

AVALIAÇÃO DO ATUAL STATUS DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL

André Song Silva Bae

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Planejamento Energético, COPPE, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Mestre em
Planejamento Energético.

Orientador: Maurício Tiomno Tolmasquim

Rio de Janeiro
Maio de 2021

AVALIAÇÃO DO ATUAL STATUS DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA
EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL

André Song Silva Bae

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientador: Maurício Tiomno Tolmasquim

Aprovada por: Prof. Maurício Tiomno Tolmasquim

Prof. David Alves Castelo Branco

Dr. Ricardo Marques Dutra

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2021

Bae, André Song Silva

Avaliação do Atual Status de Desenvolvimento da
Indústria Eólica Offshore No Brasil / André Song Silva Bae
– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XV, 123 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Maurício Tiomno Tolmasquim

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de
Planejamento Energético, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 108-119.

1. Eólica Offshore. 2. Cadeia Produtiva. 3. Eólica
Onshore. I. Tolmasquim, Maurício Tiomno. II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de
Planejamento Energético. III. Título.

“A smooth sea never made a skilled sailor”

- Franklin D. Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a COPPE/UFRJ e o PPE pela excelente qualidade de ensino e estrutura disponibilizada para os alunos, assim como a dedicação dos professores, visível nas salas de aula.

Agradeço meu orientador, o Professor Doutor Maurício Tiomno Tolmasquim pela orientação, confiança e paciência. Sua participação na história do desenvolvimento da matriz elétrica brasileira foi fundamental e foi uma honra poder contar com sua ajuda.

Agradeço aos membros da banca, Prof. David Branco e o representante da CEPEL, Dr. Ricardo Dutra, pelo seu tempo e contribuição.

Agradeço meus colegas de turma também, que estiverem presentes durante os momentos difíceis de estudo e prova, mas presentes também durante os momentos de conquista. Guardo com carinho toda essa experiência que tive o prazer de compartilhar com vocês.

Um agradecimento em especial para a equipe administrativa do PPE, representados pelo Paulo e a Sandrinha. Sem vocês, não teria conseguido conquistar mais uma etapa importante na minha vida acadêmica, obrigado pelo suporte.

Por fim, agradeço o carinho da minha família, especialmente dos meus pais, que sempre me incentivaram e me deram forças quando eu mesmo não tive. Algumas outras pessoas especiais foram fundamentais para a conclusão desse trabalho – sou eternamente grato. E um último obrigado a pessoa que esteve ao meu lado no final desse processo, sem o seu carinho e paciência, nada disso seria possível.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

**AVALIAÇÃO DO ATUAL STATUS DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA
EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL**

André Song Silva Bae

Maio/2021

Orientador: Maurício Tiomno Tolmasquim

Programa: Planejamento Energético

Neste trabalho, descreve-se o atual cenário de desenvolvimento da indústria eólica *offshore* no Brasil, com o objetivo de detalhar etapas como a cadeia produtiva, bases portuárias e apoio marítimo, contribuindo assim para a maior disseminação de informação sobre o tema. Para tal, avaliou-se a atual cadeia produtiva de eólica *onshore*, descreveu-se também os principais portos marítimos, tomando como base os atuais projetos eólicos *offshore* em andamento, e um levantamento da atual frota de embarcações de apoio marítimo que poderiam atender os projetos de eólica *offshore* no Brasil foi feito. Por fim, uma análise descritiva foi feita do processo de desenvolvimento dos países líderes no setor eólico *offshore*, resumindo as principais barreiras e lições para o desenvolvimento da indústria no Brasil. É evidente que o país possui as características técnicas necessárias para uma indústria eólica *offshore*, porém é necessário que o Governo assuma um papel ativo no desenvolvimento dessa indústria, consolidando o potencial eólico *offshore*, determinando as áreas marítimas para a instalação de parques eólicos *offshore* e simplificando o processo regulatório.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

EVALUATION OF THE CURRENT STATUS OF OFFSHORE WIND
INDUSTRY DEVELOPMENT IN BRAZIL

André Song Silva Bae

May/2021

Advisor: Maurício Tiomno Tolmasquim

Department: Energy Planning

The present work describes the current development of the *offshore* wind industry in Brazil, detailing important phases such as the production chain, port infrastructure and naval support, contributing therefore with the information framework. This was done by detailing the *onshore* wind production chain and the status of the main ports in Brazil, considering the location from current *offshore* wind projects, as well as assessing the current vessel fleet in Brazil. Lastly, a descriptive analysis of the development process from the leading countries in the *offshore* wind sector was made, summarizing the main barriers and lessons for the industry in Brazil. It is evident that the country has the necessary technical characteristics for an *offshore* wind industry, but it is necessary for the Federal Government to take an active role in this development, consolidating the *offshore* wind potential, determining the maritime areas for the installation of *offshore* wind farms and simplifying the regulatory process.

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	1
2.	Objetivo geral.....	4
3.	Energia eólica	5
	3.1. Noções básicas de uma turbina eólica	7
	3.2. Energia eólica <i>offshore</i>	10
	3.2.1. Diferenças entre eólica <i>onshore</i> e <i>offshore</i>	11
4.	Energia eólica no Brasil	19
	4.1. Cadeia produtiva da eólica <i>onshore</i>	26
	4.1.1. Distribuição geográfica.....	28
5.	Eólica <i>offshore</i> no Brasil	32
	5.1. Potencial eólico <i>offshore</i> no Brasil	33
	5.2. Projetos eólicos <i>offshore</i> no Brasil.....	37
	5.2.1. Parque eólico <i>offshore</i> Caucaia	39
	5.2.2. Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I	40
	5.2.3. Planta piloto de geração eólica <i>offshore</i>	41
	5.2.4. Complexo eólico marítimo Jangada	42
	5.2.5. Complexo eólico Maravilha	43
	5.2.6. Parques eólicos Aracatu.....	44
	5.2.7. Complexo eólico marítimo Águas Claras.....	45
6.	Portos	47
	6.1. Porto de Pecém (CE).....	49
	6.1.1. Acesso.....	51
	6.1.2. Infraestrutura do Porto de Pecém	51
	6.1.3. Equipamentos portuário do Porto de Pecém.....	52
	6.1.4. Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos.....	52
	6.2. Porto de Suape (PE).....	54
	6.2.1. Acesso.....	55
	6.2.2. Infraestrutura do Porto de Suape	55
	6.2.3. Equipamentos portuário do Porto de Suape.....	57

6.2.4. Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos.....	57
6.3. Porto Açu (RJ)	59
6.3.1. Acesso.....	60
6.3.2. Infraestrutura do Porto de Açu	60
6.3.3. Equipamentos portuário do Porto de Açu.....	61
6.3.4. Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos.....	61
6.4. Porto de Rio Grande (RS).....	62
6.4.1. Acesso.....	63
6.4.2. Infraestrutura do Porto de Rio Grande	64
6.4.3. Equipamentos portuário do Porto de Rio Grande.....	65
6.4.4. Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes.....	66
6.5. Distância entre os portos (cabotagem)	68
6.6. Indicadores de adequação dos portos	69
7. Embarcações.....	74
7.1. Embarcações utilizadas pela indústria eólica <i>offshore</i>	74
7.2. Embarcações de apoio marítimo no Brasil.....	77
8. Desenvolvimento da eólica <i>offshore</i> na Europa, China e Estados Unidos	84
8.1. Europa	84
8.2. China.....	89
8.3. Estados Unidos.....	92
9. Discussão	95
9.1. Lições aprendidas da eólica <i>onshore</i>	96
9.2. Portos e apoio marítimo	98
9.3. Lições dos países líderes em eólica <i>offshore</i>	100
10. Considerações finais	105
11. Referências bibliográficas.....	108
12. Anexos.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Capacidade instalada global de energia renovável por fonte. Fonte: IRENA (2021).....	5
Figura 2 – Ranking dos países em instalações <i>onshore</i> totais. Fonte: Elaboração própria, adaptado de GWEC (2021).....	6
Figura 3 – Ranking dos países com novas instalações <i>onshore</i> em 2020. Fonte: Elaboração própria, adaptado de GWEC (2021).....	7
Figura 4 – Principais componentes que constituem turbinas eólicas de eixo horizontal. Fonte: BOTTONE <i>et al.</i> (2020).	8
Figura 5 – Componentes de um aerogerador. Fonte: LAGE & PROCESSI (2013).	9
Figura 6 – Evolução do tamanho e potência dos aerogeradores. Fonte: LIEBREICH (2017).....	10
Figura 7 – Capacidade de energia eólica <i>offshore</i> acumulada na Europa entre 1993 e 2017.	11
Figura 8 – Relação dos custos entre projetos eólicos <i>onshore</i> e <i>offshore</i> (águas rasas e profundas). Fonte: Elaboração própria, Elaboração própria, adaptado de STEHLY & BEITER (2020).....	14
Figura 9 – Capacidade global instalada de eólica <i>onshore</i> e <i>offshore</i> . Fonte: Elaboração própria, adaptado de IRENA (2019a).....	15
Figura 10 – Capacidade instalada de eólica <i>onshore</i> por região. Fonte: Elaboração própria, adaptado de IRENA (2019a).....	16
Figura 11 – Capacidade instalada de eólica <i>offshore</i> por região. Fonte: Elaboração própria, adaptado de IRENA (2019a).....	16
Figura 12 – Diferentes tipos de fundações para turbinas eólicas <i>offshore</i>	17
Figura 13 – Quantidade de Projetos Eólicos Contratados entre 2009 e 2019, Fonte: Elaboração própria, adaptado de ANEEL (2020).	22
Figura 14 – Resultado da Energia Eólica nos Leilões entre 2009 e 2019. Fonte: Elaboração própria, Elaboração própria, adaptado de ANEEL (2020).....	23
Figura 15 – Matriz Elétrica Brasileira em a) 2009 e b) 2020. Fonte: Elaboração própria, adaptado de EPE (2021).....	25

Figura 16 – Segmentação da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil. Fonte: ABDI (2017)	27
Figura 17 – Geração (TWh) e representatividade da fonte eólica por Região no Brasil. Fonte: ABEEÓLICA (2019).....	31
Figura 18 – Densidade média de potência eólica no Atlântico sudoeste e o potencial de geração de energia eólica em diferentes regiões da margem brasileira. Fonte: ORTIZ & KAMPEL (2011).....	34
Figura 19 – Ranking das áreas preferenciais, com destaque para o Nordeste e o Sul do Brasil.	35
Figura 20 – Localização aproximada dos Projetos Eólicos <i>Offshore</i> no Brasil. Fonte: elaboração própria.	38
Figura 21 – Layout do Parque Eólico <i>Offshore</i> Caucaia, Fonte: IBAMA (2016).	40
Figura 22 – Layout do Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I. Fonte: IBAMA (2017).....	41
Figura 23 – Mapa de localização das 3 alternativas de locação do aerogerador (círculos vermelhos) e da torre anemométrica (círculos azuis) em relação a plataforma PUB-3. Fonte: IBAMA (2018).	42
Figura 24 – Layout do Complexo Eólico Marítimo Jangada. Fonte: EPE (2020c).	43
Figura 25 – Layout do Complexo Eólico Maravilha. Fonte: EPE (2020c).....	44
Figura 26 – Layout dos Complexos Eólicos Aracatu I e Aracatu II. Fonte: EPBR (2019).	45
Figura 27 – Layout do Complexo Eólico Marítimo Águas Claras. Fonte: EPE (2020c).	45
Figura 28 –Localização aproximada dos Portos de Pecém (CE), Suape (PE), Açu (RJ) e Rio Grande (RS) Ceará em relação aos Projetos Eólicos <i>Offshore</i> em desenvolvimento no Brasil, até o final de 2020. Fonte: Elaboração própria....	49
Figura 29 – Localização do Porto de Pecém, Ceará. Fonte: Elaboração própria.	50
Figura 30 – Estrutura de Acostagem do Porto de Pecém. Fonte: BRASIL (2015).	51
Figura 31 – Localização do Porto de SUAPE, Pernambuco. Fonte: Elaboração própria.....	54

Figura 32 – Áreas internas e externas do Porto de Suape. Fonte: BRASIL (2018).	56
Figura 33 – Cais 1 a 5 da Área Interna do Porto de Suape. Fonte: BRASIL (2018).	57
Figura 34 – Localização do Porto de Açu, Rio de Janeiro. Fonte: Elaboração própria.	59
Figura 35 – Localização do Porto de Rio Grande, Rio Grande do Sul. Fonte: Elaboração própria.	63
Figura 36 – As quatro áreas portuário do Porto de Rio Grande (Porto Velho, Porto Novo, Superporto e São José do Norte). Fonte: BRASIL (2013).	64
Figura 37 – Porto de Rio Grande em relação a fabricantes de aerogerador, subcomponentes de nacelle e subcomponentes de rotor, pás e cubo. Fonte: Elaboração própria utilizando Google Earth Pro (versão 7.3.2.5576) e dados da ABDI (2017).....	67
Figura 38 – Tipos de embarcação de apoio marítimo atuando no Brasil entre 2015 e 2020,	79
Figura 39 – Guindaste tipo Cábreia. Fonte: LOCAR, 2020.	80
Figura 40 – Evolução da quantidade de embarcações de apoio marítimo no Brasil e valor do barril de petróleo, entre 2001 e 2020. Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da ABEAM (2020).....	81
Figura 41 – Variação da quantidade de plataformas no Brasil entre 2015 e 2019 (FPSO: Floating Production Storage and Offloading; FSO: Floating Storage and Offloading; TLWP: Tension Leg Wellhead Platform; FPU: Floating Production Unit). Fonte: Elaboração própria, adaptado de IBP (2020).	82
Figura 42 – Capacidade instalada de eólica <i>offshore</i> por região. Fonte: Elaboração própria, adaptado de IRENA (2021).	84
Figura 43 – Localização dos Parques Eólicos <i>Offshore</i> (a) instalados e (b) planejados para 2018. Fonte: DECASTRO <i>et al.</i> (2019).	85
Figura 44 – Principais Legislações envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore na Europa. Fonte: Elaboração própria, adaptado de DECASTRO <i>et al.</i> (2019).	87
Figura 45 – Capacidade instalada de eólica <i>offshore</i> na China, entre 2010 e 2020.	89

