

POSSIBILIDADES E DESAFIOS PARA INSERÇÃO DA GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL

William Hornburg Santestevan¹

Drielli Peyerl²

Carla de Abreu D'Aquino¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina

²Universidade de São Paulo

DOI: 10.47168/rbe.v27i4.613

RESUMO

A Zona Econômica Exclusiva Brasileira é um ambiente único e apresenta uma velocidade média de vento maior do que a das áreas continentais brasileiras, tornando-se um local interessante para a geração de eletricidade. No Brasil, a geração eólica já é bem conhecida, sendo uma importante fonte na matriz elétrica, contudo ainda não há nenhum gerador eólico no mar. O potencial de geração eólica na plataforma continental brasileira já foi analisado, mas antes que comece a ser explorado são necessários estudos para regular a atividade, uma vez que a implantação de turbinas eólicas no mar pode gerar conflitos com outros aspectos, como pesca, transporte, defesa, turismo e meio ambiente. Assim, o presente trabalho utilizou a análise bibliométrica e revisão sistemática para compreender a situação atual da energia eólica *offshore* no Brasil e no mundo. Uma análise SWOT foi realizada a fim de determinar os pontos de interesse desta tecnologia. Como resultado, verificou-se que a geração eólica *offshore* no Brasil tem baixa prioridade, principalmente devido ao domínio de outras fontes de energia.

Palavras-chave: Energia eólica; *Offshore*; Zona Econômica Exclusiva; Concessão de áreas; SWOT.

ABSTRACT

The Brazilian Exclusive Economic Zone is a unique environment and presents a higher average wind speed than in the Brazilian continental areas. Wind generation is already well-known in Brazil, being an important source in the electric electricity mix, but no wind generator is installed at sea. The potential for wind generation on the Brazilian continental shelf has already been analyzed. Still, before it starts to be explored, studies are needed to regulate the activity due to the potential conflicts with other sectors, such as fishing, transportation,

defence, tourism, and the environment. This work used bibliometric analysis and a systematic review to understand offshore wind energy in Brazil and the world. SWOT analysis was used to determine the points of interest of this technology to what should be avoided or improved. As a result, it was found that offshore wind generation in Brazil has a low priority, mainly due to the dominance of other energy sources.

Keywords: Wind energy; Offshore; Exclusive Economic Zone; Concession area; SWOT.

1. INTRODUÇÃO

A Zona Econômica Exclusiva (ZEE), estabelecida pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) e assinada pelo Brasil em 1982, é definida como “uma zona situada além do mar territorial e a este adjacente (CNUDM, art.55) (...) e não se estenderá além de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial (CNUDM, art. 57)” (DE SOUZA, 1999). Ao Estado costeiro competem os direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos das águas sobrejacentes ao leito do mar, e seu subsolo (CNUDM, art. 56) (DE SOUZA, 1999). Assim, se inicia a regulação sobre a exploração de atividades econômicas na plataforma continental brasileira.

Segundo dados do Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil (IBGE, 2011), o país possui uma área coberta pelos limites legais da ZEE de 3.539.919 km². Adiciona-se a informação de que, atualmente, a medida de superfície brasileira totaliza 8.515.767 km². Observa-se, assim, uma oportunidade de nova área territorial para promoção de desenvolvimento econômico, científico e social. Além disso, a atual demanda energética nacional e mundial tem apoiado-se numa transição para fontes energéticas menos poluidoras. Sendo que a participação das energias renováveis no consumo total de energia primária do mundo aumentou 14% em 2015, com a estimativa de que represente 63% em 2050 (GIELEN et al., 2019).

No Brasil, desde a contratação dos projetos eólicos no Leilão de Energia de Reserva de 2009, a fonte eólica tornou-se a segunda maior fonte de energia na matriz elétrica brasileira, com capacidade instalada de 19,1 GW, em fevereiro de 2021, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2021). Este grande aumento foi possível devido, principalmente, à ambição do governo brasileiro de incentivar a geração de energia por fontes alternativas renováveis, em detrimento de fontes baseadas em combustíveis fósseis, contribuindo assim, principalmente, para a redução das emissões de dióxido de carbono (ONU, 2015).

No Brasil, atualmente, o aproveitamento de geração de energia eólica concentra-se em um contexto *onshore* (continental). Diferente do que ocorre em outros países, como o Reino Unido, que se destaca pelos vários parques eólicos *offshore* (marítimos), e, por possuir uma política de expansão da geração *offshore* muito bem estabelecida (TOKE, 2011).

Mesmo que o crescimento da geração eólica *onshore* no Brasil não apresente tantos empecilhos por causa da dimensão e ocupação territorial, os melhores ventos estão situados na zona costeira, dentro da ZEE, conforme o *Roadmap* de eólicas *offshore* publicado pela EPE (2020). Considerando esse cenário, uma análise da geração eólica *offshore* no Brasil se torna relevante, pois, além de uma matriz energética diversificada e confiável, há a possibilidade de aproximação da área geradora de energia elétrica da área consumidora. Para que se concretizem projetos de implementação de parques eólicos na ZEE brasileira é necessário que sejam superados empecilhos relevantes, tais como a ausência de arcabouço legal e o custo elevado dos projetos.

