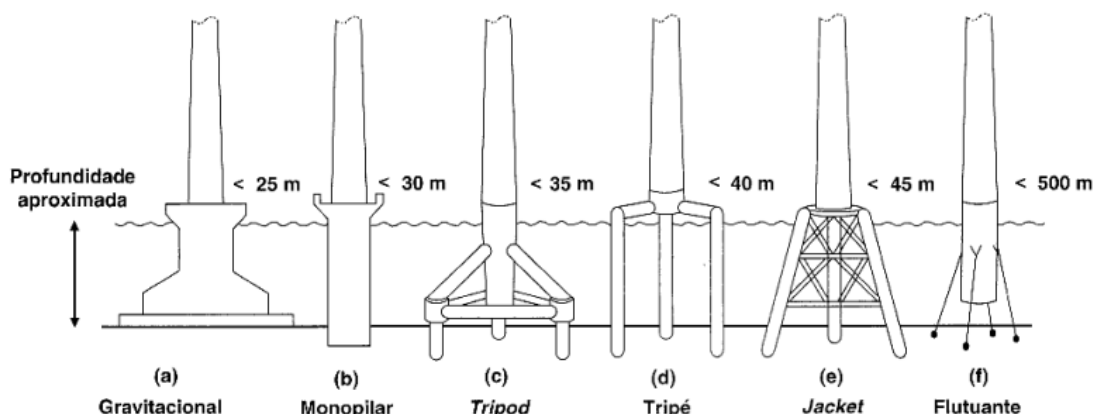


Fonte: Adaptado de Wiser *et al.* (2021).

As estruturas utilizadas em parques eólicos *offshore* podem ser classificadas em dois tipos: fundações de base fixa e fundações flutuantes. Para profundidades de até 50 metros, as fundações de base fixa normalmente são utilizadas. Por outro lado, as fundações flutuantes são utilizadas para profundidades superiores a 50 metros (Ferreira, 2019).

À medida que a profundidade do local onde os aerogeradores são instalados aumenta, o tipo de fundação utilizado também muda. Existem seis tipos de fundações: a gravitacional, a monopilar, *tripod*, tripé, *jacket* e a flutuante (Pinto, 2013). Na Figura 9 são ilustrados os tipos de fundações citados anteriormente.

Figura 9 - Fundações utilizadas em parques eólicos *offshore*.



Fonte: Adaptado de Pinto (2013).

A fundação monopilar, amplamente utilizada em parques eólicos *offshore*, é composta por um tubo com diâmetro que pode variar de 4 a 6 metros cuja espessura é de aproximadamente 150 milímetros. Para realizar a instalação são utilizados métodos de cravação e/ou perfuração (Carvalho, 2017).

Os ventos marítimos possuem uma menor mudança de velocidade em relação à altura quando comparado aos ventos da geração eólica *onshore*, isto é, o aumento da altura das torres da geração eólica *offshore* não tem um impacto significativo na geração de energia elétrica (Musial *et al.*, 2023).

Usualmente, a energia obtida a partir da geração eólica *offshore* é transmitida de duas formas: alta tensão em corrente alternada (HVAC) e alta tensão em corrente contínua (HVDC) (Pinto, 2013). A transmissão HVAC é a mais utilizada em parques de geração eólica *offshore* (Xue; Akhmatov, 2009). De acordo com Vaicberg, Valiatt e Queiroz (2021), essa tecnologia é amplamente utilizada na geração eólica *offshore* devido a ser a mais consolidada e por ter passado por várias evoluções, o que resultou na sua otimização do processo de transmissão e na redução de custo.

Os parques eólicos *offshore* são compostos das turbinas eólicas e da subestação. Dependendo da distância que o parque eólico fique em relação à costa, o parque pode ter duas subestações, uma no mar e uma em terra (Huo; Zhang; Ren, 2021).

3.2. Potencial de geração

Kaldellis e Kapsali (2013) destacam que uma das principais razões para a instalação de turbinas eólicas no mar é a velocidade significativamente maior do vento, que pode ultrapassar 8 m/s a alturas de até 50 metros. A geração eólica *offshore* possui um potencial de geração

maior que o da geração *onshore* devido à velocidade do vento no mar ser maior e mais constante resultando em menos turbulência. Esse fato reduz a fadiga e aumenta a vida útil dos aerogeradores (Esteban *et al.*, 2011).

A diferença mínima de temperatura entre altitudes próximas à superfície do mar, aliada à falta de obstáculos, contribui para uma menor turbulência e ventos mais constantes (Carvalho, 2017). Além disso, uma vez que os ventos *offshore* possuem maior velocidade e são mais constantes que os ventos *onshore*, os aerogeradores operam em sua capacidade plena por uma maior parte do tempo (Snyder; Kaiser, 2009). Conforme observado por Carvalho (2017), os ventos *offshore* apresentam uma velocidade média 20% superior em relação aos ventos *onshore*, o que contribui para um aumento de cerca de 70% na geração de energia elétrica.

A velocidade do vento *offshore*, a uma distância de 10 km em relação a costa, é cerca de 25% maior do que o vento em superfícies terrestres, ocasionando em um potencial de geração maior da geração eólica *offshore* comparando com a geração eólica *onshore* (Tian *et al.*, 2021).

De acordo com Silva (2015), um estudo realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) analisou dados correspondentes aos anos de 1999 a 2009 do satélite *QuickSCAT*. No estudo foi estimado que o potencial energético *offshore* na Zona Econômica Exclusiva brasileira é cerca de 12 vezes maior que o *onshore*. Além dos fatores supracitados, a constância dos ventos propicia uma redução no desgaste dos aerogeradores (Snyder; Kaiser, 2009).

3.3. Impactos ambientais

Impactos ambientais voltados à geração *offshore* estão relacionados à modificação sedimentar e poluição do ambiente, riscos de colisão de aves com as hélices dos aerogeradores, e até mudança no comportamento dos mamíferos locais causados pelos ruídos (Guimarães, 2019). As turbinas eólicas *offshore* emitem dois tipos de ruídos, o ruído mecânico, que é causado pelas partes mecânicas da nacelle, e o ruído aerodinâmico, ocasionado pelo movimento das pás do aerogerador (Lima, 2023).

Os mamíferos marinhos podem ser afetados pelo ruído gerado pelos aerogeradores de um parque eólico *offshore*, pois esses animais dependem da sua audição para comunicação, localização e busca por alimentos (Lima, 2023). Segundo Vaissière *et al.* (2014), os mamíferos marinhos tendem a evitar as áreas onde a construção de parques eólicos *offshore* está em andamento.

Existem diversas espécies de peixes que possuem sensibilidade aos campos elétricos e magnéticos, utilizando essa habilidade para a orientação e localização de presas. Embora pesquisas indiquem que os campos magnéticos podem ter algum impacto nos peixes, não há evidências conclusivas de que os campos eletromagnéticos gerados por cabos submarinos afetem o comportamento desses animais (Carvalho, 2017).