Figura 46 – Principais Legislações envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore na China. Fonte: Elaboração própria, adaptado de DECASTRO <i>et al.</i> (2019).....	91
Figura 47 – Principais Legislações envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore no Estados Unido.	93
Figura 48 – Projetos Eólicos <i>Offshore</i> na costa Leste do Estados Unidos.....	94
Figura 49 – Estaleiros no Brasil. Fonte: SINAVAL (2014).	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as características técnicas, econômicas e espaciais entre eólica <i>offshore</i> e <i>onshore</i>	12
Tabela 2 – Histórico dos resultados de energia eólica nos leilões, entre 2009 e 2019.	21
Tabela 3 – Preço Médio por Fonte (R\$/MWh).....	26
Tabela 4 – Distribuição regional (%) dos fabricantes de componentes e subcomponentes da indústria eólica <i>onshore</i> no Brasil.	29
Tabela 5 – Potencial eólico estimado para as diferentes regiões no Brasil para vento médio anual de 7 m/s a 50 m de altura.....	30
Tabela 6 – Área aproveitável, quantidade de turbinas e capacidade para as regiões Sudeste e Sul.	36
Tabela 7 – Área aproveitável considerando regiões até 100 metros de profundidade.	37
Tabela 8 – Principais características dos Projetos de Eólica <i>Offshore</i> no Brasil.	39
Tabela 9 – Modelos de Gestão Portuária.	47
Tabela 10 – Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos ao Porto de Pecém.....	53
Tabela 11 – Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos ao Porto de Suape.	58
Tabela 12 – Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos ao Porto de Açu.	61
Tabela 13 – Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos ao Porto de Rio Grande.	66
Tabela 14 – Distância, em Milhas Náuticas, entre os portos de Pecém, Suape, Açu e Rio Grande.	68
Tabela 15 – Ranking das características de Portos de Instalação e Portos de O&M.	72
Tabela 16 – Relação entre embarcações utilizadas pela indústria eólica <i>offshore</i> e de apoio marítimo, com a quantidade de acordo com o último levantamento feito pelo órgão responsável.	83

Tabela 17 – Principais Autoridades envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore na Europa.....	86
Tabela 18 – Principais Autoridades envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore na China.....	90
Tabela 19 – Principais Autoridades envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore no Estados Unidos.....	92
Tabela 20 – Variação do valor médio da diária de uma embarcação do tipo auto elevatória (jack-up) na Inglaterra.....	99
Tabela 21 – Resumo das principais agências e legislações envolvidas no setor energético e marítimo no Brasil.....	101
Tabela 22 – Recomendações para o Desenvolvimento da Indústria Eólica Offshore no Brasil.....	103

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial, 2019 foi confirmado o segundo ano mais quente desde o início dos registros da temperatura média global em 1850 – o primeiro é 2016, onde estabeleceu-se um novo recorde com 1,2ºC acima da linha de base pré-industrial (WMO, 2019). Desde os anos 1980, cada década tem sido mais quente que a passada.

Um dos principais motivos para o constante crescimento da temperatura média global, desde a era pré-industrial, é o aumento de emissão dos Gases de Efeito Estufa proveniente, entre outros, da queima de combustíveis fósseis para geração de energia. Com isso, as energias renováveis tornaram-se alternativas claras para o combate do aquecimento global (DECASTRO *et al.*, 2019). Por energia renovável, entende-se que são as fontes de energia que se reabastecem naturalmente, como biomassa, hidrelétrica, geotermal, eólica e solar (MURTY, 2017).

De acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável, ao final de 2020 cerca de um terço da capacidade de produção de energia elétrica no mundo era proveniente de fontes renováveis, gerando 2.779 GW de energia no mundo, com as hidrelétricas sendo responsáveis por 1.211 GW, eólicas 733 GW e solares 714 GW (IRENA, 2021).

Os motivos para o crescimento global das energias renováveis, além do combate ao aquecimento global, estão relacionados também a fatores como inovação tecnológica e segurança energética (MACKINNON *et al.*, 2018). Dentre as renováveis, a energia eólica é a tecnologia mais competitiva na maioria dos mercados e em 2018, foi responsável pelo aumento em 49 GW da capacidade instalada global.

A energia eólica é historicamente um mercado dominado pelos países Europeus, como Reino Unido, Alemanha e Dinamarca. Porém, em 2014 pela primeira vez a região da Ásia superou a Europa em termos de capacidade instalada. Destaques recentes também para países como Estados Unidos, Índia e Brasil.

Porém, com o crescimento dessa indústria, crescem inevitavelmente também os impactos ambientais e socioeconômicos. Parques eólicos necessitam de grandes áreas para desenvolvimento e, à medida que as áreas mais economicamente viáveis

são tomadas, ou desaprovadas pela pressão da população local em função da poluição visual e sonora, novos parques precisam se estabelecer em regiões cada vez mais remotas, aumentando assim o seu custo (ESTEBAN *et al.*, 2011).

Uma alternativa recente que pode solucionar muitos dos problemas atuais enfrentados pela indústria eólica é a migração dos parques para áreas marítimas, ou *offshore*, onde os ventos são mais fortes e constantes, além de possuir uma área maior para construção de parques eólicos (PERVEEN *et al.*, 2014). Neste trabalho, entende-se que *onshore* se refere as áreas continentais e *offshore* se refere as áreas marítimas.

Além disso, as recentes crises de petróleo e o futuro incerto da indústria, trazem à tona questões como o aproveitamento do conhecimento adquirido de uma indústria acostumada a atuar no ambiente *offshore*. Entretanto, migrar de uma tecnologia *onshore* para *offshore* não é simples e exige um planejamento a nível nacional, considerando ativos regionais, iniciativas políticas, mecanismos de aceleração do desenvolvimento, assim como o engajamento de instituições econômicas e organizacionais (MACKINNON *et al.*, 2018).

No Brasil, apesar da expectativa de um aumento entorno de 547% a 1047% da capacidade instalada de eólica no cenário 2050 (EPE, 2020a), comparado a capacidade instalada total de 17 GW em 2021 (ANEEL, 2021), o próprio estudo no Plano Nacional de Energia 2050 da EPE (2020a) aponta para uma capacidade instalada de eólica *offshore* entorno de 16 GW, caso haja uma redução de 20% no CAPEX dessa fonte. Em 2020 também, a EPE incluiu pela primeira vez a eólica *offshore* como candidata à expansão, a partir do ano 2027, no Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2029 (EPE, 2020b). Porém, o estudo aponta, considerando o cenário dessa fonte em 2021, que a eólica *offshore* ainda não é competitiva frente às outras opções de expansão, mas que esse cenário pode mudar dependendo da evolução da maturidade tecnológica da fonte, assim como a contribuição de estudos técnicos-econômicos, socioambientais, e o desenvolvimento regulatório.

Focando na contribuição técnica-econômica, alguns estudos pioneiros mapearam o potencial eólico *offshore* no Brasil (ORTIZ & KAMPEL, 2011; SILVA, 2019; TAVARES *et al.*, 2020), outros mapearam a complementariedade sazonal entre

hidrelétricas e eólica *offshore* (SILVA *et al.*, 2016), e mais recente analisaram os custos para inserção da energia eólica *offshore* na costa brasileira (MÜLLER, 2019), porém pouco aprofundaram em relação a cadeia produtiva, com ênfase nas estruturas portuárias e apoio marítimo, etapas consideradas essenciais para o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* (KERN *et al.*, 2014).

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste de trabalho é descrever o atual status de desenvolvimento da Indústria Eólica *Offshore* no Brasil, considerando ativos regionais (cadeia eólica *onshore*, portos e embarcações), comparando também o desenvolvimento com demais países líderes globais no setor eólico *offshore*.

Como objetivos específicos, pode-se definir:

- Objetivo específico 1: descrever e mapear a cadeia produtiva da eólica *onshore* no Brasil, fundamental para o desenvolvimento de uma cadeia eólica *offshore*;
- Objetivo específico 2: detalhar os atuais projetos eólicos *offshore* em andamento no Brasil e possíveis portos;
- Objetivo específico 3: descrever as embarcações comumente utilizadas pela indústria eólica *offshore* global e apresentar o atual cenário de embarcações de apoio marítimo no Brasil;
- Objetivo específico 4: comparar o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* ao redor no mundo, focando nos países líderes.

3. ENERGIA EÓLICA

O vento desempenha uma importante, e longa, participação na história da civilização humana. A força do vento tem sido utilizada para movimentar barcos, moer grãos e bombear água, com evidências datando até 5000 A.C (BILGILI *et al.*, 2011). Porém, nesse período a aplicação envolvia somente energia mecânica, até que em 1891 o dinamarquês Poul LaCour possibilitou a geração de eletricidade através do vento (OWENS, 2019). Entretanto, o desenvolvimento de uma indústria de energia eólica despertou de fato somente no início dos anos 1970, com as crises de petróleo, evidenciando a fragilidade de uma matriz elétrica pouco diversa (BILGILI *et al.*, 2011).

O primeiro país a comercializar a energia gerada por uma turbina eólica foi a Dinamarca, em 1976. Desde então, a indústria passou por diversos avanços tecnológicos e atualmente, a energia eólica é uma das tecnologias de geração de energia que mais cresce no mundo (IRENA, 2021), conforme demonstrado na Figura 1.

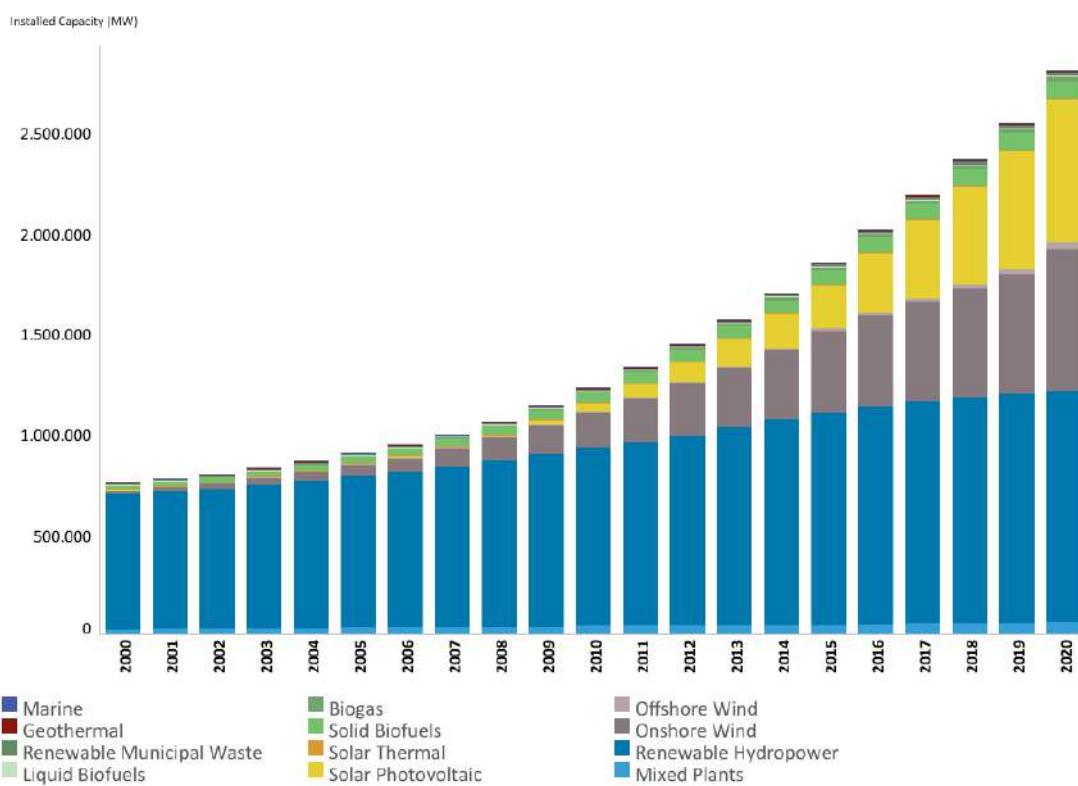


Figura 1 – Capacidade instalada global de energia renovável por fonte. Fonte: IRENA (2021).

Cerca de 124 países ao redor do mundo possuem a energia eólica como fonte de

geração em sua matriz elétrica (WINDPOWER, 2020), com a China liderando o mercado em termos de instalações totais e o Brasil ocupando o sétimo lugar (Figura 2).