O presente artigo apresenta os resultados de uma pesquisa bibliométrica e realizou-se uma análise SWOT (do inglês: *Strengths* - Forças, *Weaknesses* - Fraquezas, *Opportunities* - Oportunidades e *Threats* - Ameaças) a partir do investimento em energia eólica *offshore* no Brasil. Os aspectos relevantes de possíveis conflitos com outros setores são legislação e a preservação dos recursos naturais oceânicos na ZEE brasileira. Parte dos temas destacados no presente artigo foram discutidos inicialmente no trabalho de Santestevan (2019).

2. METODOLOGIA

Os métodos descritivo e qualitativo foram empregados, por meio de uma análise bibliométrica, juntamente com a revisão sistemática dando prioridade a geração eólica *offshore* e a concessão de áreas para geração de energia; o procedimento é descrito detalhadamente em Santestevan & D'Aquino (2019). Tanto para a análise bibliométrica como para a revisão sistemática, as palavras-chave selecionadas em seu sentido mais amplo (em português e inglês) foram energia eólica, *offshore*, concessão de área, *wind energy*, *concession area*, *grant area* e *area*. Quantificou-se o número de artigos em cada base de dados utilizando as diferentes combinações das palavras-chave. Tanto a análise bibliométrica quanto a revisão sistemática utilizaram diferentes bases científicas e acadêmicas, como por exemplo: *Web of Science* e *Capes*, bem como documentos oficiais do governo brasileiro.

Posteriormente, aplicou-se uma análise SWOT, a qual possibilita a percepção de variáveis controláveis e incontroláveis, e auxilia na tomada de decisões para a inserção desta tecnologia. É uma ferramenta utilizada para análise de cenário, sendo usada como base

para gestão e planejamento estratégico de uma corporação ou empresa, mas podendo ser utilizada para qualquer tipo de análise de cenário (COSTA JÚNIOR et al., 2021).

Assim, foram elencados os fatores que mais influenciariam a inserção da geração a partir dos ventos no mar. Em seguida, há a discussão dos motivos de ainda não haver geração eólica *offshore* no Brasil, e quais os passos necessários para que a eólica *offshore* se torne economicamente competitiva no país.

3. RESULTADOS

3.1 Revisão sistemática

Os resultados são expressivos para as palavras-chave, individualmente, quando da consulta às bases de dados do IEEE e *Web of Science*. Assim, determinou-se quatro combinações distintas com as palavras-chave e, posteriormente, foi utilizado o software VOSviewer para visualização dos resultados e das relações entre artigos, citações e autores, o que permite sintetizar os resultados da análise bibliométrica. A Tabela 1 apresenta as combinações de palavras utilizadas na análise bibliométrica; três delas indicam uma quantidade muito pequena de artigos publicados. Todavia, a combinação (*Wind Energy + Offshore + Area*) é expressiva, com 268 artigos identificados na base de dados *Web of Science*.

Tabela 1 - Número de artigos encontrados em cada base de dados considerando as diferentes combinações de palavras-chave

| Palavras - chave | Base de Dados | | | | | |
|-----------------------------------------------|---------------|------|-------|----------|--------|----------------|
| | CAPES | BDTD | IEEE | OASIS BR | SCIELO | Web of Science |
| Energia Eólica | 1361 | 1155 | 0 | 2583 | 141 | 4 |
| Wind Energy | 2751 | 1237 | 31172 | 2987 | 415 | 84289 |
| Energia Eólica + Offshore | 80 | 42 | 0 | 105 | 3 | 0 |
| Wind Energy + Offshore | 16 | 42 | 1802 | 172 | 8 | 2074 |
| Energia Eólica + Offshore + Concessão de área | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Wind Energy + Offshore + Concession area | 18 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Tabela 1 - Número de artigos encontrados em cada base de dados considerando as diferentes combinações de palavras-chave (continuação)

| Palavras - chave | Base de Dados | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|------|------|----------|--------|----------------|
| | CAPES | BDTD | IEEE | OASIS BR | SCIELO | Web of Science |
| Wind Energy + Offshore + Grant area | 36 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Wind Energy + Offshore + Area | 48 | 39 | 194 | 1 | 2 | 268 |

Os primeiros artigos relacionados ao tema datam de 1996, de acordo com a combinação de palavras escolhidas. Destaca-se o artigo intitulado de Barthelmie & Palutikof (1996b), o qual descreve modelos para estimar a velocidade do vento na costa. Um dos pontos relevantes desse estudo trata da dificuldade de se medir a velocidade e direção do vento no mar, pelo fato de haver poucas estações fixas e embarcações para tais medições. Enfatiza-se que o problema citado é de menor relevância, atualmente, pelo fato de existirem modelos mais precisos para estimar o vento e a possibilidade de se utilizar boias, radares, lasers e até satélites para a obtenção de dados precisos (TESLIER & GOYA, 2005).

Outro artigo publicado ainda em 1996, por Barthelmie & Palutikof (1996a), descreve projetos em operação e com potencial de implementação da energia eólica *offshore* em diversos países. Os projetos tinham potência instalada de pouco mais de 12 MW e estavam todos no norte europeu. Seguindo a análise dos artigos identificados, observamos que os locais nos quais essa tecnologia prosperou foram principalmente China, norte europeu e Estados Unidos da América (IEA, 2019).

Um artigo recente, publicado por Lin et al. (2021), analisa a utilização do método de TMD (*Tuned Mass Damper*) em estruturas de tipo *Jacket* sobre turbinas eólicas localizadas em águas profundas sujeitas a terremotos. Este estudo concentra-se no estudo de caso de Taiwan, a qual se encontra em uma região que tem grande incidência de terremotos, e vem utilizando ainda mais a geração eólica no mar. Assim, apenas considerando os dois artigos mais antigos e o artigo mais atual analisados, já teríamos uma visão de uma forma de geração elétrica que possui muitos desafios a serem tratados.