Além disso, a instalação de um parque de geração eólica *offshore* pode afetar as aves locais e aves migratórias que durante determinados períodos podem se deslocar pelo local onde os aerogeradores estão instalados. As rotas dos peixes e dos mamíferos marinhos locais também podem ser afetadas. (Ferreira, 2017). De acordo com Markard e Petersen (2009), a geração eólica *offshore* não causa tanto impacto visual quanto a *onshore*, mas, pode acarretar conflitos com áreas de preservação ambiental.

Ademais, a fase de construção de um parque eólico *offshore* pode gerar impactos mais intensos e diversos, embora sua duração seja relativamente curta quando comparado com os impactos causados durante a fase de operação (Vaissière *et al.*, 2014).

3.4. Desafios de implementação

A geração eólica *offshore*, embora seja bastante promissora, passa por vários desafios. Nesta seção serão abordados alguns desses desafios, como os desafios técnicos, econômicos e regulatórios.

3.4.1. Desafios técnicos

Conforme a distância de um parque eólico *offshore* aumenta em relação à costa, os desafios que estão relacionados à instalação, manutenção e transmissão tornam-se mais significativos. O aumento dessa distância irá exigir um planejamento minucioso, assim como a utilização de suportes marítimos (Islam; Guo; Zhu, 2014).

Nesse sentido, os suportes marítimos são essenciais em todas as fases de construção, reparo, manutenção de um parque eólico *offshore*, bem como para a realização do transporte de componentes e de mão de obra. Esses suportes podem ser específicos para a geração eólica *offshore*, mas também é possível utilizar as estruturas já empregadas pela indústria *offshore* de petróleo (Vaicberg; Valiatt; Queiroz, 2021).

Além disso, é importante levar em consideração as condições marítimas adversas, que podem impactar na eficiência do projeto. Essas condições podem causar atraso na manutenção

dos aerogeradores em parques eólicos *offshore*, resultando em períodos de inatividade mais prolongados em comparação com as turbinas eólicas *onshore* (Farias; Fontgalland, 2022).

3.4.2. Desafios econômicos

Os custos de implantação de um parque eólico *offshore* são mais elevados do que o de um parque eólico *onshore*. O principal motivo é a complexidade da construção e operação de um empreendimento em alto mar. Segundo Carvalho (2017), a construção de parques eólicos *offshore* pode ser duas a três vezes mais cara que a de parques eólicos *onshore*.

Devido às turbinas serem instaladas no mar, as fundações utilizadas são mais complexas e caras do que as que são utilizadas em turbinas eólicas *onshore*. Tal característica contribui para que o investimento em turbinas eólicas *offshore* seja mais elevado em comparação com a geração eólica *onshore* (Silva, 2019).

É importante ressaltar que, embora as condições de vento em locais mais distantes da costa sejam mais favoráveis para a geração de energia elétrica, os desafios da implantação e operação de parques eólicos *offshore* se tornam maiores quanto maior for a distância da costa. À medida que o parque se distancia da costa, há uma necessidade de maior robustez dos materiais utilizados.

3.4.2. Desafios Regulatórios

A ausência de um ambiente regulatório é um dos principais desafios encontrados para o desenvolvimento da geração eólica *offshore* no Brasil. Até o fim de 2021, não havia regulamentação específica para a cessão de áreas marítimas a investidores interessados na exploração dessa forma de geração de energia (Fernandes, 2023). Essa ausência faz com que investidores, tanto nacionais como internacionais, tenham insegurança para realizar investimentos voltados a geração eólica *offshore* no Brasil (Lima, 2023).

Um ambiente regulatório sólido pode mitigar diversos desafios associados à geração eólica *offshore* e aumentar a confiança de investidores. Dentre esses desafios, destacam-se as incertezas quanto às normas e regulamentos, a necessidade de adaptação da infraestrutura e a avaliação de possíveis impactos socioeconômicos e ambientais (Noronha *et al.*, 2021).

Ter um ambiente regulatório bem desenvolvido é o primeiro passo para países que almejam instalar turbinas eólicas *offshore*. Um dos pontos importantes para ter uma boa regulação é que ela não passe por constantes reformas, visto que uma regulamentação instável

faz com que os investidores não tenham segurança para realizar investimentos no país (Pinto, 2017).

4. AMBIENTE REGULATÓRIO DA GERAÇÃO EÓLICA *OFFSHORE* NO BRASIL

Neste capítulo, será apresentada uma análise detalhada da legislação relacionada à geração eólica *offshore* no Brasil.

O Brasil conta com leis relacionadas ao cedimento de áreas marítimas, orientada por normativa da Secretaria de Patrimônio da União (SPU). Por exemplo, a Lei nº 9.636, de 15 de maio de 1998, apresenta na seção VI no artigo 18, que a União pode realizar a cessão de imóveis de sua titularidade para interessados, caso tenha interesse público ou social e no aproveitamento econômico de interesse nacional. Além disso, há normas estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para a outorga e exploração de potenciais eólicos, sem explicitação de qualquer restrição relacionada ao local da instalação, se é em terra ou no mar (Schor, 2023).

Por outro lado, ainda não há uma regulamentação específica para a geração eólica *offshore*, tanto para ceder áreas para a instalação dos parques ou para a autorização da exploração dessa modalidade de geração (Schor, 2023). O primeiro passo para preencher essa lacuna foi dado em 25 de janeiro de 2022, com a implementação do primeiro decreto voltado à geração eólica *offshore*, o Decreto 10.946/2022 (Dias, 2023).

4.1. Decreto nº 10.946/2022

O Decreto nº 10.946/2022 regulamenta a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores, abrangendo apenas as águas marítimas que estão entre a costa e a Linha de Base do Brasil, sob o domínio da União, no mar territorial, na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e na plataforma continental, para a produção de energia elétrica por meio de empreendimentos *offshore*. Esse decreto, no entanto, não é aplicado aos potenciais hidráulicos em rios ou bacias hidrográficas, nem às atividades associadas à exploração e produção de petróleo e gás (Brasil, 2022).

Algumas leis são regulamentadas pelo Decreto nº 10.946/2022: o Decreto-lei nº 9.760/1946, que trata da legislação sobre terrenos de marinha e bens da União e da cessão de uso de imóveis da União; a Lei nº 8.617/1993, que estabelece a extensão do mar territorial, a zona contígua, a ZEE e a plataforma continental brasileiros; a Lei nº 9.074/1995, responsável por determinar as normas para a concessão e permissão de serviços públicos; a Lei nº 9.427/1996, responsável pela criação da ANEEL, entidade que regula e fiscaliza o setor elétrico; a Lei nº 9.478/1997, que estabelece a política energética nacional, atividades relacionadas à

exploração de petróleo e gás natural e cria a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); a Lei nº 9.636/1998, aborda a regularização, administração, alienação e aforamento de bens imóveis da União; a Lei nº 10.848/2004, que aborda as regras voltadas para a comercialização de energia elétrica no Brasil (Brasil, 2022).