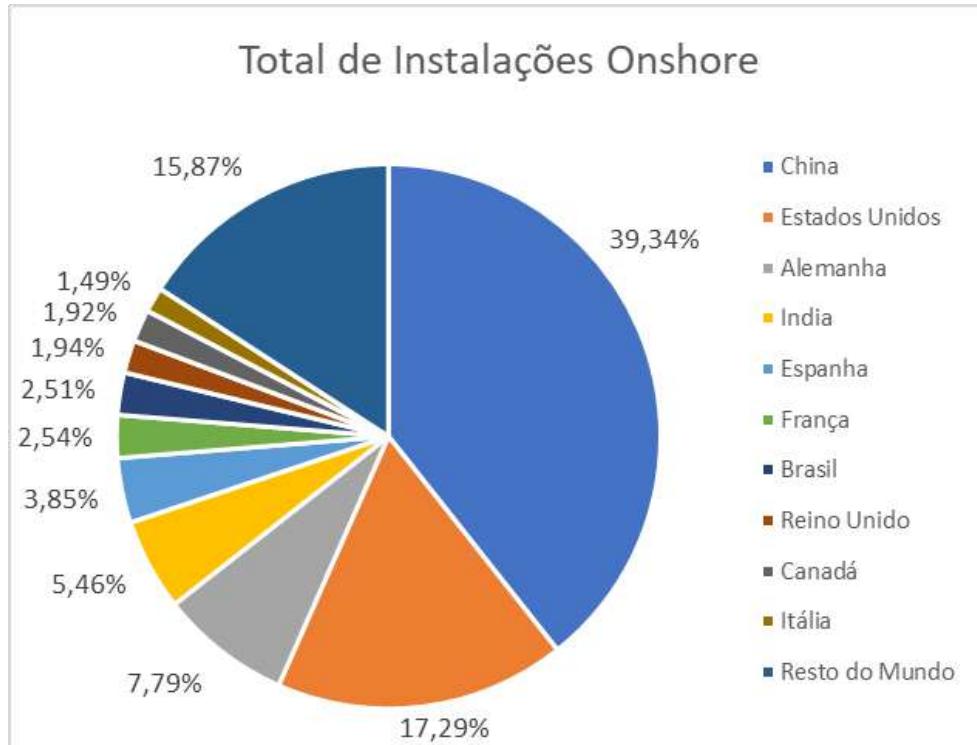


Figura 2 – Ranking dos países em instalações *onshore* totais. Fonte: Elaboração própria, adaptado de GWEC (2021).

Comparando a Figura 2 com a Figura 3, que demonstra o ranking dos países em termos de novas instalações *onshore*, a China continua liderando, com 55% das instalações, seguido novamente pelo Estados Unidos. Porém, nesse cenário, o Brasil aparece em terceiro lugar (2,47%) e Turquia e Austrália, que não lideraram em números totais de instalação, mas representaram cerca de 1% cada em termos de novas instalações, refletem o compromisso no desenvolvimento e participação da indústria eólica.

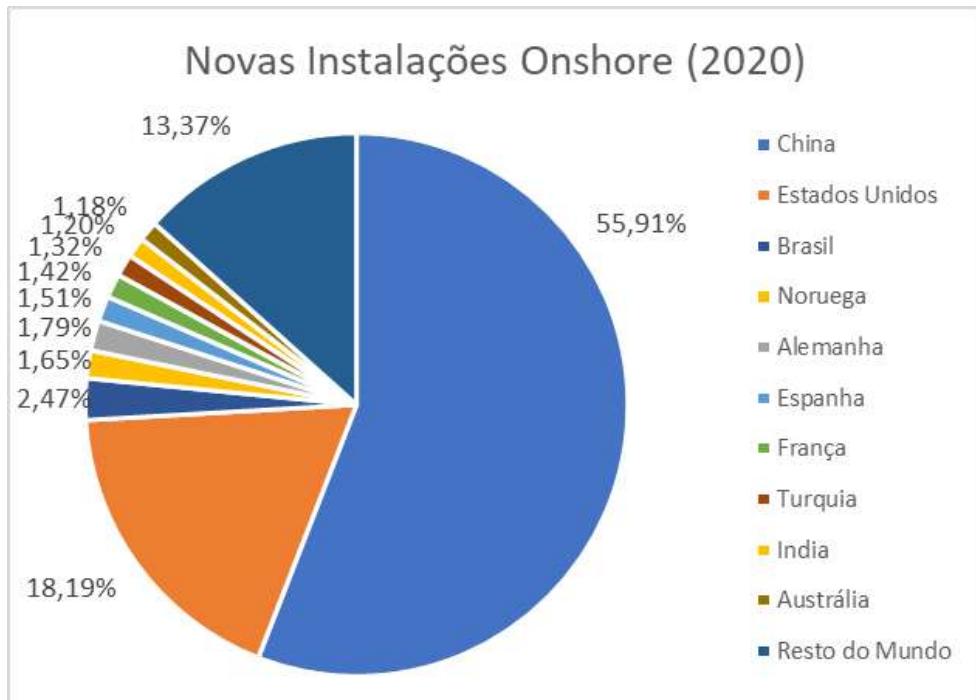
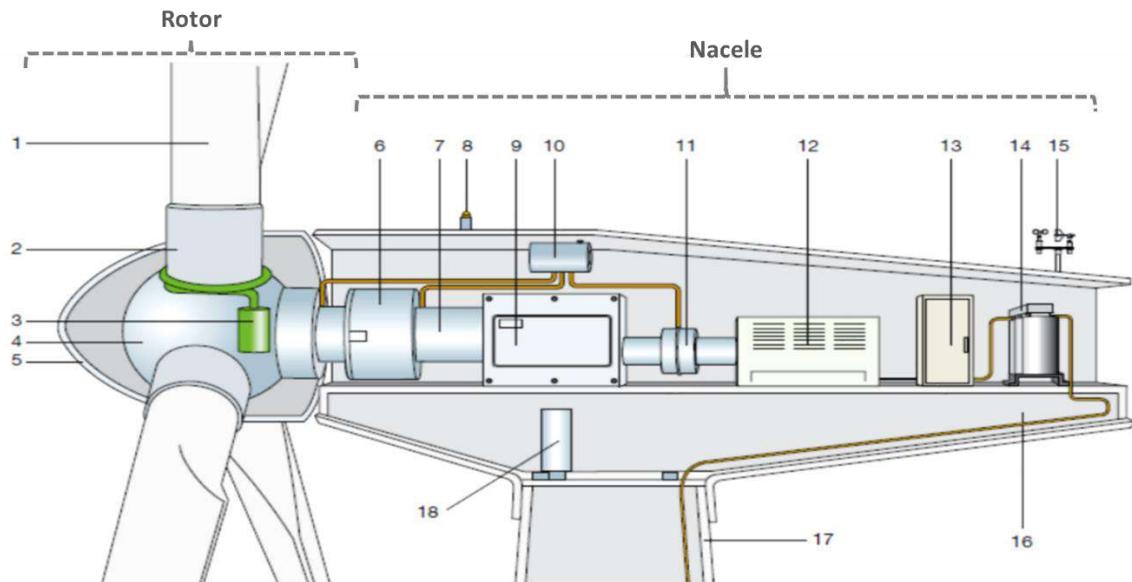


Figura 3 – Ranking dos países com novas instalações *onshore* em 2020. Fonte: Elaboração própria, adaptado de GWEC (2021).

3.1. NOÇÕES BÁSICAS DE UMA TURBINA EÓLICA

As turbinas eólicas, ou aerogeradores, basicamente transformam a energia cinética dos ventos em energia mecânica, rotacionando as pás da turbina, que por sua vez convertem o trabalho mecânico em energia elétrica. As turbinas podem ser de arraste, onde a incidência do vento é diretamente nas pás, ou de sustentação, onde o diferencial de pressão gera uma força de sustentação que movimenta o rotor (MELO, 2012). Além disso, o eixo da turbina pode ser vertical ou horizontal. A descrição a seguir considerará uma típica turbina de sustentação com eixo horizontal, pois até 2017 era a tecnologia que domina no mercado de eólica, tanto *onshore* quanto *offshore* (ABDI, 2017).



1. Pá; 2. Suporte de pá; 3. Atuador de ângulo de inclinação; 4. Cubo (hub); 5. Spinner; 6. Suporte principal; 7. Cabo principal; 8. Luzes de aviso de aeronaves; 9. Caixa de engrenagem; 10. Freio mecânicos; 11. Dispositivos de refrigeração hidráulica; 12. Gerador; 13. Conversor de potência e dispositivos de controle, proteção e desconexão; 14. Transformador; 15. Anemômetros; 16. Quadro da nacelle; 17. Torre de apoio; 18. Dispositivo de condução de guinada.

Figura 4 – Principais componentes que constituem turbinas eólicas de eixo horizontal. Fonte: BOTTONE *et al.* (2020).

As pás são os aerofólios que convertem a energia do vento em energia mecânica rotacional. São compostos por resina epóxi ou poliéster reforçada com fibra de vidro ou carbono. Junto com o cubo, que é o componente que recebe as pás, forma-se o rotor.

A nacelle é a estrutura montada sobre a torre, contendo a maioria dos componentes e subcomponentes, como: eixo, gerador, caixa de engrenagem, freios mecânicos, transformador, entre outros. Diferentes combinações de mecanismos de controle, acionamento e tipo de gerador foram desenvolvidos ao longo do tempo (ABDI, 2017), podendo ter um gerador de indução com rotor de gaiola (*SCIG – Squirrel Cage Induction Generator*), um gerador de indução com rotor ventilado (*WRIG – Wound Rotor Induction Generator*), gerador de indução duplamente excitado (*DFIG – Doubley Fed Induction Generator*), gerador síncrono com imãs permanentes (*PMSG – Permanent Magnet Synchronous Generator*) ou gerador síncrono e excitado eletricamente com enrolamento de campo (*EESG – Electrically Excited Synchronous Generator*).

Por fim, a torre é a estrutura responsável por erguer todo o conjunto rotor-nacelle

a uma altura segura para a rotação das pás. Elas podem ser do tipo cônica ou treliçada, utilizando diferentes materiais e combinações na sua construção (torres cônicas utilizam concreto e aço laminado; torres treliçadas usam somente aço galvanizado). As torres cônicas podem ser híbridas, onde a área inferior é feita de concreto e a superior de aço, sendo acopladas por um anel de transição. O custo, altura do aerogerador, local de instalação, transporte, montagem e manutenção vão influenciar na definição do tipo de torre e material. De uma forma geral, torres cônicas são utilizadas em alturas entre 80 e 100 metros, torres treliçadas em locais de difícil acesso exigindo, portanto, uma logística mais simplificada, e em casos de torres com altura em torno de 200 metros, madeiras também são utilizadas ou um esqueleto interno de aço envolto por um tecido de alta resistência. No Brasil, as torres mais comuns são as cônicas de aço e as híbridas, porém, as de concreto estão crescendo no mercado brasileiro (ABDI, 2017).

A Figura 5 exemplifica a estrutura básica e completa de um aerogerador de eixo horizontal, composto basicamente pelo rotor (pás), nacelle e torre (DUTRA, 2008).

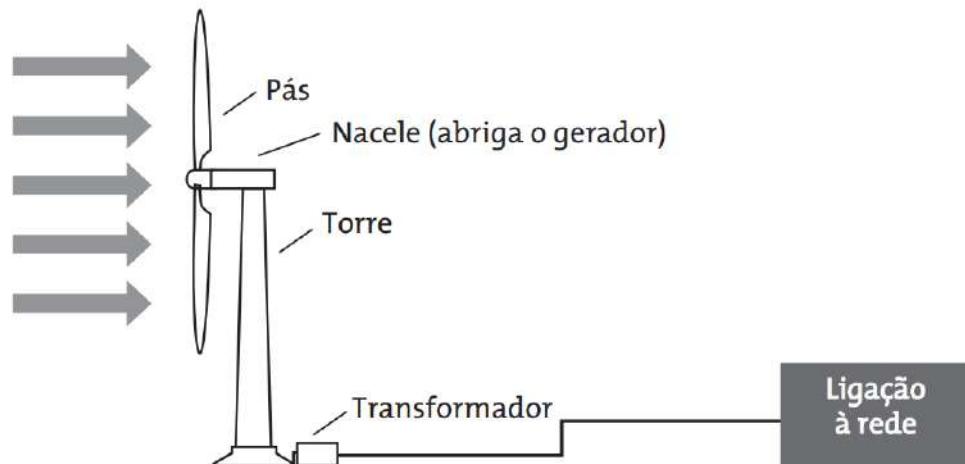


Figura 5 – Componentes de um aerogerador. Fonte: LAGE & PROCESSI (2013).

Do ponto de vista da potência, basicamente quanto maior a área do rotor, maior a potência gerada. Baseando-se nesse simples fundamento físico, a indústria eólica tem desenvolvido turbinas cada vez maiores, refletindo em potências nominais cada vez maiores também (Figura 6).

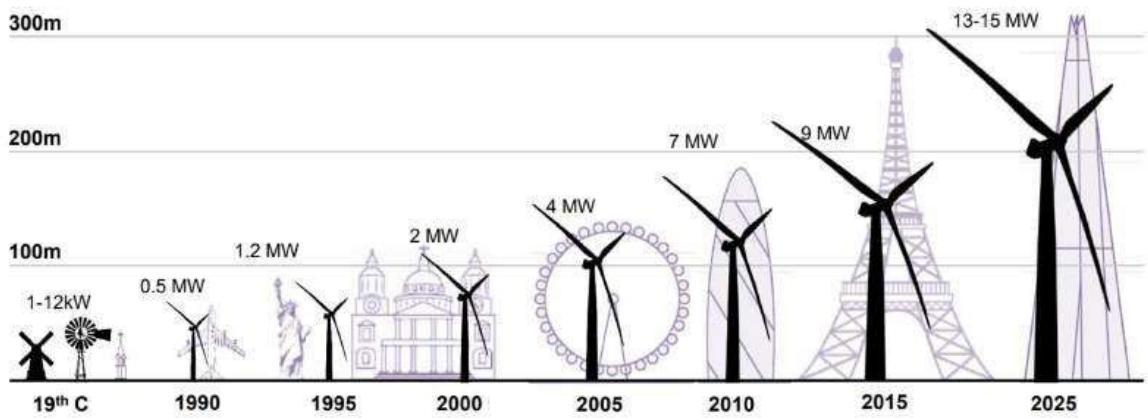


Figura 6 – Evolução do tamanho e potência dos aerogeradores. Fonte: LIEBREICH (2017).