A partir da base de dados *Web of Science* foi possível identificar a origem dos artigos publicados, conforme a Figura 1, na qual destaca-se:

- O país que mais publicou no assunto, até a data da realização da coleta de dados, foram os Estados Unidos, num total de 64 publicações. Um dos projetos pioneiros foi o Block Island Wind Farm, no estado de Rhode Island, em 2015 (GILBERT et al., 2019);
- O maior número de unidades de geração eólica offshore concentra-se no norte da Europa. 146 publicações de autores dos seguintes países foram identificados: Inglaterra, Espanha, Alemanha, Dinamarca, Noruega, Escócia, Holanda, França e Bélgica e Irlanda;
- O país que está tendo um crescimento expressivo da geração eólica offshore é a China, que é o quarto lugar em publicação, totalizando 23 publicações;
- Em vigésimo segundo lugar na lista de países que mais publicaram encontra-se o Brasil, com apenas três publicações.

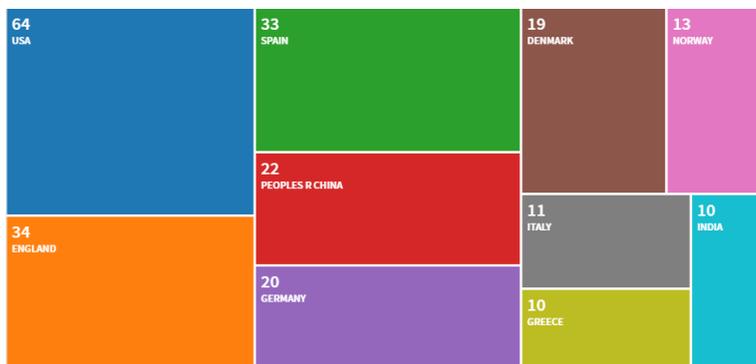


Figura 1 - Número de artigos por país

O *software* VOSviewer permitiu visualizar as citações entre os artigos filtrados pela pesquisa, e a Figura 2 apresenta os casos de destaque. Com isso, dois artigos receberam destaque. O primeiro artigo mais citado entre os próprios artigos selecionados (13 vezes) denomina-se “*California offshore wind energy potencial*” (DVORAK; ARCHER; JACOBSON, 2010). O artigo tem como foco a possibilidade de se utilizar a geração eólica *offshore* no estado da Califórnia – Estados Unidos, e apresenta o potencial dessa forma de geração de energia.

O segundo artigo a ser destacado com mais citações no geral (299 citações) é intitulado “*Assessing the impacts of wind farms on birds*” (DREWITT & LANGSTON, 2006). O artigo trata dos potenciais impactos ambientais causados pela utilização da geração de energia eólica, e tem foco no estudo migratório de aves. A relevância está as-

sociada ao fato de que questões ambientais são fundamentais para a implementação de qualquer forma de geração de energia (SANTESTEVEAN & D'AQUINO, 2019). Na Figura 2, quanto maior o círculo, mais vezes o trabalho foi citado. As linhas conectando os círculos representam a associação das citações, e as cores indicam temas.

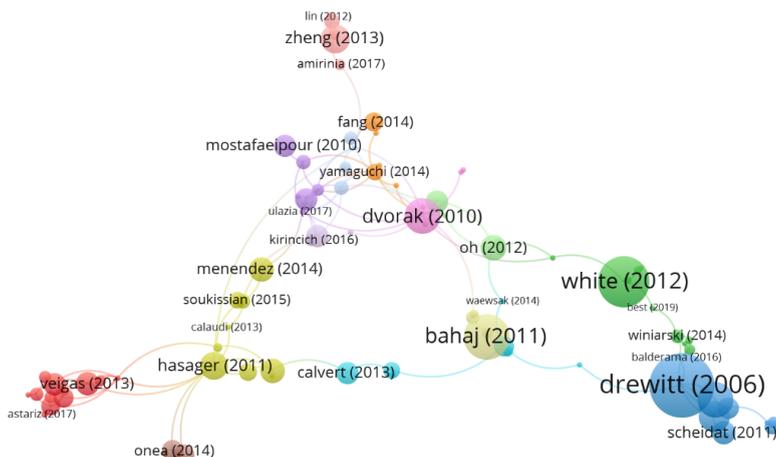


Figura 2 - Representação da interligação dos artigos identificados

3.2 Análise SWOT

A revisão sistemática e a análise bibliométrica possibilitaram conhecer o estado da arte da geração eólica *offshore*, e os desafios sobre a concessão de áreas em outros locais do mundo. A partir deste conhecimento pode-se determinar os 13 principais pontos a serem elencados na análise SWOT, os quais estão sumarizados na Tabela 2. Destaca-se que esses pontos foram determinados e alinhados conforme cruzamento da literatura analisada pelos autores, ou seja, pontos em comum para discussão e análise da SWOT. Além disso, examina-se as informações encontradas, principalmente de outros países, como lições a serem verificadas e adaptadas para o caso brasileiro.