O Decreto atribui ao Ministério de Minas e Energia (MME) a responsabilidade pela cessão das áreas marítimas e de terras da União, necessárias para as instalações de apoio logístico, manutenção e operação dos empreendimentos. O MME poderá escolher a ANEEL para firmar os contratos e realizar os atos necessários para a sua legalização (Brasil, 2022).

A cessão de uso tratada pelo decreto poderá ser de duas formas: cessão planejada, que oferta prismas que são delimitados e ofertados pelo MME, seguindo o processo de licitações, ou a cessão independente que cede prismas para interessados que desejam explorá-los. Prismas são áreas verticais cuja profundidade coincide com o leito submarino e que possuem uma superfície poligonal delimitada pelas coordenadas geográficas de seus vértices. O contrato de cessão de uso da área não dá ao concessionário o direito de utilizar a área para a geração de energia elétrica, para isso será necessária a autorização da ANEEL, seguindo os termos da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995 (Brasil, 2022).

Para obter a cessão da área é necessário ter a emissão de Declaração de Interferência Prévia (DIP) pelos seguintes órgãos e entidades: Comando da Marinha; Comando da Aeronáutica; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade; Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); Ministério da Infraestrutura; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério do Turismo e a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (Brasil, 2022).

A DIP é emitida com o objetivo de identificar se existe a possibilidade de os prismas interferirem em outras atividades ou instalações. A solicitação das DIP será feita, aos órgãos e entidades mencionadas anteriormente, com um prazo de no mínimo 30 dias. O prazo foi estabelecido em norma complementar do MME. A emissão da DIP não dá o direito de realizar a instalação do parque eólico *offshore*, uma vez que o interessado precisa cumprir todas as exigências das normas legais (Brasil, 2022).

O Decreto estabelece que a comercialização de energia elétrica proveniente de empreendimentos *offshore* seguirão as normativas da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. A comercialização da energia poderá ser realizada a partir de leilões exclusivos para esse tipo de geração (Brasil, 2022).

Caberá ao MME estabelecer o procedimento necessário para a interligação das usinas de geração de energia elétrica *offshore* ao Sistema Interligado Nacional (SIN). O MME também ficará responsável por determinar o limite máximo da área que será cedida no mesmo contrato, o qual deve conter algumas cláusulas obrigatórias (Brasil, 2022):

- A área que será cedida;
- As instalações de transmissão, quando necessário;
- As garantias financeiras para a execução e desativação das instalações;
- As condições e duração da cessão de uso;
- A exigência de estudos relacionados à viabilidade da energia *offshore* como requisito para a obtenção da cessão;
- As obrigações de pagamento pela cessão de uso à União;
- A forma de apuração e pagamento, bem como as sanções por inadimplência ou atraso do pagamento da ocupação da área à União;
- A Obrigação de enviar relatórios à ANEEL relacionados às atividades desenvolvidas;
- A empresa terá o direito de construir as estruturas necessárias para a geração de energia elétrica dentro da área que foi concedida, desde que sejam cumpridas todas as normas da Autoridade Marítima e as exigências ambientais, com a obtenção da licença ambiental emitida pelo órgão competente;
- A delimitação do espaço que o concessionário poderá utilizar para a passagem de dutos ou cabos que irão transmitir a energia;
- As regras para a prorrogação e rescisão do contrato;
- A empresa será responsável por tomar medidas de conservação ambiental e segurança;
- O concessionário deve comunicar imediatamente à ANP ou à Agência Nacional de Mineração (ANM) a descoberta de recursos naturais de interesse comercial, como petróleo e minerais;
- A empresa também ficará responsável por arcar com a responsabilidade civil por danos decorrentes de suas atividades, incluindo a indenização de terceiros e ressarcimento à União;
- E outros direitos e obrigações do cessionário.

A cessão de uso será gratuita quando for voltada para a realização de pesquisas e desenvolvimento tecnológico e será onerosa quando a área for destinada para a geração de energia elétrica *offshore* (Brasil, 2022). Além disso, em prismas que coincidam com áreas onde

já existem outros empreendimentos, como plataformas de petróleo, caberá à ANP e a ANEEL decidirem se a área poderá ser concedida (Brasil, 2022).

O Decreto nº 10.946/2022 aponta um licenciamento ambiental rigoroso, o que ajuda a amenizar os impactos ambientais que podem ser causados com a instalação de usinas *offshore*. Um ponto negativo apresentado no Decreto é que o contrato de cessão estabelecido não apresenta as obrigações financeiras que a empresa terá com relação às participações governamentais, isto é, bônus de assinatura, pagamento pela ocupação ou retenção da área e participação proporcional. Esse fato pode gerar uma insegurança em investidores em relação aos custos envolvidos em projetos de grande escala. Tal ponto pode ser observado no contrato que é estabelecido pelo substitutivo que será tratado a seguir, onde são apontadas as participações governamentais e como serão distribuídas.

O Decreto nº 10.946/2022 poderia abordar meios, como incentivos fiscais e financeiros, para obter a participação de empresas locais e estrangeiras para o desenvolvimento de tecnologias e soluções para o setor de geração de energia *offshore*. Dois projetos de lei, ainda não aprovados, precederam esse decreto: o Projeto de Lei nº 11.247/2018 e o Projeto de Lei nº 576/2021.

4.2. Projeto de Lei nº 11.247/2018 e Projeto de Lei nº 576/2021

O PL nº 11.247/2018 teve origem com o Projeto de Lei do Senado (PLS) 484/2017, e estabelece o aumento das competências institucionais relacionadas à Política Energética Nacional, com o intuito de proporcionar o desenvolvimento da geração de energia elétrica proveniente da fonte eólica situada nas águas interiores, no mar territorial e na ZEE, bem como da geração de energia elétrica oriunda da fonte solar fotovoltaica (Brasil, 2018).

O PL nº 576/2021 regulamenta a exploração e o desenvolvimento da geração de energia elétrica a partir de fontes localizadas em instalações *offshore*. O Projeto inclui áreas como o mar territorial, da ZEE, da Plataforma Continental ou de outros corpos de água que estão à disposição da União (Brasil, 2021).

Os dois Projetos de Lei comentados anteriormente tratam praticamente do mesmo assunto: proporcionar o desenvolvimento da geração de energia elétrica advinda de usinas *offshore*. No dia 10 de abril de 2024, a Câmara dos Deputados enviou ao Senado um substitutivo ao PL nº 11.247/2018, anexando-o ao PL nº 576/2021. O substitutivo disciplina o aproveitamento de bens da União para a geração de energia elétrica por meio de empreendimentos *offshore* e realiza alterações em algumas leis já existentes. O ambiente

offshore tratado pelo PL abrange as águas interiores sob o domínio da União, o mar territorial, a ZEE e a plataforma continental. Assim como o Decreto nº 10.946 comentado anteriormente, o substitutivo define que a cessão de uso de áreas para a geração de energia elétrica poderá ser de maneira planejada ou independente (Brasil, 2024).