Porém, com isso, aumenta-se também os impactos socioambientais (poluição visual, poluição sonora, efeito cintilante, desmatamento, entre outros), assim como as complicações logísticas no transporte de estruturas tão grandes. Entretanto, quando se trata do ambiente *offshore*, o cenário para grandes turbinas encontra menos resistência (KALDELLIS *et al.*, 2016).

3.2. ENERGIA EÓLICA OFFSHORE

Diferente da energia eólica *onshore*, a história da energia eólica *offshore* é relativamente recente, começando em 1991 com a inauguração do primeiro parque eólico *offshore* na costa da Dinamarca, onde onze turbinas de 450 kW geraram uma capacidade total de 4,95 MW, abastecendo cerca de 2.200 casas. Entre 1991 e 2000, o desenvolvimento do mercado *offshore* foi irregular e consistia de basicamente pequenos projetos próximos a costa. Somente em 2001 o primeiro projeto em escala de utilidade foi implementado, novamente na Dinamarca, com capacidade total de 40 MW. No mesmo ano, na Suécia, sete turbinas *offshore* de 1,5 MW foram instaladas, totalizando 50,5 MW de capacidade na Europa, representando 1% do total da capacidade de novos projetos eólicos na região. Dez anos depois, em 2010, os 883 MW de eólica *offshore* instalada representaram 9,5% do mercado anual de energia eólica instalada na Europa (VARGAS, 2016).

Um marco importante que ajudou a impulsionar a indústria eólica *offshore* na Europa foi a Diretiva 2009/28/EC do Parlamento e Conselho Europeu em Energias Renováveis, onde metas para 2020 foram estabelecidas, como a participação em pelo menos 20% de energias renováveis na matriz elétrica Europeia, com o objetivo de

reduzir as emissões dos GEE (Gases Efeito Estufa), parte do compromisso firmado para lidar com as mudanças climáticas. Para cumprir essa meta, o Reino Unido, por exemplo, estabeleceu a estratégia que 15% da sua matriz elétrica teria energias renováveis, identificando em 2013 que a principal contribuição para atingir o objetivo viria da energia eólica *offshore* (HIGGINS & FOLEY, 2014).

A Figura 7 demonstra que a capacidade anual acumulada da energia eólica *offshore* na Europa cresceu exponencialmente a partir de 2010. No final de 2017, a capacidade total global de eólica *offshore* foi de 23,1 GW, com o Reino Unido liderando o mercado em instalações *offshore* (34%), seguido pela Alemanha (28% do mercado) e China (20% do mercado). Somente em 2018, 4,5 GW de capacidade foram instalados, com a China contribuindo com 40% das novas instalações *offshore* (GWEC, 2019).

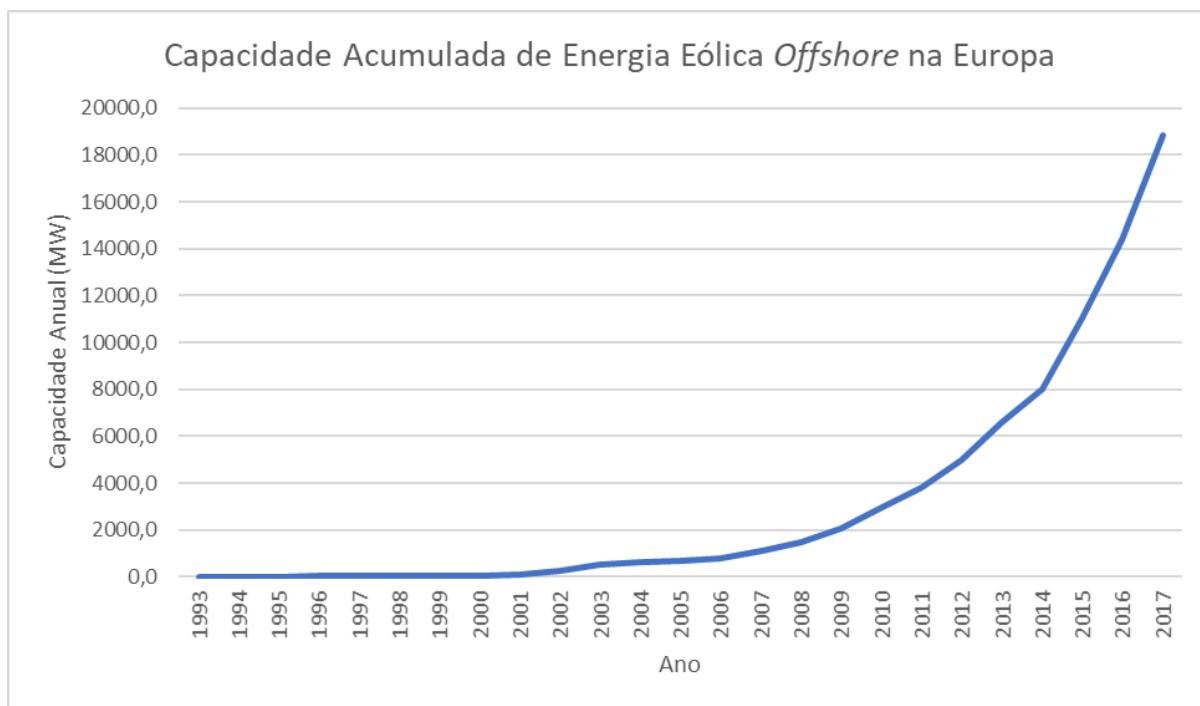


Figura 7 – Capacidade de energia eólica *offshore* acumulada na Europa entre 1993 e 2017.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de GWEC (2019).

3.2.1. DIFERENÇAS ENTRE EÓLICA ONSHORE E OFFSHORE

O princípio de geração de energia através do vento, seja ele *onshore* ou *offshore*, é semelhante porém, existem claras diferenças entre os segmentos quando se trata de questões técnico-espaciais, econômicas e organizacionais, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação entre as características técnicas, econômicas e espaciais entre eólica *offshore* e *onshore*.

Características	Offshore	Onshore
Técnico-espaciais		
Produção elétrica	Alta (maior fator de capacidade)	Menor que <i>offshore</i>
Restrições gerais	Profundidade da água, rotas náuticas, reservas naturais, distância da costa	Exposição do vento, áreas residenciais, reservas naturais
Condições ambientais	Ventos mais fortes e constantes, água salgada, ondas, condições de tempo extremas	Ventos tipicamente mais fracos, menos constantes e mais turbulentos que <i>offshore</i>
Condições de acesso	Montagem final e instalação somente em condições de mar calmo, acesso mais restrito e demorado, longas distâncias	Instalação em condições de pouco vento, acesso rodoviário necessário, transporte de peças e componentes grandes mais desafiador, manutenção mais fácil
Impactos ambientais	Pouca relevância para impactos visuais e sonoros, potencial impacto para aves marinhas e aves migratórias, impactos por causa da fundação e conexão de grid	Impacto visual e sonoro são mais relevantes
Conexão do grid	Longas distâncias até os pontos de conexão, monitoramento constante necessário, procedimentos de licença separados, grid litorâneo mais fracos	Distâncias curtas a médias, integração ao grid menos problemática por causa das menores dimensões dos parques eólicos
Econômicas		
Principais custos	Turbinas, fundações, conexões ao grid e estações transformadoras	Fundações e conexões ao grid menos dispendiosos
Investimento de capital (CAPEX)	Alto	Baixo, comparado ao <i>offshore</i>
Riscos	Alto, falta de seguro	Baixo, comparado ao <i>offshore</i>
Renda	Esquemas de apoio governamental, em parte com incentivos extras	Esquemas de apoio governamental
Organizacionais		
Planejamento e licenciamento	Grandes diferenças nacionais, geralmente complexas e demoradas	Semelhante ao <i>offshore</i>
Conexão grid	Coordenação próxima com o operador do grid	Coordenação importante também, mas menos crítica
Tamanho do projeto	Grande	Menor que <i>offshore</i>
Quantidade de subcontratados	Grande, gestão de projeto mais complexa	Menor, menos complexa

Características	Offshore	Onshore
Outras particularidades	Serviços in situ dependem das condições de tempo e mar, assim como disponibilidade de embarcações	Menos dependências, planejamento mais previsível

Fonte: Elaboração própria, adaptado de MARKARD & PETERSEN (2009).

A diferença entre os custos também difere entre projetos eólicos *onshore* e *offshore*, com diferenças inclusive para projetos em águas rasas (até 50 m) ou águas profundas (a partir de 100 m), como demonstrado na Figura 8.

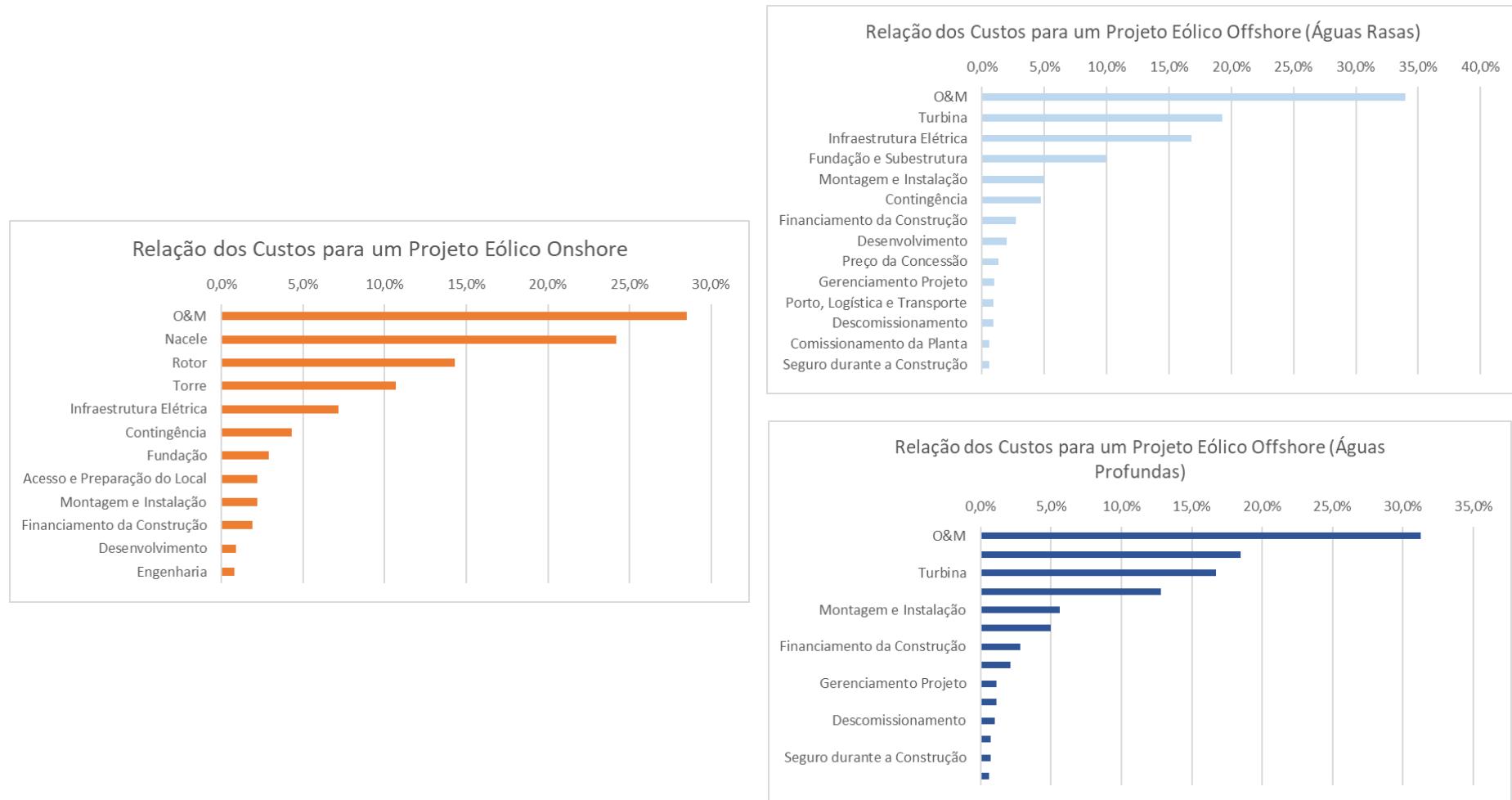


Figura 8 – Relação dos custos entre projetos eólicos *onshore* e *offshore* (águas rasas e profundas). Fonte: Elaboração própria, Elaboração própria, adaptado de STEHLY & BEITER (2020).

Uma semelhança evidente é que, tanto para eólica *onshore* quanto *offshore*, os custos com O&M (OPEX) equivalem a aproximadamente um terço do custo total do projeto, evidenciando, portanto, a importância desse segmento no planejamento do projeto. Cabe ressaltar, entretanto, que de uma forma geral o custo absoluto total de uma turbina eólica *offshore* é cerca de 100% (águas rasas) a 200% (águas profundas) maior que uma turbina eólica *onshore* (STEHLY & BEITER, 2020).

Entre os projetos *offshore*, a maior diferença na proporção dos custos está na fundação e subestrutura, com os projetos em águas profundas apresentando 19% do custo enquanto em águas rasas esse custo é de 10%. A principal causa para isso é a própria natureza do segmento, pois a tecnologia para fundações em águas profundas é mais cara.