Tabela 2 - Análise SWOT de energia eólica *offshore* no Brasil

| | |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Forças | - Potencial de geração; - Impacto socioambientais. |
| Fraquezas | - Impacto ao meio ambiente; - Inexistência de tecnologia nacional para geração no mar; - Inexistência de legislação própria; - Custo elevado (O&M); - Dependência do vento. |
| Oportunidades | - Perspectiva de crescimento; - Proximidade a grandes centros de consumo; - Tecnologia nacional para offshore; - Aproveitamento de normas para concessão de área no mar |
| Ameaças | - Falta de mão-de-obra; - Possíveis conflitos. |

As forças foram determinadas considerando a características que favorecem tanto o recurso, quanto de minimização de impacto social quando comparada com a eólica continental. As fraquezas apontaram e discutiram aspectos que impedem ou dificultam o desenvolvimento da atividade no Brasil. As oportunidades e ameaças procuraram elencar fatores que podem alavancar o setor e fatores que podem representar problemas, respectivamente.

3.3 Forças

3.3.1 Condição do recurso

Ortiz & Kappel (2011) elaboraram um estudo apresentando o potencial de energia eólica *offshore* no Brasil, e os resultados de velocidade média e densidade média de potência, a uma altura de 50 metros. Os autores destacam três áreas com potencial: a) costa de Sergipe e Alagoas; b) Rio Grande do Norte e Ceará; c) Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e salientam que a costa brasileira, em geral, tem um grande potencial para geração de energia eólica no mar, sendo que a velocidade média do vento *offshore* é 70% maior se comparada velocidade média em terra.

Destaca-se ainda o trabalho de Pimenta, Kempton e Garvine (2008), ao compararem diferentes métodos de medição de ventos sobre os oceanos e estimarem o potencial de geração de energia. Os autores relatam que os ventos *offshore* são mais fortes e menos variáveis do que os terrestres. Evidencia-se que o vento no mar varia menos devido à ausência de barreiras físicas, como montanhas, prédios e vegetação, potencialmente produzindo mais energia elétrica, de forma

mais confiável, diminuindo a necessidade de fontes de *backups* (ESTEBAN et al., 2011).

O custo de fundação das torres para geração eólica *offshore* influencia bastante no custo total do projeto e, portanto, procura-se preferencialmente locais de implementação com baixas profundidades. Destaca-se que um estudo realizado na zona costeira brasileira constatou que a plataforma continental do país é rasa e longa, principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Sul (TESSLER & GOYA, 2005). Estes locais foram apontados como os de maior potencial, ou seja, que favorecem a geração eólica *offshore*.

3.3.2 Impacto social amenizado

O primeiro impacto a ser analisado é o ruído, que pode ser produzido pela rotação das pás, e também pela dissipação de energia pelo atrito entre as peças do gerador (MOURA & PINHEIRO, 2013). Segundo Churro et al. (2004), o ruído depende de uma série de fatores, como: a distribuição espacial das turbinas, o modelo da turbina instalada, relevo do terreno, velocidade e direção do vento. Um estudo feito no Complexo Eólico Canoas e Lagoas registrou ruídos dos aerogeradores entre 67,7 a 75,2 dB (DA SILVA & ABRANTES, 2019), muito acima do limite, por exemplo de 35 dB para o campo e 60 dB para áreas industriais. A energia eólica *offshore* teria vantagem, uma vez que está distante da população, representando assim um ponto forte em comparação com a eólica *onshore*.

O conflito por território na geração *offshore* pode ser menor devido aos usos limitados do área para outras atividades (TODT; GONZÁLEZ; ESTÉVEZ, 2011). Porém, o conflito pode ocorrer devido aos locais de preservação, rotas marítimas, zonas de pesca, aquicultura e exploração de hidrocarbonetos, mas essa disputa é menor quando comparado com a geração *onshore*. Evidencia-se que as comunidades locais tradicionais, principalmente as dependes da pesca e do turismo, são as mais impactadas pela estrutura e funcionamento de um parque eólico *offshore* (XAVIER et al., 2020).

O último impacto analisado é a interferência eletromagnética. Um parque eólico pode causar distúrbio em sistemas de telecomunicações de rádio, micro-ondas, celular e sistemas de controle de tráfego aéreo (KRUG & LEWKE, 2009). A torre e as pás podem obstruir, refletir ou refratar as ondas eletromagnéticas. O grau e a natureza da interferência dependerão da localização da turbina entre o transmissor e o receptor, das características das pás, frequência do sinal, características do receptor e da propagação das ondas de rádio na atmosfera local (KRUG & LEWKE, 2009). Pelo fato da geração eólica *offshore* ser realizada no mar, os impactos mencionados podem ser mais brandos

quando comparados com estruturas de parques eólicos em área *onshore* (ARAÚJO & MOURA, 2017).

3.4 Fraquezas

3.4.1 Impacto ao meio ambiente

Uma das principais preocupações em torno dos parques eólicos é o risco de que eles causem mortalidade aviária por meio de colisões. Drewitt & Langston (2006) consideraram a taxa de mortalidade relativamente baixa, de até 23 mortes por turbina, por ano. Porém, parques instalados em rotas migratórias podem ter impactos ainda mais significativos, como a remoção do habitat natural das aves marinhas (COELHO, 2007).