Em de proteção ambiental, rotas de navegação, sejam elas fluviais, lacustre ou aéreas e com bloco já licitados para empreendimentos de produção de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos, sob administração de cessão onerosa que estão com contratos válidos, áreas que são protegidas por leis ambientais, áreas tombadas como patrimônio cultural e natural em pontos turísticos no país, áreas reservadas para exercícios das Forças Armadas e áreas designadas como Termo de Autorização de Uso Sustentável (TAUS) no mar territorial, o PL nº 576/2021 (substitutivo apresentado pela Câmara dos Deputados) estabelece que os prismas energéticos que coincidirem com áreas mencionadas serão vetados (Brasil, 2024).

O contrato para a concessão das áreas, estabelecido pelo Projeto de Lei nº 576/2021 (substitutivo), contém cláusulas praticamente iguais às do Decreto nº 10.946/2022, apresentando mudança nas obrigações financeiras da empresa que receberá a área em relação às participações governamentais. O PL nº 576/2021 (substitutivo), comentado nesta seção, estabelece que devem ser previstas no contrato de cessão as participações governamentais elencadas a seguir (Brasil, 2024).

- Bônus de assinatura: terá um valor mínimo estabelecido no contrato de cessão e será pago no momento da assinatura do termo de outorga, correspondendo ao valor oferecido na proposta para a obtenção da assinatura. Este valor será destinado à União.
- Pagamento pela ocupação ou retenção de área: o pagamento será realizado anualmente e calculado em real por quilômetro quadrado.
- Participação proporcional: pagamento realizado mensalmente a partir do momento em que o empreendimento entrar em operação comercial, correspondendo a um percentual do valor da energia gerado, definido no edital e calculado de acordo com o regulamento. A participação proporcional será distribuída da seguinte maneira (Brasil, 2024):
 - A União ficará com 50%;
 - Os Estados confrontantes onde estão situadas as retroáreas de conexões ao SIN e possíveis reforços para o fluxo da energia, ficaram com 12,5%;
 - Os municípios confrontantes onde estão situadas as retroáreas de conexões ao SIN e possíveis reforços para o fluxo da energia, ficaram com 12,5%;

- Os Estados e o Distrito Federal, rateados de acordo com o Fundo de Participação dos Estados e do Distrito Federal (FPF), ficaram com 10%;
- Os municípios, rateados seguindo o Fundo de Participação dos Municípios (FPM), ficaram com 10%;
- E 5% para projetos de desenvolvimento sustentável e econômico habilitados pelo Poder Executivo da União, destinados e distribuídos de forma justa e equitativa às comunidades impactadas nos Municípios confrontantes, conforme regulamentação.

Outros pontos que não estão no contrato de cessão estabelecidos pelo Decreto nº 10.946 estão dispostos no contrato estabelecido pelo PL nº 576/2021 (substitutivo apresentado pela Câmara dos Deputados). Foi adicionado ao contrato que o concessionário deverá assumir as melhores práticas internacionais do setor elétrico e cumprir todas as regras e procedimentos técnicos, ambientais e científicos (Brasil, 2024).

O PL nº 576/2021 (substitutivo apresentado pela Câmara dos Deputados) estabelece que o contrato de cessão para o uso da área deve conter duas fases, a fase de avaliação e a de execução. A fase de avaliação do contrato de cessão estabelecido pelo PL exige que seja realizada uma avaliação técnica e econômica para analisar se o projeto é viável, a sua rentabilidade e sua integração com as atividades presentes na região. É exigido também um estudo sobre os efeitos que o projeto trará para o meio ambiente, um estudo prévio do impacto ambiental e uma avaliação sobre os impactos que o empreendimento pode trazer para as navegações e o tráfego aéreo, de modo a garantir que não ocorra interferência nas áreas (Brasil, 2024).

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) ficará responsável por estabelecer os procedimentos necessários para implementar as disposições do PL referentes à energia *offshore*, apresentar os prazos para a execução dessas diretrizes, indicar as quais agências reguladoras e entidades do Poder Executivo e tomar as medidas necessárias para a regulamentação da geração de energia elétrica *offshore* (Brasil, 2024).

O IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás) destaca a importância de existir uma estrutura regulatória visando o setor da geração eólica *offshore* para que o país seja ainda mais forte na geração de energia elétrica utilizando fontes renováveis. Estão em andamento discussões sobre a regulamentação da geração eólica *offshore*, como o PL 576/2021 (IBP, 2023).

O PL nº 576/2021 (substitutivo apresentado pela Câmara dos Deputados) aborda as autorizações e concessões, mas não oferece flexibilidade nos modos de contratação. O projeto poderia ter abordado a possibilidade de um leilão específico, como apontado pelo Decreto nº

10.946/2022, voltado para a geração de energia elétrica em empreendimentos *offshore*. Além disso, o PL nº 576/2021 (substitutivo apresentado pela Câmara dos Deputados) poderia ter indicado, como apresentado pelo Decreto nº 10.946/2022, quais os órgãos e entidades irão emitir as DIP's necessárias para obter a cessão da área.

Incentivos financeiros poderiam ser abordados pelo PL nº 576/2021 (substitutivo apresentado pela Câmara dos Deputados), a inclusão desses incentivos pode ajudar no processo de desenvolvimento atraindo investidores para a geração de energia elétrica em empreendimentos *offshore*.

O PL nº 576/2021 (substitutivo apresentado pela Câmara dos Deputados) poderia apontar com mais clareza as competências que cada entidade reguladora exercerá. Isso poderia acelerar o processo de licenciamento e evitaria a sobreposição de funções. Também poderia ser apresentado com mais clareza os prazos para cada etapa, desde a cessão de uso até o início de operação do empreendimento.

4.3. Licenciamento Ambiental

O Decreto nº 8.437, do dia 22 de abril de 2015, estabelece as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União. O art. 3º do Decreto determina que o órgão ambiental Federal, IBAMA, ficará responsável pelo licenciamento ambiental de alguns empreendimentos ou atividades. Dentre as atividades presentes, tem-se os sistemas de geração e transmissão de energia elétrica, como as usinas eólicas *offshore* (Brasil, 2015).

A portaria Interministerial nº 60, do dia 24 de março de 2015, estabelece que a Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI), a Fundação Cultural Palmares (FCP), Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e o Ministério de Saúde devem estar envolvidas no processo de licenciamento ambiental coordenado pelo IBAMA (Brasil, 2015).

O Decreto nº 99.274, 6 de junho de 1990, estabelece as diretrizes para o processo de licenciamento ambiental. O processo de licenciamento, apresentado no artigo 19 do Decreto supramencionado, possui três etapas (Brasil, 1990):

- Licença Prévia (LP);
- Licença de Instalação (LI);
- Licença de Operação (LO).

De acordo com Lima (2023), o licenciamento ambiental também deve tratar das questões voltadas para a conexão dos parques eólicos *offshore* com a subestação *onshore*. Para

isso será necessária uma certidão de permissão para o uso do solo, em conjunto com os municípios, quando as linhas de transmissão estão no continente.