Em termos de capacidade instalada, a eólica *onshore*, ao final de 2018 possuía um total de aproximadamente 540 GW enquanto a *offshore* somente 23 GW (Figura 9).

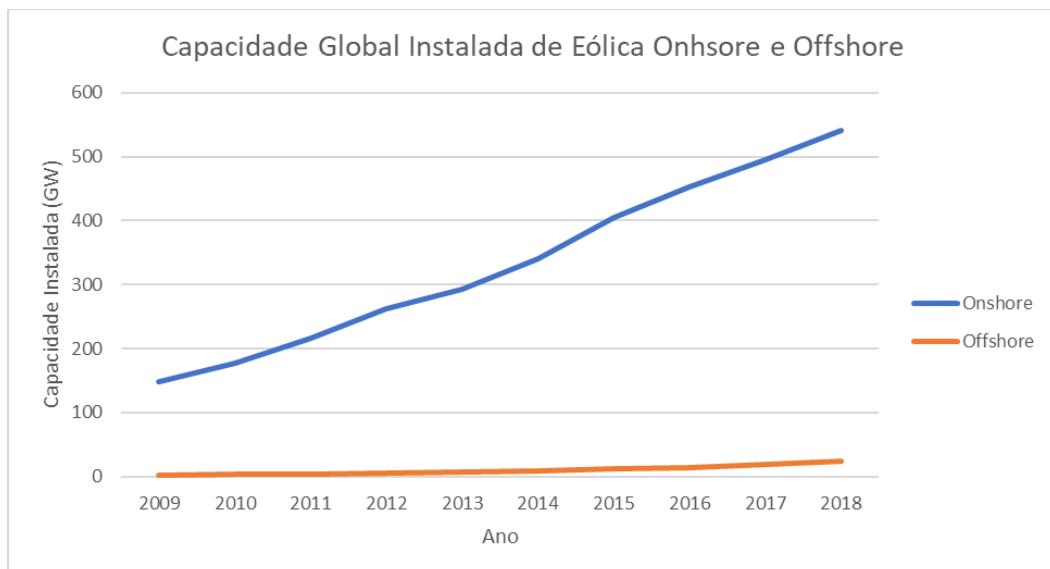


Figura 9 – Capacidade global instalada de eólica *onshore* e *offshore*. Fonte: Elaboração própria, adaptado de IRENA (2019a).

Comparando a capacidade instalada de eólica *onshore* (Figura 10) versus *offshore* (Figura 11) nota-se que a tecnologia *onshore* possui uma participação global maior, com projetos identificados em praticamente todas as regiões (África, Ásia, América Central e Caribe, Eurásia, Europa, Oriente Médio, América do Norte, Oceania e América do Sul), enquanto que no *offshore* somente três regiões (Ásia, Europa e América do Norte) possuem projetos operacionais.

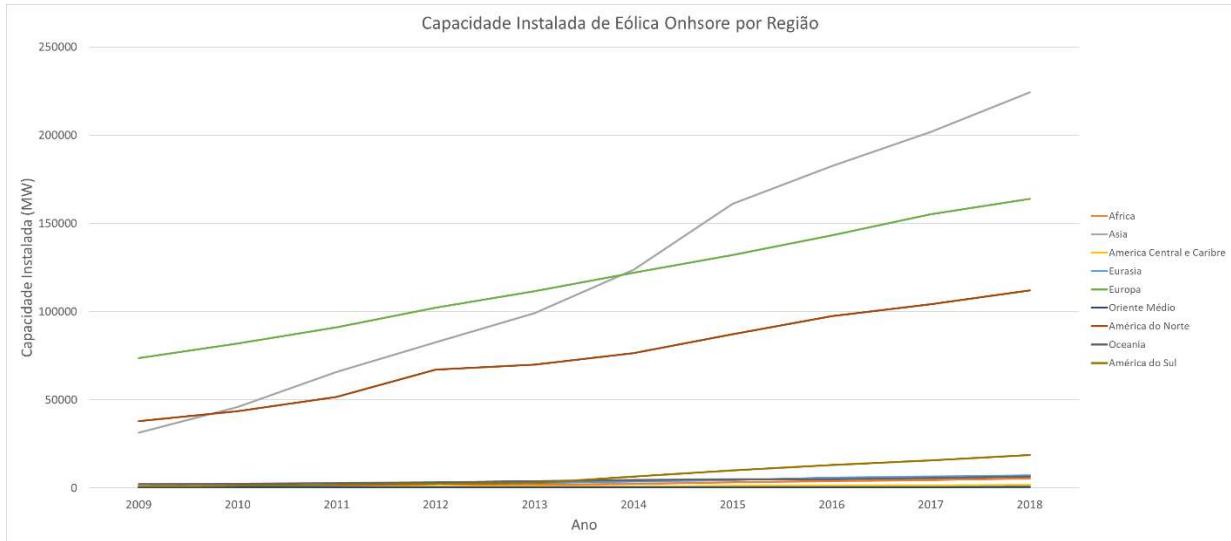


Figura 10 – Capacidade instalada de eólica *onshore* por região. Fonte: Elaboração própria, adaptado de IRENA (2019a).

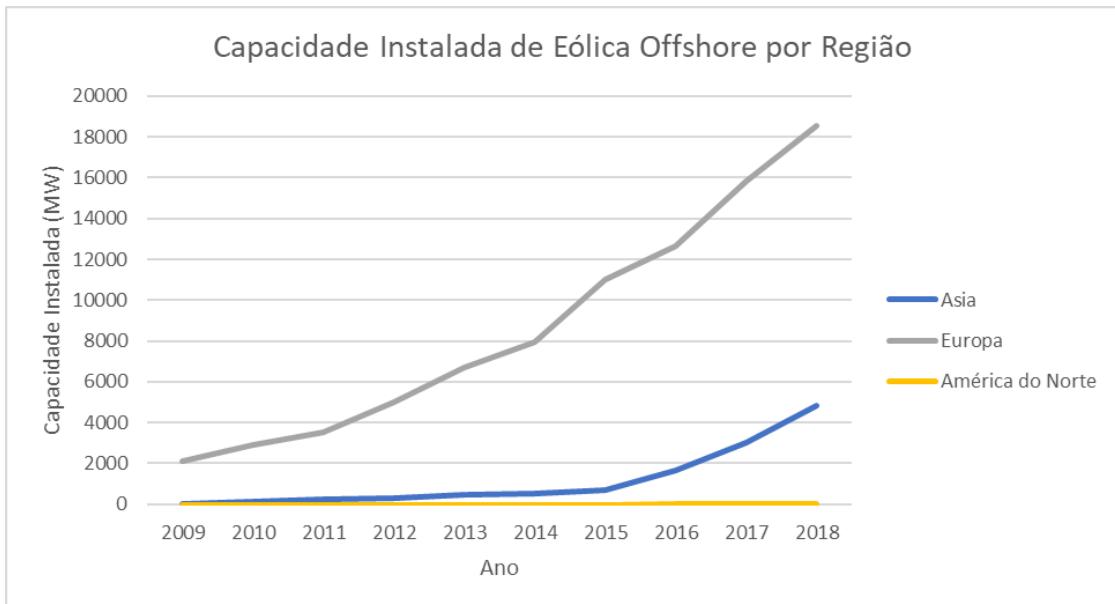


Figura 11 – Capacidade instalada de eólica *offshore* por região. Fonte: Elaboração própria, adaptado de IRENA (2019a).

Para a eólica *onshore*, destacam-se as regiões da Ásia, Europa e América do Norte. Até 2014, a Europa liderava em termos de capacidade instalada, graças aos esforços de países como Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido. Porém, muito em função da China, a Ásia é hoje a região com maior capacidade instalada, apresentando cerca de 22,4 GW.

Outra diferença que merece destaque ao comparar as duas indústrias é o processo e tecnologia de fundação utilizada. Enquanto que para parque eólicos *onshore* a

estrutura da fundação basicamente se mantém, alterando apenas os materiais e métodos de instalação (MORGAN & NTAMBAKWA, 2008), para parque eólicos offshore, aspectos geológicos específicos e profundidades (águas rasas menos de 30 metros; águas intermediárias entre 30 e 60 metros; águas profundas acima de 60 metros) devem ser considerados, pois impactam diretamente na configuração e método de instalação utilizado (KUMAR et al., 2016). As fundações podem ser classificadas de acordo com a sua configuração, como explicado a seguir (Figura 12).

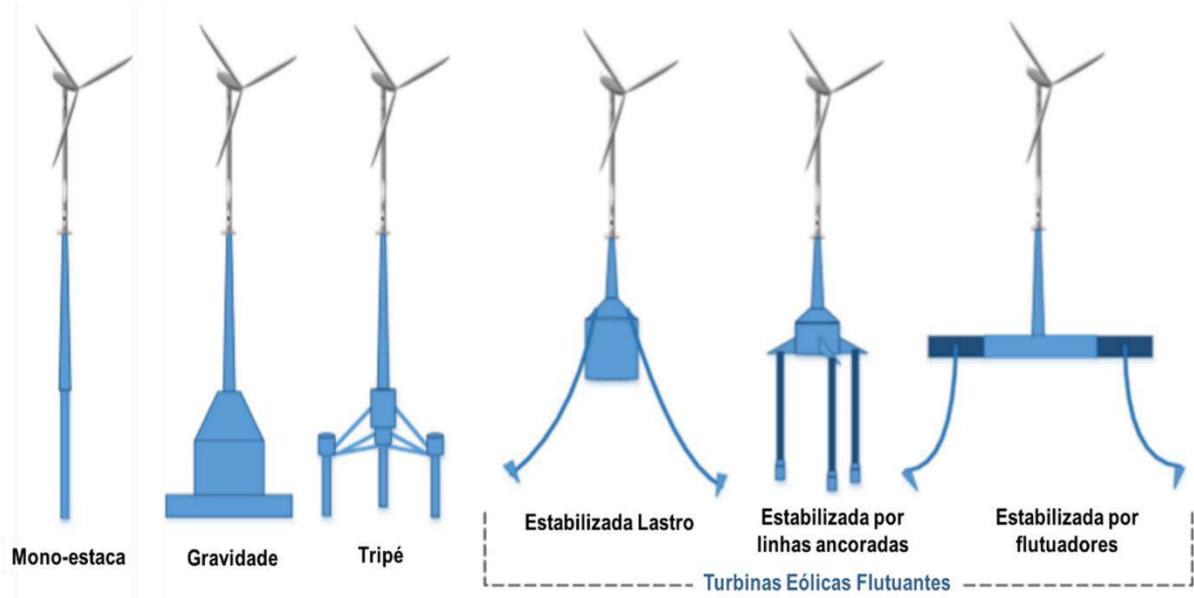


Figura 12 – Diferentes tipos de fundações para turbinas eólicas offshore.

Fonte: KUMAR et al. (2016).

- Mono-estaca: é o design mais simples, onde a torre, feita de cano de aço, é suportada pela estaca diretamente ou por uma peça de transição. A estaca pode ter até 6 metros em diâmetro, com uma espessura de 150 mm. Dependendo do tipo de leito marinho, a estaca é cravada utilizando grandes martelos mecânicos ou encaixada em cavidades pré-perfuradas. Possui baixo impacto ambiental e é o tipo de fundação mais comumente utilizada em parques eólicos offshore de águas rasas;
- Gravidade: esse tipo de fundação utiliza a própria gravidade para resistir a variação de cargas sofrida. São tipicamente utilizadas em locais onde mono-estacas não servem, como leitos rochosos, e geralmente feitos de concreto;
- Tripé: são tipicamente utilizados para limitar as deflexões das turbinas

eólicas. A estrutura pré-fabricada possui um formato triangular com canos de aço conectando as quinas. Cada quina possui uma estaca, que será cravada no solo. Normalmente o tripé e as estacas são montados no porto e transportados por uma balsa até o local. Uma vantagem desse tipo de fundação é que não exige nenhum tipo de preparação do solo (KURIAN et al., 2010);

- Turbinas eólicas flutuantes (UZUNOGLU et al., 2016):
 - Estabilizada por lastro: também conhecida como *spar-buoy* esse método utiliza um lastro para estabilizar a turbina, que está fixada no fundo por linhas de ancoragem e âncoras;
 - Estabilizada por linhas ancoradas: esse método, mais internacionalmente conhecido como TLP (*Tension-Leg-Platform*), combina uma base flutuante e uma base de estabilização tensionada por tendões, fixados no solo por estacas ou âncoras de gravidade;
 - Estabilizada por flutuadores: consiste em uma plataforma semissubmersível que flutua abaixo da linha do mar, protegendo e diminuindo o efeito de ação das ondas. São fixas ao fundo utilizando linhas de ancoragem e âncoras.

Destaca-se que a indústria de petróleo providenciou a base de informações atualmente aplicadas pela indústria de eólica *offshore*. Plataformas semissubmersíveis são utilizadas por empresas petroleiras desde a década de 1960 e o conceito de bases flutuantes estabilizadas por linhas ancoradas, tipo TLPs, foi desenvolvido nos anos 1970, com a primeira instalação nos anos 1980 no Mar do Norte. Estruturas tipo *Spar* foram originalmente projetadas pela indústria de O&G em 1990 para coletar informações oceanográficas.

4. ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

O primeiro projeto de energia eólica no Brasil foi inaugurado em junho de 1992, com a instalação de uma turbina de 75 kW no arquipélago de Fernando de Noronha, no estado de Pernambuco. Idealizado e administrado pelo Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a turbina com rotor de 17 m de diâmetro e torre com 23 m de altura, proporcionou uma economia de 70.000 litros de óleo diesel por ano, gerando eletricidade correspondente a 10% da energia gerada na ilha. Em 2001 uma segunda turbina entrou em operação, em um projeto realizado pelo CBEE (Centro Brasileiro de Energia Eólica) com colaboração do Laboratório Nacional da Dinamarca, financiado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). As duas turbinas, juntas, eram capazes de gerar até 25% da eletricidade consumida na ilha (ANEEL, 2005).

Após o projeto piloto em Fernando de Noronha, outros projetos de pequeno porte foram desenvolvidos ao longo dos anos 90. Em 1998 publicou-se o primeiro estudo de potencial eólico no Brasil, calculando o potencial dessa fonte na região Nordeste (Atlas Eólico da Região Nordeste). Em 2001, complementando o estudo de 1998, lançou-se o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, publicado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (Cresesb/Cepel), estimando o potencial nacional em 143 GW.

Entendendo o potencial da fonte eólica no Brasil e reconhecendo a necessidade de diversificar a matriz energética brasileira, especialmente após a crise do “apagão” em 2001, o Governo brasileiro adotou algumas medidas para não só garantir a segurança energética, como também a universalização do acesso à energia.

Em 2001, através da resolução no. 24, de julho de 2001, o governo federal criou o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), visando implementar 1.050 MW de geração de energia elétrica através da fonte eólica, até dezembro de 2003 (BRASIL, 2001). Porém, o fracasso desse programa levou a substituição do mesmo pelo PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas), criado em 2002 pelo Ministério de Minas e Energia (MME) através da lei 10.438. O principal objetivo era estimular a produção elétrica por fontes renováveis (solar, eólica, biomassa e hidrelétrica), contudo o programa também permitiu a fixação da indústria de componentes e turbinas eólicas no Brasil, exigindo conteúdo nacional para projetos

frutos desse programa (ALVES, 2010).

Outra medida importante, que influenciou diretamente o desenvolvimento da indústria eólica, foi a implementação do Novo Modelo do setor elétrico que, entre outras importantes contribuições para o setor energético brasileiro, retomou o planejamento do setor, institucionalizando a contratação regulada através de leilões (TOLMASQUIM, 2015).

O PROINFA, contudo, mostrou-se ineficiente (DUTRA & SZKLO, 2006) e atrasos na entrada de operação dos projetos contratados, falta de competitividade perante as hidro e termoelétricas, assim como o desconhecimento da variabilidade do vento ao longo do projeto, geraram resultados decepcionantes, como o primeiro LFA (Leilão de Fontes Alternativa) em 2007, onde nove empreendimentos eólicos habilitados não foram contratados (COSTA & PIEROBON, 2008).

Com isso, a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), criada a partir da Medida Provisória 145 de 11 de dezembro de 2003 e vinculada ao MME, com o objetivo de realizar estudos e pesquisas destinadas ao planejamento energético, realizou um estudo detalhado da fonte eólica que gerou um novo modelo de contrato, mitigando os riscos e incertezas dos projetos eólicos. O novo modelo permitia, por exemplo, que um ano de muito vento poderia compensar um ano com pouco vento.

Em dezembro de 2009, os resultados do novo modelo geram resultados durante o segundo LER (Leilão de Energia Renovável) no Brasil, onde 1.806 MW de energia eólica são contratados, representados por 71 empreendimentos, a um preço médio de venda de R\$ 148,33/MWh. Entre os anos de 2009 e 2019, cerca de 760 projetos eólicos foram comercializados em 21 leilões (Tabela 2).

Tabela 2 – Histórico dos resultados de energia eólica nos leilões, entre 2009 e 2019.

Tipo de Leilão	Título	Ano	Total Energia Eólica Instalada (MW)	Preço Médio* (R\$/MWh)	Quantidade de Projetos Eólicos
Energia de Reserva	LER	2009	1.805,7	148,33	71
Energia de Reserva	LER	2010	528,2	122,87	20
Fontes Alternativas	LFA	2010	1.519,6	132,98	50
Energia Nova	LEN A-3	2011	1.067,6	99,38	44
Energia de Reserva	LER	2011	861,1	99,58	34
Energia Nova	LEN A-5	2011	975,7	105,49	39
Energia Nova	LEN A-5	2012	281,9	87,98	10
Energia de Reserva	LER	2013	1.505,2	110,42	66
Energia Nova	LEN A-3	2013	867,6	124,45	39
Energia Nova	LEN A-5	2013	2.337,8	119,08	97
Energia Nova	LEN A-3	2014	551,0	130,05	21
Energia Nova	LEN A-5	2014	925,6	135,92	36
Energia de Reserva	LER	2014	769,1	142,31	31
Fontes Alternativas	LFA	2015	90,0	177,47	3
Energia Nova	LEN A-3	2015	538,8	181,09	19
Energia de Reserva	LER	2015	548,2	203,3	20
Energia Nova	LEN A-6	2017	1.386,6	189,45	49
Energia Nova	LEN A-4	2018	114,4	67,60	4
Energia Nova	LEN A-6	2018	1.250,7	90,22	48
Energia Nova	LEN A-4	2019	95,2	79,98	3
Energia Nova	LEN A-6	2019	1.592,7	98,33	56
TOTAL					760

*valores referentes a data de contratação

Fonte: Elaboração própria, adaptado de ANEEL (2020).

Basicamente três modalidades de leilões, até 2019, eram comercializadas:

- Leilão de Energia de Reserva (LER): esse formato de contratação foi criado para aumentar a segurança do fornecimento de energia elétrica para o SIN (Sistema Interligado Nacional), onde a energia é fornecida por usinas contratadas para esta finalidade;
- Leilão de Fontes Alternativas (LFA): o principal objetivo desse formato de leilão é aumentar a participação de fontes alternativas, como eólica, biomassa e PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) na matriz energética;
- Leilão de Energia Nova (LEN): nesse tipo de comercialização de energia, contrata-se usinas que serão construídas e entraram em operação dentro de 3 (A-3), 5 (A-5) ou 6 (A-6) anos (FILHO, 2019).

A Figura 13 mostra a quantidade total de projetos eólicos contratados por ano, entre 2009 e 2019. Nota-se que o ano com a maior contratação de projetos foi em 2013, onde ao todo 202 projetos foram comercializados. A partir de 2013, nota-se uma queda drástica na quantidade de projetos e em 2016 os leilões foram cancelados por causa da crise política e econômica, que reduziram a demanda elétrica no país (DIOGENES *et al.*, 2019).

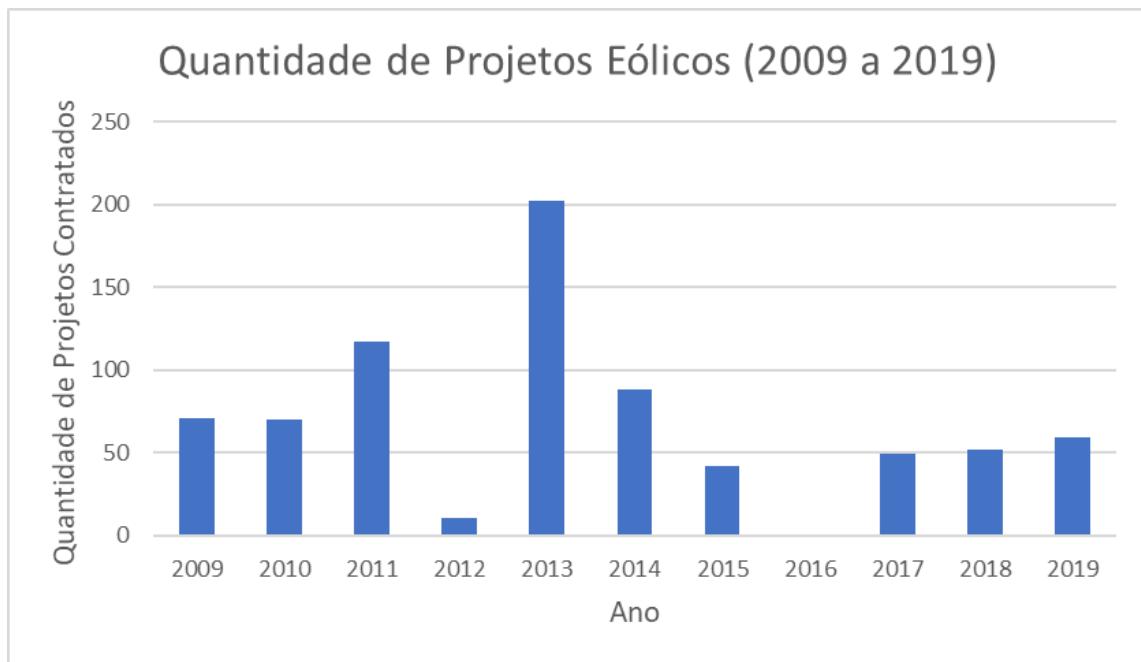


Figura 13 – Quantidade de Projetos Eólicos Contratados entre 2009 e 2019, Fonte: Elaboração própria, adaptado de ANEEL (2020).

Destaque também para o ano de 2012, sendo o ano com a menor quantidade de projetos, assim como de energia eólica instalada, evidenciado na Figura 14. Como destacado por MELO (2013) diversos fatores levaram a essa baixa, como o PIB de 1%, a polêmica Medida Provisória 579/2012, assim como o excesso de contrato no portfólio das distribuidoras.

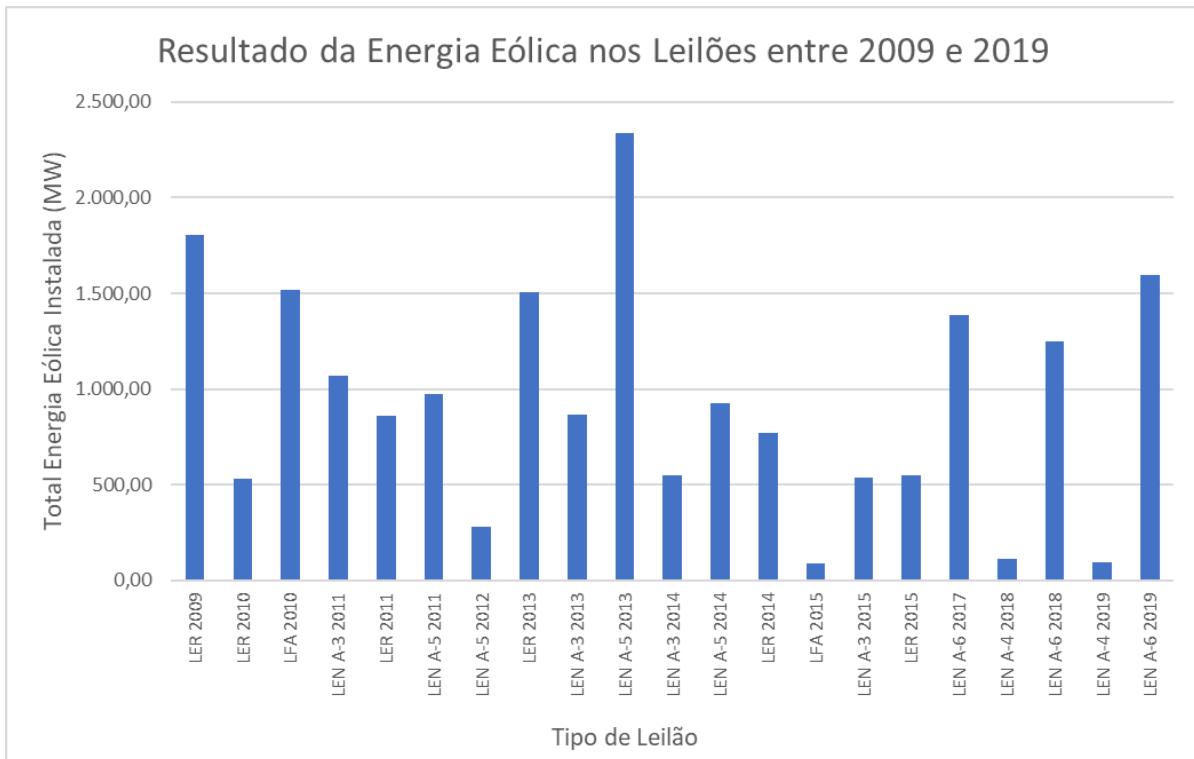


Figura 14 – Resultado da Energia Eólica nos Leilões entre 2009 e 2019. Fonte: Elaboração própria, Elaboração própria, adaptado de ANEEL (2020).