Outro impacto a ser destacado considera que muitos cetáceos usam a ecolocalização para encontrar comida e se comunicar. Os cetáceos têm uma audição muito sensível, que pode ser prejudicada pelos ruídos altos associados aos parques eólicos (THOMSEN et al., 2006). No parque eólico de Nysted, na Dinamarca, a população de focas cinzentas foi monitorada antes, durante e após a construção de um parque eólico no mar. A operação do parque não pareceu impactar significativamente a abundância de focas, no entanto, diminuíram o número de focas observadas em um local de criação próximo. Assim, presumiu-se que a diminuição estava relacionado ao barulho emitido pelas turbinas (CARSTENSEN; HENRIKSEN; TEILMANN, 2006). Os peixes também podem ser muito sensíveis aos ruídos, ocorrendo, porém, uma grande variabilidade entre os sistemas auditivos de peixes, e espécies de peixes respondem de maneira diferente ao ruído (THOMSEN et al., 2006). Muitas espécies de peixes também são sensíveis aos campos elétricos e magnéticos, que podem ser causados por cabos subaquáticos, incluindo espécies de peixes importantes para pesca no Brasil, como exemplo o atum-amarelo (NEDWELL; LANGWORTHY; HOWELL, 2003).

Além desses efeitos negativos, têm ocorrido discussões sobre o potencial de impactos positivos de parques eólicos *offshore* no meio marítimo. Após a construção de um parque eólico, as fundações de turbinas poderiam servir como substrato para invertebrados bentônicos, atraindo assim peixes. As plataformas de petróleo *offshore* são bem conhecidas por essa propriedade (VATTENFALL & SKOV-OG, 2006).

Apesar de alguns pontos acima mencionados serem interpretados como positivos, a instalação de torres eólicas do mar apresenta impactos relevantes para o meio marinho e deve estar sujeita aos estudos de impacto ambiental. Por isso, este ponto foi determinado como uma fraqueza.

3.4.2 Inexistência de tecnologia nacional de geração

As empresas líderes no desenvolvimento da tecnologia para geração de energia eólica (fundação, turbinas *offshore*, plataformas, embarcações e cabos) são: Siemens, EEW Group, ENERCON, Vestas, Dong Energy e Senvion (GILBERT et al., 2019). No Brasil, algumas empresas trabalham com a fabricação de componentes da geração de energia eólica, sendo as mais importantes a WEG e Nordex, contudo são empresas que estão começando a competir no cenário internacional, nessa área, e não possuem nenhum segmento para geração no mar.

3.4.3 Inexistência de legislação própria

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), responsável pelo licenciamento ambiental de parques eólicos, conta atualmente com oito projetos de produção de energia eólica marinha, porém nenhum deles conseguiu licença ambiental prévia para que ocorra o início da construção. Evidencia-se que o Brasil ainda não possui uma legislação própria para concessão de áreas para a geração eólica *offshore* e, que a adaptação de legislações atuais aplicadas a esse caso pode trazer incerteza jurídica e econômica para o desenvolvimento da atividade.

3.4.4 Custo elevado

Uma instalação de energia eólica *offshore* é mais complexa e dispendiosa, em comparação com a energia eólica *onshore* (BILGILI; YASAR; SIMSEK, 2011) devido principalmente à distância da costa, operação e manutenção em mar e difícil interligação às redes de transmissão elétricas (HENDERSON et al., 2003). Além disso, o custo da energia eólica *offshore* é entre 1,5 e 3 vezes mais elevado que um projeto similar em terra (BRETON & MOE, 2009). Sendo assim, o custo total, juntamente com a falta de normas específicas, se tornam os parâmetros mais relevantes para a inserção desta forma de geração de energia no Brasil. Destaca-se, que o ambiente de implementação desta forma de geração de energia é corrosivo para equipamentos elétricos e estruturais, e assim é exigido que os geradores possuam proteção catódica e de umidade, além do uso de tintas específicas para a estrutura, encarecendo mais o projeto (SNYDER & KAISER, 2009).

Os avanços tecnológicos registrados no segmento eólico *offshore* têm proporcionado redução de custos (BAYER, 2018). A característica mais marcantes dos projetos eólicos *offshore* é o uso de aerogeradores ainda maiores, quando comparado a eólica *onshore*, com

diâmetro do rotor médio de 150 metros e potência nominal superior a 6 MW (EPE, 2018). O custo da geração eólica no Brasil variou. O custo total de um projeto eólico *offshore* depende de questões não controláveis, tais como: variações cambiais, disponibilidade de mão-de-obra especializada e restrição da cadeia de suprimentos (GREENACRE; GROSS; HEPTONSTALL, 2010).

3.4.5 Dependência do vento

A energia eólica depende da força dos ventos, que apresenta natureza estocástica, contendo um grau de imprevisibilidade. Com isso, existirão momentos em que a velocidade do vento é relativamente baixa, não sendo suficiente para a geração de energia (DAMASCENO & ABREU, 2018). Esse fator negativo está atrelado a diversas fontes de energia que são dependentes da natureza, como por exemplo a geração solar. Uma solução adotada para a intermitência da energia eólica a rede elétrica é a complementariedade com a energia das hidrelétricas (HUNT; FREITAS; PEREIRA JÚNIOR, 2016). O Brasil apresenta uma matriz elétrica com grande participação da fonte hídrica, de forma que a dependência do vento pode se tornar mais branda.

Por último, com uma análise histórica da velocidade e direção do vento, e a aplicação de modelos estatísticos, pode-se prever com um bom grau de certeza a geração de energia (WITZLER, 2016), fazendo com que a venda e compra de energia seja facilitada pela previsibilidade de geração, diminuindo a necessidade de fontes de *backup*.