4.4. Meios para promover a utilização da geração eólica *offshore* no Brasil

Para a disseminação da geração eólica *offshore* no Brasil é de suma importância estabelecer normas claras que definam todo o processo de concessão das áreas voltadas para a instalação dos parques, incluindo todas as obrigações financeiras que as empresas terão, incentivos fiscais e os procedimentos para a obtenção das licenças necessárias.

O processo para a obtenção das licenças deve ser o mais rápido possível, para isso a interação entre os órgãos reguladores como IBAMA, ANEEL e MME, deve ser melhorada. A interação entre os órgãos minimiza a sobreposição de funções, ajudando no processo de licenciamento. A legislação ambiental deve ser melhorada para que sejam incluídos os procedimentos específicos da geração eólica *offshore*, a fim de garantir que as empresas sigam as normas de conservação do meio ambiente.

Além disso, a criação de programas de incentivos, como isenções fiscais e financiamentos facilitados, ajudaria a estimular a vinda de investimentos, tanto de empresas locais como das empresas estrangeiras, voltados para a geração eólica *offshore*. O Governo brasileiro pode observar os incentivos realizados em países que já têm a geração eólica *offshore* como fonte energética, como a Dinamarca, Alemanha, Inglaterra e China, por exemplo.

Assim como os programas de incentivos, programas voltados para a capacitação da mão de obra local ajudaria na qualificação dos profissionais garantindo que as demandas da indústria da geração eólica *offshore* sejam atendidas. Ações como essas podem contribuir para que exista um ambiente mais favorável voltado para a geração eólica *offshore* no Brasil.

5. AMBIENTE REGULATÓRIO DA GERAÇÃO EÓLICA *OFFSHORE* EM OUTROS PAÍSES

Neste capítulo, será apresentado um pouco sobre a geração eólica *offshore* em alguns países em que esse tipo de geração já é consolidado, destacando as legislações vigentes.

5.1. Dinamarca

A trajetória da Dinamarca foi iniciada no ano de 1990 com a instalação do seu primeiro parque eólico *offshore*, contendo 11 turbinas instaladas e uma capacidade instalada de 4,95 MW (Ferreira, 2019). O governo dinamarquês criou um comitê com a intenção de planejar o desenvolvimento da geração eólica *offshore*. Esse comitê foi liderado pela Agência Dinamarquesa de Energia (DEA) e foi criado no ano de 1995 (Lima, 2023).

No início dos anos 1990, quando a geração eólica *offshore* não conseguia competir financeiramente com a produção de energia elétrica advinda de usinas que utilizavam carvão, gás natural ou petróleo, a Dinamarca utilizou uma tarifa de alimentação (FiT). Essa tarifa garantiu um preço fixo ou um suplemento ao preço de mercado por um período estabelecido (González *et al.*, 2020).

Com a intenção de sugerir áreas voltadas para o desenvolvimento da geração eólica *offshore*, no ano de 1997, a Dinamarca criou Plano de Ação para Parques Eólicos *Offshore*. O plano também propôs a implementação de um programa voltado para analisar os impactos ambientais causados pelas usinas eólicas *offshore* (Lima, 2023).

O país teve a geração eólica *offshore* impulsionada devido ao pouco espaço territorial para realizar instalações *onshore* e por ter uma grande disponibilidade de águas rasas no mar (Correia, 2021). A partir de 2001, a Dinamarca se tornou o primeiro país no mundo a apresentar projetos voltados para a geração eólica *offshore* em escala comercial. As empresas da Dinamarca se tornaram peça-chave para a evolução da geração eólica *offshore* em outros países (Viterbo, 2008).

A Dinamarca utiliza o banco *Eksport Kredit Fonden* (EKF) para facilitar os investimentos de menor riscos em projetos voltados para a geração eólica *offshore*. O banco tem contribuído financeiramente tanto nas etapas de construção como na de operação (Gonzalez *et al.*, 2020).

A DEA é responsável pelos processos de consentimento, licenciamento e permissão e é responsável por consultar as partes interessadas e governamentais. No processo de

licenciamento, outras três instituições desempenham papéis importantes (Gonzalez *et al.*, 2020):

- A empresa estatal *Energinet.dk*, que atua como Operador de Sistema de Transmissão (TSO);
- A Autoridade Marítima Dinamarquesa (DMA), responsável pela coordenação do transporte e das embarcações dos portos até os parques eólicos *offshore*;
- A Agência Dinamarquesa de Natureza (DNA), encarregada de preservar a natureza e analisar os impactos ambientais dos parques.

A concessão das áreas voltadas para a geração eólica *offshore* pode ser realizada por meio de licitações, modelo mais utilizado, ou por procedimento de porta aberta (*open door*). No processo de licitação as empresas devem apresentar uma oferta de um valor fixo que estão dispostos a receber pela energia gerada. A DEA é responsável por disponibilizar a área que estará disponível (Gonzalez *et al.*, 2020). De acordo com Lima (2023), no procedimento *open door* o governo dinamarquês realiza um concurso que emite um edital com a área e a capacidade que o parque eólico *offshore* deve ter. Nesse caso não há uma área específica, a DEA recebe um pedido para a realização de um estudo prévio, ela analisa a área para verificar se ela é adequada para a geração de energia.

5.2. Reino Unido

O Reino Unido iniciou sua trajetória de apoio à utilização de fontes renováveis a partir dos anos 1990, com introdução da Obrigação de Combustível Não Fóssil (NFFO). Essa iniciativa ofertou contratos de venda de energia elétrica a preços fixos por um tempo determinado (Mello, 2023).

No ano de 2002, o Reino Unido implementou uma política de obrigação da utilização de fontes renováveis para a obtenção de energia elétrica. Teve como primeira meta ter 10% da geração de energia elétrica advinda de fontes de energia limpa até o ano de 2010 (Almeida, 2016). A obrigação de utilização de fontes renováveis (RO), determinou um comprometimento no aumento anual da utilização de fontes renováveis na produção de energia elétrica. Essa medida esteve vinculada com os Certificados de Obrigação de Energia Renovável (ROCS), os quais estão associados ao mercado da geração de energia elétrica credenciado, permitindo que os fornecedores executassem suas obrigações por meio de um fornecimento direto ou pagando um preço de compra (Mello, 2023).

Com o status de segundo maior produtor de energia eólica *offshore* no mundo, o Reino Unido possui 13,9 GW de capacidade instalada. Teve seu primeiro parque eólico *offshore* comercial instalado no ano de 2003, com uma capacidade instalada de 60 MW (Dias, 2023).

Para realizar a instalação de um parque eólico *offshore* no Reino Unido, é necessário passar por rodadas de licitação e a partir delas são disponibilizadas as licenças e a autorização para a construção do parque. O gerenciamento desse processo muda de acordo com o país (Dias, 2023):

- Na Inglaterra, País de Gales e na Irlanda do Norte é a Coroa Britânica (TCE);
- Na Escócia, quem conduz o procedimento é a *The Crown Estate Scotland*.