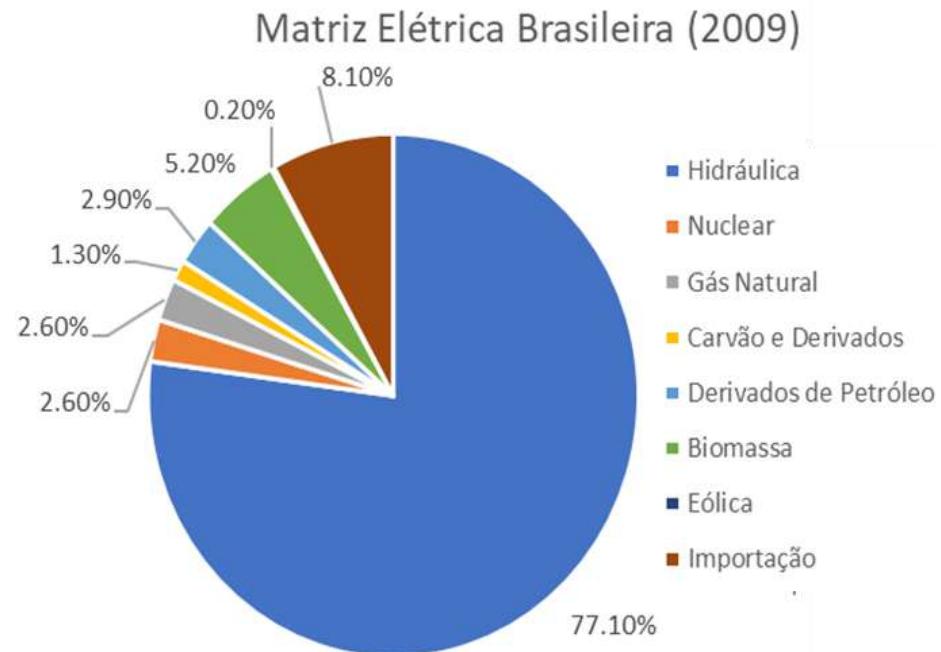
Analizando a Figura 14, de uma forma geral, percebe-se que a quantidade total de energia eólica instalada variou ao longo desses mais de 10 anos de indústria. Destaca-se o período entre 2014 e 2016, onde novamente a turbulência do contexto nacional em termos de política e economia geraram grande imprevisibilidade nos investimentos do país, resultando na elevação do risco país (FRACASSO, 2019).

A partir de 2017, a periodicidade e previsibilidade dos leilões retoma, restaurando a confiança do mercado eólico, com um valor médio no período entre 2018 e 2019 de aproximadamente R\$ 84,03. O leilão A-4/2018 registrou historicamente o menor preço (R\$ 67,60) porém, como apontado pelo estudo feito pela EPE, nesse leilão a contratação de energia ocorreu por apenas quatro empreendimentos, via um mesmo empreendedor, portanto esse resultado não é necessariamente representativo (EPE,

2018).

Comparando a participação da energia eólica na matriz elétrica brasileira, entre 2009 e 2019 (Figura 15) percebe-se que a participação da energia eólica na matriz passou de 0,2% em 2009 para 8,6%. De acordo com os dados da ABEEólica (Asssociação Brasileira de Energia Eólica), a capacidade eólica total ao final de 2019 foi de 15,45 GW, representando 9% da matriz elétrica, se equiparando a biomassa, tornando-se, portanto, a segunda fonte com maior geração elétrica (ABEEOLICA, 2019). Em 2017, o número de empregos diretos no setor eólico era de aproximadamente 180.000, com uma estimativa de que 15 postos de trabalho por MW instalado são gerados. As perspectivas futuras são otimistas também, com uma previsão de que até 2026 a cadeia eólica brasileira gere até 200.000 novos empregos, diretos e indiretos (ABDI, 2017).

a)



b)

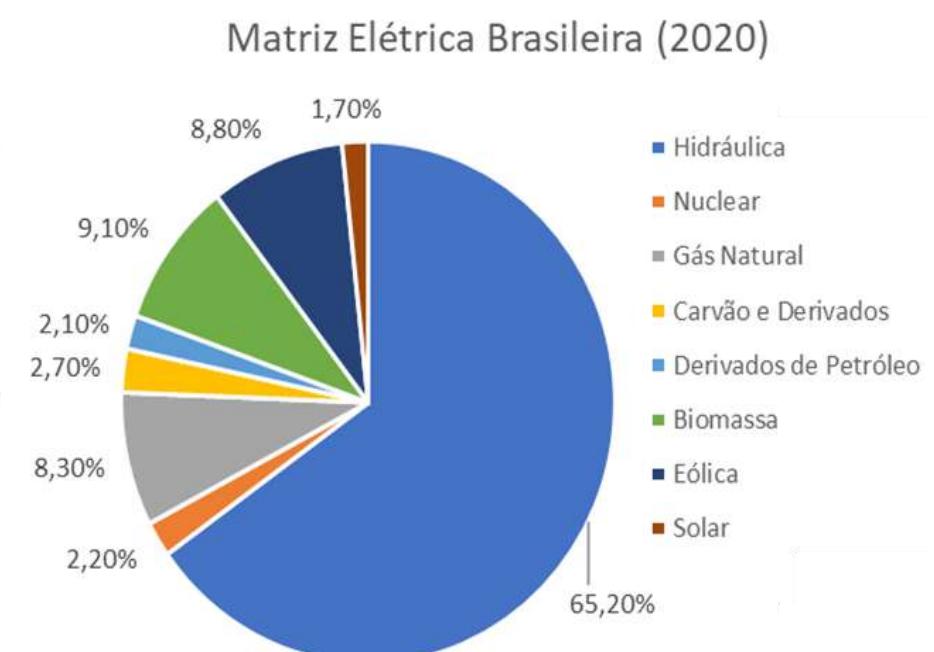


Figura 15 – Matriz Elétrica Brasileira em a) 2009 e b) 2020. Fonte: Elaboração própria, adaptado de EPE (2021).

Cabe destacar que o sucesso da fonte eólica nos leilões contou com um grande empenho do governo na sua fase inicial, isentando cobrança do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para aerogeradores, ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviço) em equipamentos e componentes eólicos, além da suspensão por cinco anos das contribuições de PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social) sobre equipamentos do parque eólico (TOLMASQUIM, 2015).

Com isso, até 2019, a energia eólica era considerada a segunda fonte de energia mais competitiva, perdendo apenas para as usinas hidrelétricas, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Preço Médio por Fonte (R\$/MWh).

Fonte	UHE ¹	Eólica	CGH ²	PCH ³	Biomassa	GN ⁴	Carvão	Óleo Comb.	GNL ⁵	Solar	Óleo Diesel
Preço Médio (R\$/MWh)	162,4	169,5	214,4	220,8	238,6	243,2	248,2	252,2	253,2	254,8	272,4

¹Usinas hidrelétricas; ²Central Geradora Hidrelétrica; ³Pequenas Centrais Hidrelétricas; ⁴Gás Natural; ⁵Gás Natural Liquefeito.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de CCEE (2019).

4.1. CADEIA PRODUTIVA DA EÓLICA ONSHORE

Parte do sucesso da indústria eólica no Brasil é fruto do rápido desenvolvimento da cadeia produtiva local, começando com um índice de nacionalização em torno de 60%, alcançando em território nacional 80% da fabricação de um aerogerador, conforme estipulado pelas regras de financiamento do Programa FINAME do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (SEBRAE, 2017).

Entende-se cadeia produtiva como o esforço envolvido para produzir e entregar um produto finalizado ou um serviço, mapeando o fluxo de materiais a partir de suas fontes variadas até o seu destino final. Dessa forma, é possível avaliar custos e eficiências na cadeia de fornecimento (FELLER *et al.*, 2006).

O levantamento feito pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) em 2014 e atualizado em 2017 mapeou a cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil, conforme demonstra a Figura 16. Ressalta-se que apenas aerogeradores com

capacidade maior que 1 MW foram considerados.

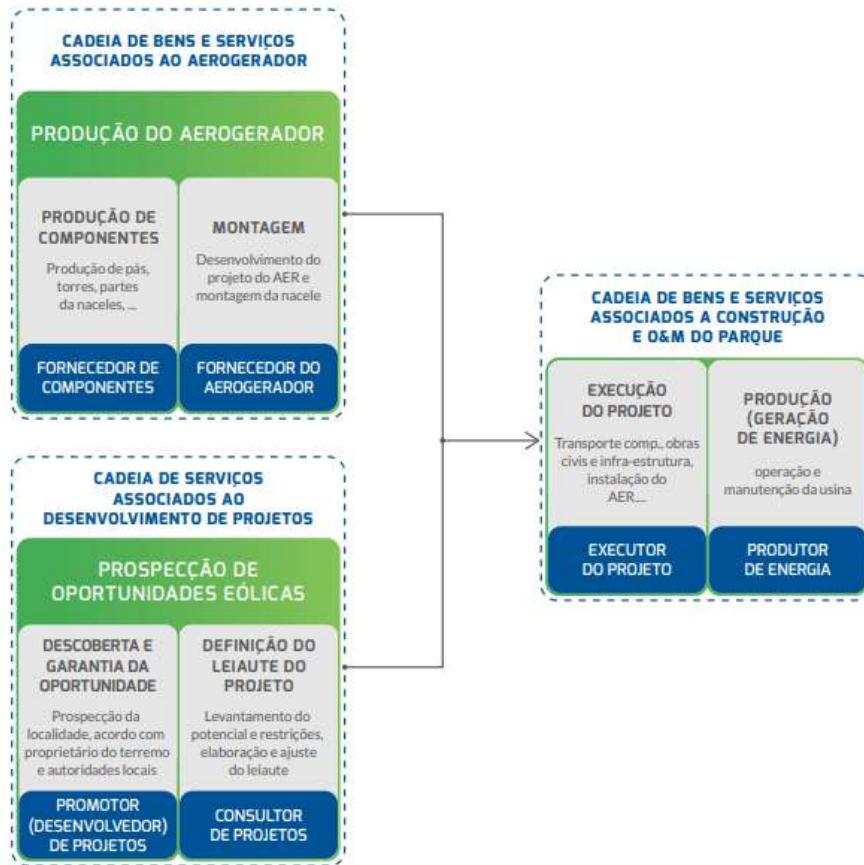


Figura 16 – Segmentação da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil. Fonte: ABDI (2017).

Devido as dificuldades destacadas pelo próprio estudo com o levantamento de dados e informações da cadeia produtiva completa, o foco desse estudo se manteve na cadeia de bens e serviços associados ao aerogerador.

O projeto identificou 131 fabricantes que envolvem as montadoras de aerogeradores, fabricação de componentes e subcomponentes, totalizando assim 77 itens distintos (**Error! Reference source not found.**). Cabe destacar que de 2014 para 2017 a ABDI registrou um aumento de 65% no número de fabricantes e 40% em itens.

Para a coleta de dados, a ABDI realizou pesquisas de campo, na forma de questionários e entrevistas, assim como pesquisas no site do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) através da seção de credenciamento de fornecedores. Dados também foram obtidos a partir da participação das empresas em eventos como o Brazil Wind Power e oficinas realizadas pela própria ABDI. A lista completa de empresas e itens que compõem a cadeia produtiva de aerogeradores

está

4.1.1. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

Uma das principais contribuições do levantamento feito pela ABDI é o mapeamento dos processos e etapas presente na cadeia eólica *onshore* brasileira, mas também o mapeamento geográfico dos mesmos. Com o objetivo de simplificar a verificação da distribuição geográfica, as análises serão conduzidas em torno dos grupos macro, destacados abaixo:

- **Montadoras de Aerogeradores** (Cubo e Nacele);
- **Fabricantes de Torre** (Torres de Aço e Torres de Concreto);
- **Fabricantes de Pás;**
- **Fabricantes de Subcomponentes para Torres** (Fabricantes Nacionais de Subcomponentes e Insumos para Torres de Aço, Fabricantes Nacionais de Subcomponentes e Insumos para Torres de Concreto e Fabricantes Nacionais de Elementos Internos das Torres);
- **Fabricantes de Subcomponentes para o Rotor, Pás e Cubo** (Fabricantes Nacionais de Elementos e Insumos para Pás, Fabricantes Nacionais de Subcomponentes do Cubo e Fabricantes Nacionais de Subcomponentes do Rotor – Sistema de Passo);
- **Fabricantes de Subcomponentes da Nacele** (Fabricantes Nacionais de Elementos Estruturais da Nacele, Fabricantes Nacionais do Sistema de Yaw, Fabricantes Nacionais de Geradores-Aerogeradores com Caixa de Engrenagem, Fabricantes Nacionais de Subcomponentes Específicos para Aerogeradores sem Caixa de Engrenagem, Fabricantes Nacionais da Carenagem da Nacele, Fabricantes Nacionais do Sistema de Travamento-Rotor Lock, Fabricantes Nacionais do Conversor, Fabricantes Nacionais de Transformadores, Fabricantes Nacionais de Acessórios, Cabos e Barramentos, Fabricantes Nacionais de Subcomponentes do Eixo Principal, Fornecedores Nacionais de Serviços de Usinagem e Fabricantes Nacionais de Outros Subcomponentes da Nacele).

A Tabela 4 – Distribuição regional (%) dos fabricantes de componentes e

subcomponentes da indústria eólica *onshore* no Brasil. resume a presença, em porcentagem, dos fabricantes de componentes e subcomponentes da indústria eólica *onshore* no Brasil para cada uma das cinco regiões no Brasil (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul).

Tabela 4 – Distribuição regional (%) dos fabricantes de componentes e subcomponentes da indústria eólica *onshore* no Brasil.

Item	Quantidade Total Fabricantes	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Montadoras	10	0%	70%	0%	10%	20%
Torre	15	0%	60%	0%	13%	27%
Pás	5	0%	80%	0%	20%	0%
Subcomponentes p/ Torres	52	0%	15%	0%	73%	12%
Subcomponentes p/ Rotor, Pás e Cubo	57	0%	0%	0%	93%	7%
Subcomponentes de Nacelle	98	0%	4%	0%	78%	18%

Fonte: Elaboração própria, adaptado de ABDI (2017).

Foram identificados dez (10) locais distintos de montadoras de aerogeradores. Como demonstrado na Tabela 4 – Distribuição regional (%) dos fabricantes de componentes e subcomponentes da indústria eólica *onshore* no Brasil. , 70% das montadoras estão localizados no Nordeste (Bahia, Ceará e Pernambuco), 20% localizados no Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e 10% no Sudeste (São Paulo).