3.5 Oportunidades

3.5.1 Perspectiva de crescimento

A pandemia do COVID-19 trouxe impactos para o setor energético, ainda a serem melhor compreendidos. No caso do desenvolvimento de projetos eólicos *offshore* ocorreu um aumento do tempo de implementação e, conseqüentemente, um aumento do custo (IEA, 2019). No Brasil, a afirmação inicial é que não houve prejuízos nos parques eólicos em construção, contudo ressalta um impacto na cadeia de suprimentos em toda América Latina (SAMPAIO & BATISTA, 2021). O fator de capacidade da geração eólica no Brasil é bem elevado comparado com a média mundial. Em 2019, o fator de capacidade da geração eólica no Brasil era de cerca de 32%, bem maior quando comparado com a média europeia, de aproximadamente 21% (EPE, 2020).

3.5.2 Proximidades de grandes centros

Altas densidades demográficas dificultam a instalação de grandes centrais de geração de energia, dada a necessidade de área. Instalação de grandes centrais longe dos grandes centros de consumidores, reflete na perda de energia na transmissão devido às longas distâncias. Historicamente, o desenvolvimento do Brasil concentrou-se na faixa litorânea, o que permite que esse centro consumidor seja abastecido com energia proveniente da geração de plantas eólicas offshore, diminuindo assim a perda de transmissão (SANTESTEVAN & D'AQUINO, 2019). No caso do Brasil, a tecnologia de linhas de transmissão no mar advindas de um *know-how* da indústria de petróleo e gás natural (PEYERL, 2019) poderá contribuir com as instalações e infraestrutura de plantas eólicas na área *offshore*.

3.5.3 Tecnologia offshore

A desenvolvimento tecnológico offshore pela indústria brasileira de petróleo e gás natural, como anteriormente mencionado, pode contribuir para o processo de infraestrutura de plantas eólicas. Por exemplo, os guindastes marítimos desenvolvidos por essa indústria permitem que turbinas maiores sejam montadas em áreas offshore (MUSIAL & BUTTERFIELD, 2004).

Quando se trata de instalações *offshore*, é necessária a existência de uma estrutura portuária que suporte todo o serviço de construção, montagem e transporte. Esta estrutura pode ser suprida pela malha de portos existente na região, aproveitando construções feitas para atender a indústria de petróleo e gás.

Um grande problema nas estruturas que se encontram no mar é o requerimento de manutenção, principalmente pelo fato da rápida corrosão. Para isso, empresas brasileiras tem se especializado em tintas especiais, métodos e equipamentos para a manutenção no mar, sendo o país referência neste setor (COSTA & ABRANTES, 2015).

3.5.4 Aproveitamento de normas para concessão de áreas no mar

Em geral, sugere-se que a geração eólica *offshore* tenha um órgão específico que delimite as áreas que serão concedidas para a construção dos parques eólicos, e regulamente essa concessão. Tanto para aquicultura no mar quanto para exploração de hidrocarbonetos há normas para utilização de áreas, assim como órgãos governamentais responsáveis pela fiscalização, os quais podem servir de esboço para regulamentação da geração eólica *offshore* (SANTESTEVAN & D'AQUINO, 2019).

3.6 Ameaças

3.6.1 Falta de mão-de-obra

No Brasil, a indústria de petróleo e gás natural é forte e apresenta qualificações nas áreas de: análise do terreno marinho; manutenção no mar; materiais específicos para utilização no oceano; transporte de grandes estruturas; e instalação de estruturas no mar (GILBERT et al., 2019). Parte desse conhecimento poderá ser utilizado na eólica *offshore*, no entanto, a mão-de-obra específica e especializada inicialmente virá de outros países, representando uma ameaça inclusive economicamente para o país (SANTESTEVEAN & D'AQUINO, 2019).

3.6.2 Possíveis conflitos

Qualquer estrutura colocada na ZEE brasileira deve receber uma permissão da Marinha do Brasil (PINTO CALDERON et al., 2019). Além disso, com objetivo de proteger interesses nacionais, qualquer concessão de área na ZEE requer ainda o parecer da ANP, para assim não conflitar com a exploração de petróleo, segundo a Lei nº 8987, de 13 de fevereiro de 1995. Uma vez implementado um parque de geração de eólica *offshore*, é necessário que a energia seja transmitida até o Sistema Interligado Nacional (SIN). Linhas de transmissão subaquáticas necessitarão ser construídas e bem estudadas, para que se evite ao máximo danos ao meio ambiente marítimo e perdas excessivas. Para evitar conflitos com as atividades já realizadas na ZEE brasileira, reforça-se a necessidade de dialogar com todos os órgãos governamentais que regem estas atividades, a fim de se fazer um marco regulatório.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram realizadas, inicialmente, duas análises distintas envolvendo a geração eólica *offshore*, ambas com o enfoque na concessão de áreas. A primeira análise permitiu verificar os trabalhos científicos mais relevantes, de forma qualitativa, permitindo uma visão ampla sobre o assunto. Como resultado da análise bibliométrica, concluiu-se que, o território brasileiro possui potencial e condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento da energia eólica *offshore*, porém, uma série de impedimentos, como regulação, mão-de-obra e tecnologia precisam ser revistos e aprimorados urgentemente.