O governo do Reino Unido estabeleceu um acordo envolvendo várias áreas, para impulsionar o crescimento da cadeia de suprimentos, a integração de sistemas e a qualificação da mão de obra. Esse acordo foi lançado no ano de 2019 e é conhecido como O Acordo do Setor Eólico *Offshore* do Reino Unido (Mello, 2023). Isto é, o Reino Unido dispõe de um ambiente regulatório sólido. O processo de liberação da licença para a construção do parque eólico *offshore* geralmente leva menos de 2 anos (Gonzalez *et al.*, 2020).

5.3. Alemanha

A Agência Federal Marítima e Hidrográfica da Alemanha realizou no ano 2005 um planejamento de todo o espaço marinho que pertencia a ZEE alemã. No ano de 2009, com a intenção de impulsionar o crescimento da geração eólica *offshore*, foi divulgado o planejamento da ZEE do Mar Norte e do mar Báltico contendo as áreas que poderiam receber investimentos voltados para a geração eólica *offshore* (Lima, 2023).

A Alemanha teve seu primeiro parque eólico *offshore* instalado no ano de 2010. Com uma potência instalada de 60 MW, o parque possui 12 turbinas e foi instalado a 60 km da costa (Correia, 2021).

O primeiro modelo utilizado pela Alemanha para conceder a construção de parques eólicos *offshore* aos interessados foi o modelo *First Come, First served* (FCFS), no qual os investidores escolhiam a área para realizar a instalação das turbinas (Lima, 2023).

Para parques situados até 12 milhas (19,3 km) da costa, o responsável pela autorização é o governo estadual. Já para parques com distância superiores a 12 milhas, a responsabilidade fica com o Governo Federal, contando com a participação da Agência Federal Marítima e Hidrográfica (BSH) (Gonzalez *et al.*, 2020).

Para realizar a instalação das turbinas, tanto para parques situados a 12 milhas da costa como para os parques situados a distâncias superiores, são necessárias três permissões. Para os projetos gerenciados pelo Governo Estadual, as permissões necessárias são (Gonzalez *et al.*, 2020):

- Permissão para o planejamento do parque eólico *offshore* e dos cabos submarinos de transmissão;
- A segunda permissão, baseada na Lei Federal de Controle de Emissões (BImSchG), é voltada para proteger o meio ambiente contra impactos ambientais como ruídos;
- A última permissão é voltada para a construção dos cabos que serão conectados com a rede elétrica.

Para os parques com distância superior a 12 milhas da costa, são necessárias licenças para instalação e operação das turbinas eólicas, bem como para instalações de cabos aéreos e submarinos (Gonzalez *et al.*, 2020).

No ano de 2016, a Alemanha aprovou diversas mudanças em algumas leis, dentre as quais está o Programa de Geração de Energia Renováveis, que determinou que projetos com a utilização de energias renováveis não seriam mais remunerados por meio de preços administrativos, mas sim por meio de leilões. Nesse mesmo ano, também foi aprovada a Lei da Eólica *Offshore*, determinando o método de leilões para a geração eólica *offshore* (Paiva, 2021).

As primeiras usinas eólicas *offshore* instaladas na Alemanha tiveram o apoio financeiro de um banco de desenvolvimento com um fundo de 5 bilhões de euros, com o objetivo de permitir que as empresas cobrissem os déficits de financiamento com empréstimos a taxas de mercado (González *et al.*, 2020).

5.4. China

A China, no ano de 2004, aprovou a Lei de Energias Renováveis, a qual introduziu um sistema de compra de energia a preços pré-definidos, permitindo a celebração de contratos de compras de energia (PPA) de longo prazo (Almeida, 2016). Segundo Viterbo (2008), a China estabeleceu uma meta para que até o ano de 2020, 15% da sua matriz energética seja de fontes renováveis. A China implementou seu primeiro parque eólico *offshore* no ano de 2010, contendo 34 turbinas e uma capacidade instalada de 102 MW (Barbosa, 2018).

O processo de gerenciamento para a autorização para a construção de parques eólicos *offshore* na China é caracterizado por ter vários ministérios e agências envolvidos. Na parte administrativa, existe uma falta de interação entre a Administração Nacional de Energia (NEA)

e a Administração Oceânica do Estado (SOA). A NEA deseja que os parques eólicos *offshore* estejam mais próximos à costa para que haja uma redução nos desafios técnicos e nos custos. Já a SOA, almeja instalações mais longes da costa para economizar o espaço marítimo destinado à pesca, transporte e outros usuários (Paiva, 2021).

A regulamentação da gestão da geração eólica *offshore* na China tem duas leis principais: a Lei da Administração do Uso de Áreas marítima, aprovada no ano de 2002, estabelece o zoneamento do espaço marinho e a gestão da propriedade do mar; a Lei de Proteção do Meio Ambiente Marinho, que foi aprovada em 2000, foca na proteção e na melhoria do ambiente marinho (Meng; Xu, 2016).

Em 2010 foram realizadas medidas provisórias para o desenvolvimento da geração eólica *offshore* na China. Essas medidas regulamentam todos os processos e responsabilidades que os departamentos envolvidos na construção dos parques. (Meng; Xu, 2016).

Na China, o processo de concessão das áreas é feito a partir de licitações e o Governo Central é responsável por delimitar as áreas adequadas para a instalação dos parques eólicos *offshore* (Barbosa, 2018).

O governo chinês teve um papel fundamental para o desenvolvimento do mercado eólico no país, fazendo com que fabricantes de turbinas eólicas entrassem no país por meio de condições favoráveis e impôs obrigatoriedade de que as distribuidoras do país adquirissem uma quantidade mínima de energia eólica através de contratos de longo prazo com os produtores (Almeida, 2016).

5.5. O que pode ser aplicado no Brasil

Para facilitar o início de investimentos voltados para a construção de parques eólicos *offshore* no país, o Brasil poderia utilizar o primeiro modelo que foi utilizado na Alemanha onde investidores escolhiam a área para realizar a instalação dos aerogeradores, o FCFS.

Assim como na Dinamarca, o Brasil poderia adotar tarifas que garantam um preço fixo ou suplemento ao preço de mercado, até que a geração eólica *offshore* se torne competitiva em relação às outras fontes de energia. Para identificar áreas com grande potencial para a geração eólica *offshore* o Brasil pode realizar um Plano de Ação, como feito na Dinamarca, incluindo também um estudo voltado para os impactos que podem ser causados por essa fonte.

Além do mais, pode ser constituída uma lei para que o zoneamento das áreas que serão utilizadas para a geração eólica *offshore* não entrem em conflito com outras atividades, similar

à Lei de Administração do Uso de Áreas Marítimas que foi estabelecida na China, pois no Brasil já existem atividades *offshore* como a exploração de petróleo.

Ainda tomando a Dinamarca como exemplo, o Brasil pode determinar um banco que possa ajudar financeiramente nas etapas de construção e operação dos parques ou utilizar um fundo de desenvolvimento específico, como foi feito na Alemanha.

Do mesmo modo que o Reino Unido, que utilizou medidas para a utilização de fontes renováveis no país, como a RO e os ROCS, o Brasil pode dispor de caminhos semelhantes para impulsionar a utilização da geração eólica *offshore*. Além disso, um modelo de metas também poderia ser estabelecido.

No Brasil, existem programas de incentivo voltados para a utilização de fontes renováveis para a geração de energia elétrica, como, por exemplo o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE). A utilização desses incentivos pode ser um caminho para a implantação da geração eólica *offshore* no país. Medidas como essas podem impulsionar o início desse tipo de geração no Brasil.

6. CONCLUSÕES

Conforme apresentado neste trabalho, apesar do enorme potencial para a geração eólica *offshore* no Brasil, a concretização desse potencial enfrenta uma série de desafios substanciais, tanto no campo técnico quanto no regulatório e econômico. Um dos maiores obstáculos é a ausência de uma regulamentação específica que ofereça segurança jurídica a investidores e defina claramente os procedimentos para a cessão de áreas marítimas para a instalação de parques eólicos *offshore*.

Além disso, o custo elevado com relação à instalação, manutenção e conexão à rede elétrica são fatores limitantes, intensificado pela falta de uma cadeia de suprimentos bem estabelecida e embarcações especializadas para esse tipo de operação. Todavia, é importante ressaltar que essas limitações certamente seriam atenuadas a partir do início da implantação da geração *offshore* no país.

Do ponto de vista técnico, as condições adversas que existem no ambiente marinho, como a corrosão causada pela água salgada e a dificuldade de acesso para manutenção e instalação, representam grandes desafios. Mas, as vantagens da geração eólica *offshore*, como a maior constância dos ventos em comparação com a geração *onshore*, indicam que os benefícios a longo prazo podem superar os custos iniciais elevados.

Comparando com experiências internacionais, o trabalho destaca que a criação de um marco regulatório eficiente e a implementação de políticas de incentivo, como tarifas de alimentação e leilões exclusivos para energias renováveis *offshore*, foram fundamentais para o sucesso de países como Dinamarca, Inglaterra e China. Essas experiências podem servir de exemplo para o Brasil, que tem o potencial de se tornar uma potência global no setor, caso invista na criação de um ambiente regulatório estável e em incentivos financeiros para atrair investimentos.

Por fim, pode-se concluir que, para que o Brasil consiga explorar todo o seu potencial na geração de energia eólica *offshore*, é necessário um esforço conjunto do governo, órgãos reguladores e setor privado. A adoção de medidas que promovam a desburocratização, a estabilidade jurídica e o incentivo ao desenvolvimento tecnológico será crucial para superar os desafios identificados e garantir a sustentabilidade do setor energético nacional.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Breno Borborema Alves de. **Energia Eólica: estudo de caso de um parque eólico offshore**. 2016. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

AMARANTE, Odilon A. Camargo do *et al.* **Atlas do potencial Eólico brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001.

ARAUJO, Victor Brandão de. **Offshore Wind: uma análise do porquê o brasil ainda não ingressou no mercado de geração de energia eólica offshore**. 2021. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

BARBOSA, Robson. **Inserção da Energia Eólica Offshore no Brasil: análise de princípios e experiências regulatórias**. 2018. 281 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

BARRETO, Fernanda de Melo. **Mapeamento tecnológico da geração de energia eólica offshore**. 2019. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

BRASIL. **Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990**. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [1990]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm. Acesso em: 17 set. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 8437, de 22 de abril de 2015**. Regulamenta o disposto no art. 7º, caput, inciso XIV, alínea “h”, e parágrafo único, da Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União. Brasília: Presidência da República, [2015]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/d8437.htm. Acesso em: 17 set. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 10946, de 25 de janeiro de 2022**. Dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e na plataforma continental para a geração de energia elétrica a partir de empreendimento *offshore*. Brasília: Presidência da República, [2022]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2022/decreto-10946-25-janeiro-2022-792255-norma-pe.html>. Acesso em: 9 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9636, de 15 de maio de 1998**. Dispõe sobre a regularização, administração, aforamento e alienação de bens imóveis de domínio da União, altera dispositivos dos Decretos-Leis nos 9.760, de 5 de setembro de 1946, e 2.398, de 21 de dezembro de 1987, regulamenta o § 2º do art. 49 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [1998]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9636.htm. Acesso em: 16 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11247, de 19 de dezembro de 2018.** Dispõe sobre a ampliação das atribuições institucionais relacionadas à Política Energética Nacional com o objetivo de promover o desenvolvimento da geração de energia elétrica a partir de fonte eólica localizada nas águas interiores, no mar territorial e na zona econômica exclusiva e da geração de energia elétrica a partir de fonte solar fotovoltaica. Brasília: Câmara dos Deputados, [2018]. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2190084>. Acesso em: 16 jul. 2024.

BRASIL. **Lei nº 576, de 24 de fevereiro de 2021.** Disciplina a outorga de autorizações para aproveitamento de potencial energético offshore. Brasília: Senado Federal, [2021]. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2190084>. Acesso em: 16 jul. 2024.

BRASIL. **Lei nº 576, de 24 de fevereiro de 2021 (Substitutivo da Câmara dos Deputados).** Disciplina o aproveitamento de potencial energético offshore; e altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 10.438, de 26 de abril de 2002, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 14.182, de 12 de julho de 2021, 10.848, de 15 de março de 2004, e 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Brasília: Senado Federal, [2021]. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/163024#:~:text=%2D%20Projeto%20de%20Lei%20n%C2%BA%20576,aproveitamento%20de%20potencial%20energ%C3%A9tico%20offshore%E2%80%9D>. Acesso em: 18 set. 2024.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 60, 24 de março de 2015.** 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/m/malaria/legislacao/portaria-interministerial-no-60-2015/view>. Acesso em: 17 set. 2024.

CARVALHO, Itaiara Felix. **Energia Eólica Offshore: potencial e desafios de implantação.** 2017. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

CASAGRANDE, Marcelo Ferreira. **Eólica offshore no Brasil: Viabilidade econômico-regulatória e estudo de políticas.** 2021. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

CORREIA, Bruno César da Silva. **Geração eólica offshore no Brasil: um panorama das principais experiências regulatórias nacionais e internacionais aplicáveis.** 2021. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

COSTA, Dinis dos Santos. **Estudo dos Componentes, Mecanismos de Controle e Modelos Probabilísticos de Fiabilidade de Sistemas de Energia Eólica.** 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletromecânica, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010.

COTESA. **As funções dos componentes dos aerogeradores.** 2023. Disponível em: <https://cotesa.com.br/en/2023/04/03/as-funcoes-dos-componentes-dos-aerogeradores/>. Acesso em: 20 out. 2024.