Por meio da utilização da ferramenta SWOT, foi possível observar vários pontos de análise e experiências internacionais que podem

contribuir com o desenvolvimento de um arcabouço regulatório junto a investimentos de P&D nessa área. Em relação a pontos técnicos, a análise demonstrou que a geração eólica *offshore* é mais favorável em países que possuem uma plataforma continental extensa e rasa. Bem como, com uma alta densidade demográfica na zona costeira, a qual justifica a localização de parques próximos a grandes zonas consumidoras, e onde não há área disponível em terra. Esses pontos são relevantes, visto que permitem fundações mais simples e baratas para as torres eólicas *offshore*. Alguns países que mais se adequam a essas características são: Inglaterra e Japão.

A análise SWOT também permitiu a determinação de pontos importantes os quais têm impedido a viabilização da geração eólica *offshore* no Brasil, combinado pelo alto custo de empreendimentos, e *know-how* tecnológico. A criação de normas específicas para geração eólica *offshore* é outro importante ponto a ser mencionado novamente para que o país possa estar preparado para que ocorra a inserção desta fonte de energia, oferecendo segurança jurídica a novos empreendimentos e investimentos.

Assim, espera-se que este trabalho traga luz ao desenvolvimento da geração eólica, principalmente no Brasil, ao abordar diferentes aspectos que necessitam ser trabalhados e retrabalhados principalmente pelos governos junto ao seu planejamento do setor energético.

5. AGRADECIMENTOS

Drielli Peyerl agradece especialmente ao apoio financeiro dos Processos 2014/50279-4, 2017/18208-8 e 2018/26388-9, por meio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA. Boletim de geração de energia eólica. ONS. Fevereiro de 2021, pp. 1-46, 2021.

ARAÚJO, A. A. & MOURA, G. J. B. de. A Literatura Científica sobre os impactos causados pela instalação de Parques Eólicos: Análise Cientométrica. R. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 13, n. 28, pp. 207-223, mai./ago. 2017.

BARTHELMIE, R. J.; PALUTIKOF, J. P. Coastal wind speed modelling for wind energy applications. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v. 62, n. 2-3, pp. 213-236, 1996a.

BARTHELMIE, R. J.; PALUTIKOF, J. P. Coastal wind speed modelling for wind energy applications. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 62, n. 2–3, pp. 213–236, 1996b.

BAYER, B. Experience with auctions for wind power in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 2644–2658, 2018.

BILGILI, M.; YASAR, A.; SIMSEK, E. Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15 (2), pp. 905–915, 2011.

BRETON, S. P.; MOE, G. Status, plans and technologies for offshore wind turbines in Europe and North America. *Renewable Energy*, v. 34, n. 3, pp. 646–654, 2009.

CARSTENSEN, J.; HENRIKSEN, O. D.; TEILMANN, J. Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises: Acoustic monitoring of echolocation activity using porpoise detectors (T-PODs). *Marine Ecology Progress Series*, v. 321,8, pp. 295–308, 2006.

CHURRO, D; ZAMBUJO, M. J.; RODRIGUES, C. C.; COELHO, J. L. B. Parques Eólicos-Estudo dos Impactes no Ambiente Sonoro I-Influência no Ruído Local. *Acústica 2004 Evento*. Portugal. pp. 1-8, 2004.

COELHO, C. Avaliação dos Impactes Ambientais dos Parques Eólicos em Áreas Protegidas: O Caso de Estudo do Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros. *Dissertação de mestrado*. Programa em Ciências e Tecnologias do Ambiente. Universidade de Lisboa. Portugal. pp. 1-153, 2007.

COSTA, P. G. F. da; Duarte, F. J. De C. M.; Lima, F. de P. A.; Maia, N. De C; ARAÚJO, A. N. A efetividade de metodologias de diagnóstico rápido em ergonomia em plataformas offshore: revisitando o conceito de modo degradado de funcionamento. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 40, n. 132, pp. 121–136, 2015.

COSTA JÚNIOR, J. F. DA; BEZERRA, D. DE M. C.; CABRAL, E. L. DOS S.; MORENO, R. C. P.; PIRES, A. K. S. The SWOT Matrix and its Subdimensions: A Conceptual Innovation Proposal. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, p. e25710212580, 2021.

DA SILVA, L. & ABRANTES, R. *Análise dos Ruídos Geradores por Aerogeradores no Complexo Eólico Canoas e Lagoas*. XVIII

ENANPUR. Natal, Rio Grande do Norte, pp. 1-16, 2019.

DAMASCENO, V. S. & ABREU, Y. V. DA. Avaliação da energia eólica no Brasil utilizando a análise SWOT e PESTEL. *Interações (Campo Grande)*, v. 19, n. 3, pp. 503-514, 2018.

DE SOUZA, J. M. Mar territorial, zona econômica exclusiva ou plataforma continental. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 17, n. 1, pp. 79-82, 1999.

DREWITT, A. L.; LANGSTON, R. H. W. Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*, v. 148, pp. 29–42, 2006.

DVORAK, M. J.; ARCHER, C. L.; JACOBSON, M. Z. California offshore wind energy potential. *Renewable Energy*, v. 35, n. 6, pp. 1244-1254, 2010.

EPE. Plano Decenal De Expansão De Energia 2027. Brasília: MME/EPE, pp.1-345, 2018.

EPE. Roadmap Eólica Offshore Brasil – Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima. Empresa de Pesquisa Energética, pp. 1-140, 2020.

ESTEBAN, M. D.; DIEZ, J.J.; LÓPEZ, J. S.; NEGRO, V. Why offshore wind energy? *Renewable Energy*, Vol. 36, 2, pp. 444-450, 2011.

GIELEN, D.; BOSHELL, F.; SAYGIN, D.; BAZILIAN, M. D.; WAGNER, N.; GORINI, R. The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*. Vol. 24, pp. 38-50, 2019.

GILBERT, C.; SMITH, H.; BIDWELL, D.; SMYTHE, T.; MOORE, J.; MCCANN, J.; MILLER, E. Gatekeeping and Communities in Energy Transition: A Study of the Block Island Wind Farm. *Environmental Communication*, Vol. 13, 3, pp. 1041-1052, 2019.

GREENACRE, P.; GROSS, R.; HEPTONSTALL, P. A Great Expectations: The cost of offshore wind in UK waters – understanding the past and projecting the future. Report. UK Energy Research Centre. pp. 1-138, 2010.

HENDERSON, A. R.; MORGAN, C.; SMITH, B.; SORENSEN, H.; BARTHELMIE; BOESMANS, B. Offshore Wind Energy in Europe-A Review of the State-of-the-Art. *Wind Energy*, v. 6, pp. 35–52, 2003.

HUNT, J. D.; FREITAS, M.; PEREIRA JR., A. O. Usinas Hidrelétricas Reversíveis Sazonais Combinadas com Hidrelétricas em Cascata e Seus Benefícios para a Gestão de Recursos Hídricos e do Setor Elétrico Brasileiro. In: Encontro Nacional de Máquinas Rotativas, 2016, Rio de Janeiro. Encontro Nacional de Máquinas Rotativas, pp. 1-8, 2016.

IBGE. Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. Rio de Janeiro. 2011. pp. 1-177.

IEA. Offshore Wind Outlook 2019. Technology Report. International Energy Agency. 2019.

KRUG, F.; LEWKE, B. Electromagnetic Interference on Large Wind Turbines. *Energies*, v. 2, 4, pp. 1118–1129, 2009.

LIN, G.; LU, L.; LEI, K.; LIU, K.; KO, Y.; JU, S. Experimental study on seismic vibration control of an offshore wind turbine with TMD considering soil liquefaction effect. *Marine Structures*. Vol. 77, 102961, 2021.

MOURA, M. & PINHEIRO, M. Os Parques Eólicos na Zona Costeira do Ceará e os Impactos Ambientais Associados. *Revista Geonorte*. Vol. 9, 1, p. 22-41, 2013.

MUSIAL, W.; BUTTERFIELD, S. Future for Offshore Wind Energy in the United States: Preprint. United States: N. p., 2004.

NEDWELL, J.; LANGWORTHY, J.; HOWELL, D. Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise. Report. Cowrie, pp. 1-72, 2003.

ONU. Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York, EUA, 2015.

ORTIZ, G. P. & KAMPEL, M. Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil. V Simpósio Brasileiro de Oceanografia. Santos, São Paulo, pp.1-4, 2011.

PEYERL, D. The oil of Brazil. Switzerland: Springer International Publishing, 1-128, 2019.

PIMENTA, F.; KEMPTON, W.; GARVINE, R. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. *Renewable Energy*, v. 33, 11, pp. 2375–2387, 2008.

PINTO CALDERON, M. DE LOS A.; MORENO CALDERON, J. K.; MUÑOZ MALDONADO, Y. A.; OSPINO CASTRO, A. Technical and Economic Evaluation of a Small-Scale Wind Power System Located in Berlin, Colombia. *Tecciencia*, v. 13, 24, pp. 63–72, 2019.

SAMPAIO, K. R. A. & BATISTA, V. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, v. 10, 1, pp. 1-8, 2021.

SANTESTEVAN, W. H. A zona econômica exclusiva brasileira e os parques eólicos offshore: aspectos legais. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia de Energia. Universidade Federal de Santa Catarina, pp. 1- 49, 2019.

SANTESTEVAN, W. H. & D'AQUINO, C. DE A. Análise bibliométrica da geração eólica offshore. 8º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul, pp. 496 – 1125, 2019.

SNYDER, B.; KAISER, M. J. Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. *Renewable Energy*, v. 34, 6, pp. 1567–1578, 2009.

TESSLER, M. G. & GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do departamento de geografia*, 17, pp. 11-23, 2011.

THOMSEN, F.; LÜDEMANN, K.; KAFEMANN, R.; PIPER, W. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Report. CO-WRIE, pp. 1-62, 2006.

TODT, O.; GONZÁLEZ, M. I.; ESTÉVEZ, B. Conflict in the Sea of Tralfalgar: offshore wind energy and its context. *Wind Energy*, v. 14, 5, pp. 699–706, 2011.

TOKE, D. The UK offshore wind power programme: A sea-change in UK energy policy. *Energy Policy*, v. 39, 2, pp. 526–534, 2011.

VATTENFALL, A., & SKOV-OG, N. Danish offshore wind-key environmental issues. Dong energy. (No. NEI-DK--4787), Report. Novembro, pp. 1-144, 2006.

XAVIER, T. W. DE F.; CAETANO, A. G. N.; BRANNSTROM, C. Parques eólicos offshore no Brasil e os potenciais impactos sociais: aplicação de matrizes SWOT. *Arquivo Ciência Marinha Fortaleza*, pp. 89-99, 2020.

WITZLER, L. T. Metodologia para reconstrução de séries históricas de vento e geração eólica visando a análise da complementariedade energética no Sistema Interligado Nacional. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, pp. 1-203, 2016.