DIAS, Victor Lucas Souza. **Oportunidades e desafios da cadeia de suprimentos da eólica offshore no Brasil**. 2023. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

ESTEBAN, M. Dolores *et al.* Why offshore wind energy? **Renewable Energy**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 444-450, fev. 2011.

FARIAS, Claudia Gomes de; FONTGALLAND, Isabel Lausanne. COMPLEXO EÓLICO *OFFSHORE*: características e desafios de uma energia limpa. **Cidades Inteligentes e Novos Modelos Industriais Sustentáveis**, [S.L.], p. 144-162, 30 jul. 2022.

FERNANDES, Italo Gusmão. **Exploração da Complementaridade Eólica Offshore para Redução da Variabilidade de Geração**. 2023. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023.

FERREIRA, Bruno Felipe Paiva. **Estudo da previsão de produção de energia eólica offshore**. 2017. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétronica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2017.

FERREIRA, Lorena Martins. **Perspectiva da geração de energia eólica offshore no Brasil**. 2019. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

GALDINO, Yago de Lima. **Estudo do dimensionamento de aerogeradores aplicados a métodos de elevação artificial**. 2018. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

GONZÁLEZ, Mario Orestes Aguirre *et al.* Regulation for offshore wind power development in Brazil. **Energy Policy**, [S.L.], v. 145, p. 111756, out. 2020.

GUIMARÃES, Lucas Noura de Moraes Rêgo. **USINAS EÓLICAS OFFSHORE NO DIREITO AMBIENTAL MARINHO. Veredas do Direito**, v. 16, n. 34, p. 153-176, 2019.

HUO, Huanjie; ZHANG, Shi; REN, Shaoyi. Study on Design and Constructure of Offshore Substation. **Journal Of Physics: Conference Series**, [S.L.], v. 1732, n. 1, p. 012173, 1 jan. 2021.

IBP. **Posicionamento IBP – Arcabouço regulatório para energia eólica offshore**. 2023. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/noticias/posicionamento-arcabouco-regulatorio-eolicas-offshore/>. Acesso em: 24 jun. 2024.

ISLAM, Md. Rabiul; GUO, Youguang; ZHU, Jianguo. A review of offshore wind turbine nacelle: technical challenges, and research and developmental trends. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 33, p. 161-176, maio 2014.

KALDELLIS, J.K.; KAPSALI, M. Shifting towards offshore wind energy—Recent activity and future development. **Energy Policy**, [S.L.], v. 53, p. 136-148, fev. 2013.

LIMA, Polliany Alves de. **Desafios e Impasses para Consolidação da Geração Eólica Offshore na Matriz Energética Brasileira**. 2023. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de

Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, 2023.

LUZ, Clayton Diego da *et al.* Avaliação dos impactos ambientais em parques eólicos offshore e onshore utilizando a matriz de Leopold. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, [S.L.], v. 55, n. 2, p. 206-225, 30 maio 2020.

MARKARD, Jochen; PETERSEN, Regula. The offshore trend: Structural changes in the wind power sector. **Energy Policy**, v. 37, n. 9, p. 3545-3556, 2009.

MELLO, Ana Carolina Alves de. **Desafios e competências para o desenvolvimento da eólica offshore no Brasil**. 2023. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Políticas Públicas. Estratégias e Desenvolvimento, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

MENG, Xue; XU, Wei. Research on the Comparison of Offshore Wind Power Management between China and UK. **Proceedings Of The 2016 International Conference On Civil, Transportation And Environment**, [S.L.], p. 1380-1389, jan. 2016.

MUSIAL, Walter et al. **Offshore Wind Market Report: 2023 Edition**. 2023.

NORONHA, Matheus *et al.* O papel do ecossistema de inovação e a estruturação de um arcabouço regulatório para o mercado de energia eólica offshore no Brasil. **International Journal Of Business And Marketing**. S.L., p. 32-51. dez. 2021.

PAIVA, Jorge Guilherme de Jesus de. **Panorama da Energia Eólica Offshore no mundo e perspectivas para o Brasil**. 2021. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estudos Marítimos, Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

PINTO, Milton de Oliveira. **Estudo estimativo básico para implementação de turbinas eólicas offshore no litoral do estado do Rio Grande do Norte**. 2017. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

RIBEIRO, Luíza Bastos. **Um estudo sobre a Energia Eólica no Brasil**. 2017. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2017.

SANTOS, Priscila Emanuele de Lucena; ARAÚJO, Francisco José Costa. O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 2978-2989, 24 jul. 2023.

SILVA, Jordan Falcão de Carvalho. **Geração de energia elétrica a partir de parques eólicos offshore**. 2015. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SILVA, Amanda Jorge Vinhoza de Carvalho. **Potencial eólico offshore no Brasil**: localização de áreas nobres através de análise multicritério. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SILVESTRE, Pablo Ribeiro. **Estudo comparativo entre parques eólicos semelhantes considerando a evolução tecnológica de uma década**. 2017. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

STROSKI, Pedro Ney. **Turbinas Darrieus**. 2019. Disponível em: <https://www.electricalibrary.com/2019/03/12/turbinas-darrieus/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SNYDER, Brian; KAISER, Mark J. Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. **Renewable Energy**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 1567-1578, jun. 2009.

SU, Xing *et al.* Offshore Wind Power: progress of the edge tool, which can promote sustainable energy development. **Sustainability**, [S.L.], v. 16, n. 17, p. 7810, 7 set. 2024.

TIAN, Yu-Chi *et al.* Evaluation of offshore wind power in the China sea. **Energy Exploration & Exploitation**, [S.L.], v. 39, n. 5, p. 1803-1816, 27 fev. 2021.

VAICIBERG, Henrique; VALIATT, Gian Lucas de Carvalho; QUEIROZ, Matheus Ferreira de. Energia eólica offshore: um overview do cenário global e o contexto brasileiro. **Revista de Direito e Negócios Internacionais da Maritime Law Academy - Mlaw International Law And Business Review**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 114-143, jun. 2021.

VAISSIÈRE, Anne-Charlotte *et al.* Biodiversity offsets for offshore wind farm projects: the current situation in europe. **Marine Policy**, [S.L.], v. 48, p. 172-183, set. 2014.

VITERBO, Jean Carlo. **Geração de energia elétrica a partir da fonte eólica offshore**. 2008. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

WISER, Ryan *et al.* Expert elicitation survey predicts 37% to 49% declines in wind energy costs by 2050. **Nature Energy**, v. 6, n. 5, p. 555-565, 2021.

XUE, Yijing; AKHMATOV, Vladislav. Grid-Connection of Large Offshore Windfarms Utilizing VSC-HVDC: modeling and grid impact. **Wind Engineering**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 417-432, out. 2009.

ZHANG, Jianzhong *et al.* Pitch angle control for variable speed wind turbines. **2008 Third International Conference On Electric Utility Deregulation And Restructuring And Power Technologies**, [S.L.], p. 2691-2696, abr. 2008.