No caso das torres, quinze (15) fabricantes foram identificados, com uma distribuição semelhante ao das montadoras, com 60% dos fabricantes localizados no Nordeste (Bahia, Ceará e Rio Grande do Norte), 27% no Sul (Paraná e Rio Grande do Sul) e 13% no Sudeste (São Paulo).

Apenas cinco (5) fabricantes de pás foram identificados no Brasil. A Tabela 4 – Distribuição regional (%) dos fabricantes de componentes e subcomponentes da indústria eólica *onshore* no Brasil. evidencia a predominância da região Nordeste (Bahia, Ceará e Pernambuco) na localização dos fabricantes de pás, com 80% de

representatividade e somente 20% no Sudeste (São Paulo).

Avaliando a distribuição regional dos fabricantes de subcomponentes para torres, comparando aos itens anteriores, percebe-se uma diferença de padrão. Ao todo, 52 fabricantes foram identificados e nota-se uma predominância clara da região Sudeste (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro), com 73% dos fabricantes, 15% no Nordeste (Ceará e Pernambuco) e 12% na região Sul (Santa Catarina).

Para o caso dos fabricantes de subcomponentes para rotor, pás e cubo, ao todo 57 fabricantes foram identificados. Seguindo o padrão dos fabricantes de subcomponentes para torres, há uma predominância ainda mais evidente dos fabricantes na região Sudeste (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro) com 93% dos fabricantes e apenas 7% localizados na região Sul (Rio Grande do Sul).

Por fim, os fabricantes de subcomponentes de nacelle apresentaram a maior quantidade de fabricantes mapeados pela ABDI, com 98 representantes. Novamente, percebe-se uma predominância clara da presença desses fabricantes na região Sudeste (São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo), com 78% de presença. A região Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) conta com 18% dos fabricantes e a região Nordeste (Rio Grande do Norte e Bahia) com 4%.

Ao analisar a distribuição dos fabricantes de componentes e subcomponentes, evidencia-se um padrão claro. As montadoras e os fabricantes das principais peças de um aerogerador (pás, torres, cubo e nacelle) possuem uma presença muito mais acentuada na região Nordeste, enquanto os subcomponentes estão mais concentrados na região Sudeste. Um possível motivo para isso é a própria dominância da região Nordeste no setor eólico, pois é a região que apresenta o maior potencial eólico no Brasil (Tabela 5), consequentemente também a região com a maior quantidade de parques eólicos instalados (Figura 21) e em construção (OLIVEIRA, 2018).

Tabela 5 – Potencial eólico estimado para as diferentes regiões no Brasil para vento médio anual de 7 m/s a 50 m de altura.

Região	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Potência Instalável (GW)	12,8	75,0	3,1	29,7	22,8

Fonte: CEPEL (2001).

Região	2018		2019		"% de crescimento"
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
SUDESTE	0,05	0,1%	0,06	0,1%	17%
SUL	5,75	12,4%	5,62	10,3%	-2%
NORDESTE	39,69	85,4%	47,13	86,7%	19%
NORTE	0,99	2,1%	1,55	2,9%	57%
Total	46,47	100%	54,37	100%	17,0%

Figura 17 – Geração (TWh) e representatividade da fonte eólica por Região no Brasil.

Fonte: ABEEÓLICA (2019).

De acordo com dados da ABEEOLICA (2019), ao final de 2019 haviam 620 parques eólicos no Brasil, distribuídos em 12 estados (Rio Grande do Norte, Bahia, Ceará, Rio Grande do Sul, Piauí, Pernambuco, Maranhão, Santa Catarina, Pernambuco, Sergipe, Rio de Janeiro e Paraná). Como mencionado, a região de Nordeste possui a maior representatividade de parques eólicos (86,7%) e lidera em termos de geração da fonte eólica, com os estados da Bahia (16,83 TWh), Rio Grande do Norte (14,09 TWh), Piauí (6,34 TWh) e Ceará (6,02 TWh).

Com isso, justifica-se a maior concentração dos fabricantes nessa região, especialmente dos componentes de maior porte, pois como apontado pelo estudo da ABDI (2017), os itens críticos para transporte são componentes como pás, nacelas e torres que, devido ao peso excessivo ou dimensão, necessitam de equipe de batedores, licenças específicas, assim como transporte em horários alternativos pré-estabelecidos.

5. EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL

O interesse, tanto por parte da indústria quanto da academia, sobre o tema “energia eólica offshore” no Brasil tem crescido nos últimos anos. Em março de 2018 a Petrobrás, junto com a COPPE/UFRJ e a SUT (*Society for Underwater Technology*) promoveram um seminário específico sobre energia eólica offshore, reunindo especialistas britânicos para debater tecnologias de geração eólica offshore e apresentar o panorama da indústria no setor, assim como divulgar as iniciativas da Petrobrás na área (COPPE, 2020).

Em 2019 criou-se a ABEMAR – Associação Brasileira de Eólicas Marítimas, composta por representantes do setor privado com o objetivo de acelerar a implementação da indústria e parques eólicos marítimos no Brasil, defendendo também os interesses da produção independente de energia por meio da livre iniciativa (EPBR, 2020). Uma das principais causas em que a ABEMAR se engajou foi a mobilização contra o Projeto de Lei 11247/2018, que “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 elétrica a partir da fonte solar fotovoltaica” (BRASIL, 2017). Além disso, o PL propõe pagamentos mensais ao governo federal, estados e municípios em função da ocupação da área a ser explorada, onde 45% dos recursos captados iriam a estados, 45% aos municípios, 3% para o MMA (Ministério do Meio Ambiente), 3% para o MME (Ministério de Minas e Energia) e os 4% restantes para o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT).

De acordo com o atual presidente do conselho de administração da ABEMAR, Marcello Storrer, o PL 11247/2018 pode estatizar a iniciativa de estudar, desenvolver e escolher áreas no mar, inviabilizando projetos existentes que teriam que se adequar à nova regulamentação. O mesmo defende que já existe um regime de autorização para a produção independente de energia elétrica de fonte eólica e cessão onerosa de uso de imóveis demarcados no mar e homologados pela SPU (Secretaria do Patrimônio da União). O texto do PL 11247/2018 foi aprovado no Senado e chegou à Câmara, porém até 2020 estava sendo avaliado pela Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS).

Em 2019 três eventos importantes aconteceram, trazendo o assunto de eólica offshore para o setor privado, público e acadêmico. O primeiro foi o workshop realizado pela EPE intitulado “Energia Eólica Marítima”, no dia 2 de abril, que contou com o apoio da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável. Cerca de 100 participantes, representando a academia, associações, agências de cooperação internacional, instituições governamentais, pesquisadores, consultores e empreendedores, apresentaram e debateram os resultados preliminares dos estudos de potencial eólico marítimo, desenvolvidos pela EPE.

O segundo evento foi a sétima edição do “*UK & Brazil: Partners in Energy*” realizado no Rio de Janeiro, entre os dias 3 e 5 de junho, onde um dos painéis foi dedicado às lições aprendidas do Reino Unido em relação ao desenvolvimento da indústria eólica offshore no país (EPE, 2020c). O terceiro evento foi o “1º Workshop de Energia Eólica Offshore e Energias Renováveis do Oceano”, organizado pela SOBENA (Sociedade Brasileira de Engenharia Naval) e COPPE/UFRJ, no dia 5 de junho. O evento discutiu questões relacionadas ao futuro da energia eólica offshore e energias renováveis no oceano, assim como legislações, regras e políticas como parte do planejamento da energia renovável no mar, além dos desafios técnicos e soluções utilizadas em locais como o Reino Unido. O evento contou com a presença de empresas e instituições como a EPE, ANEEL, IBAMA, INEOF (Instituto Nacional de Energias Oceânicas e Fluviais), ABS, Petrobrás, SBM e Equinor.

Destaca-se em 2019 também o Workshop Internacional sobre Avaliação de Impactos Ambientais de Complexos Eólicos Offshore realizado pelo Ibama, nos dias 2 e 3 de julho, em Brasília (DF). O objetivo era receber contribuições de especialistas da Europa e do Brasil para aprimorar tecnicamente o Licenciamento Federal de Complexos Eólicos Offshore. O resultado desse evento foi a publicação do relatório “Complexos Eólicos Offshore: Estudo Sobre Avaliação de Impactos”, elaborado pelo IBAMA (IBAMA, 2020).

5.1. POTENCIAL EÓLICO OFFSHORE NO BRASIL

Um dos primeiros estudos no Brasil que avaliou o potencial eólico offshore para toda a margem brasileira, foi realizada por ORTIZ & KAMPEL em 2011. Utilizando dados de satélite QuikSCAT, no período entre 1999 e 2009, estimou-se o potencial

energético *offshore* para diferentes intervalos batimétricos e distâncias na costa, dentro da ZEE¹. Os resultados mostraram que a área *offshore* possui um potencial de até 1.780 GW, conforme demonstrado na Figura 18.

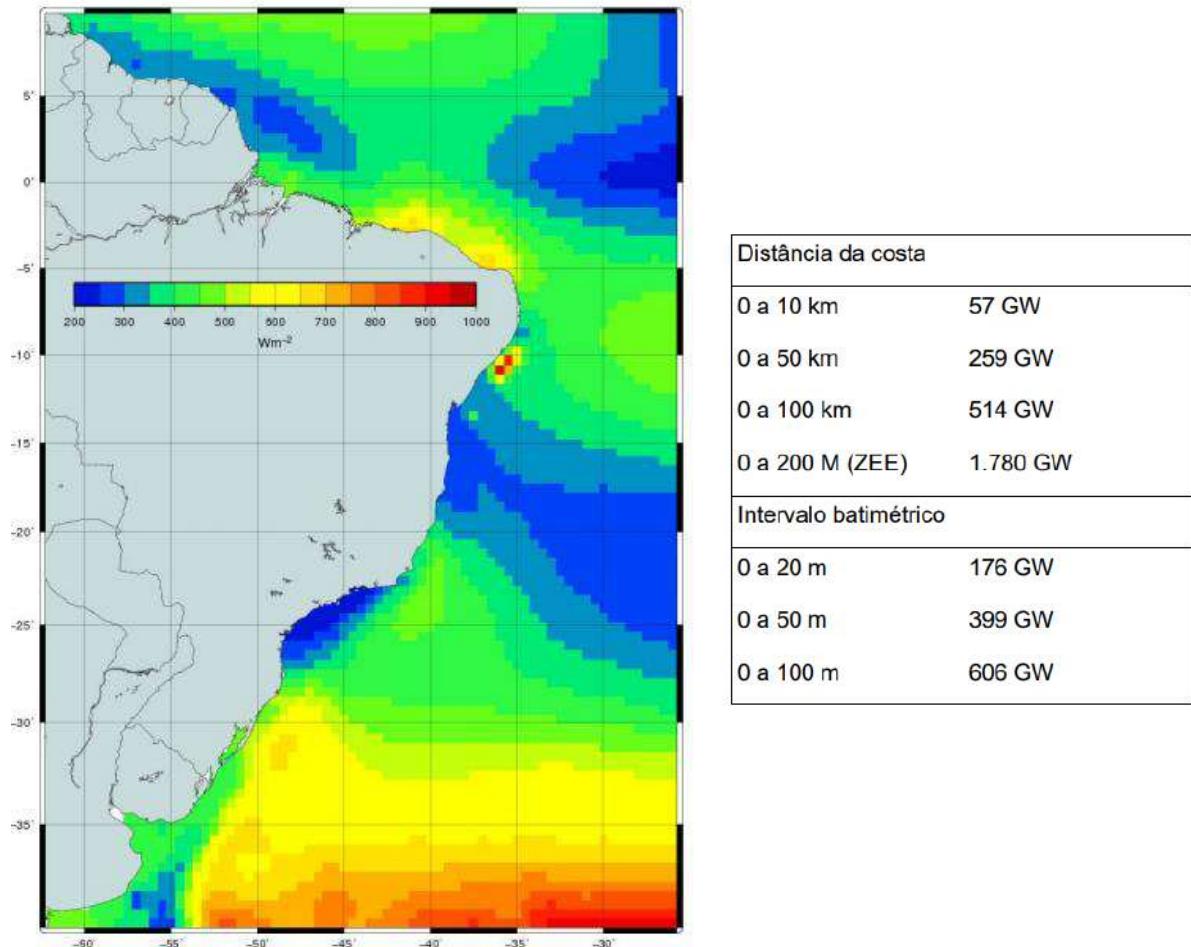


Figura 18 – Densidade média de potência eólica no Atlântico sudoeste e o potencial de geração de energia eólica em diferentes regiões da margem brasileira. Fonte: ORTIZ & KAMPEL (2011).

Dois estudos mais recentes merecem destaque também. O primeiro é o levantamento feito por SILVA (2019) em que o potencial eólico *offshore* no Brasil foi calculado, utilizando velocidades médias anuais de vento *offshore* em todo o litoral brasileiro, medidos a 100 metros de altura, identificando também a localização de áreas nobres através de uma análise multicritério, avaliando o potencial teórico (1.687,6 GW), técnico (1.064,2 GW) e socioambiental (330,5 GW). Com os resultados, uma análise de decisão multicritério (ADMC) foi feita, possibilitando o ranqueamento

¹ Zona Econômica Exclusiva – definida como a zona situada além do Mar Territorial, se estendendo até 200 milhas náuticas das linhas de base que definem a largura do Mar Territorial (SOUZA, 1999).

de dez áreas preferenciais no litoral brasileiro. Como demonstrado na Figura 19, a grande maioria das áreas está localizada no Nordeste, com destaque para o Ceará, Piauí e Maranhão, tendo ocorrência também no litoral Sul do país, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

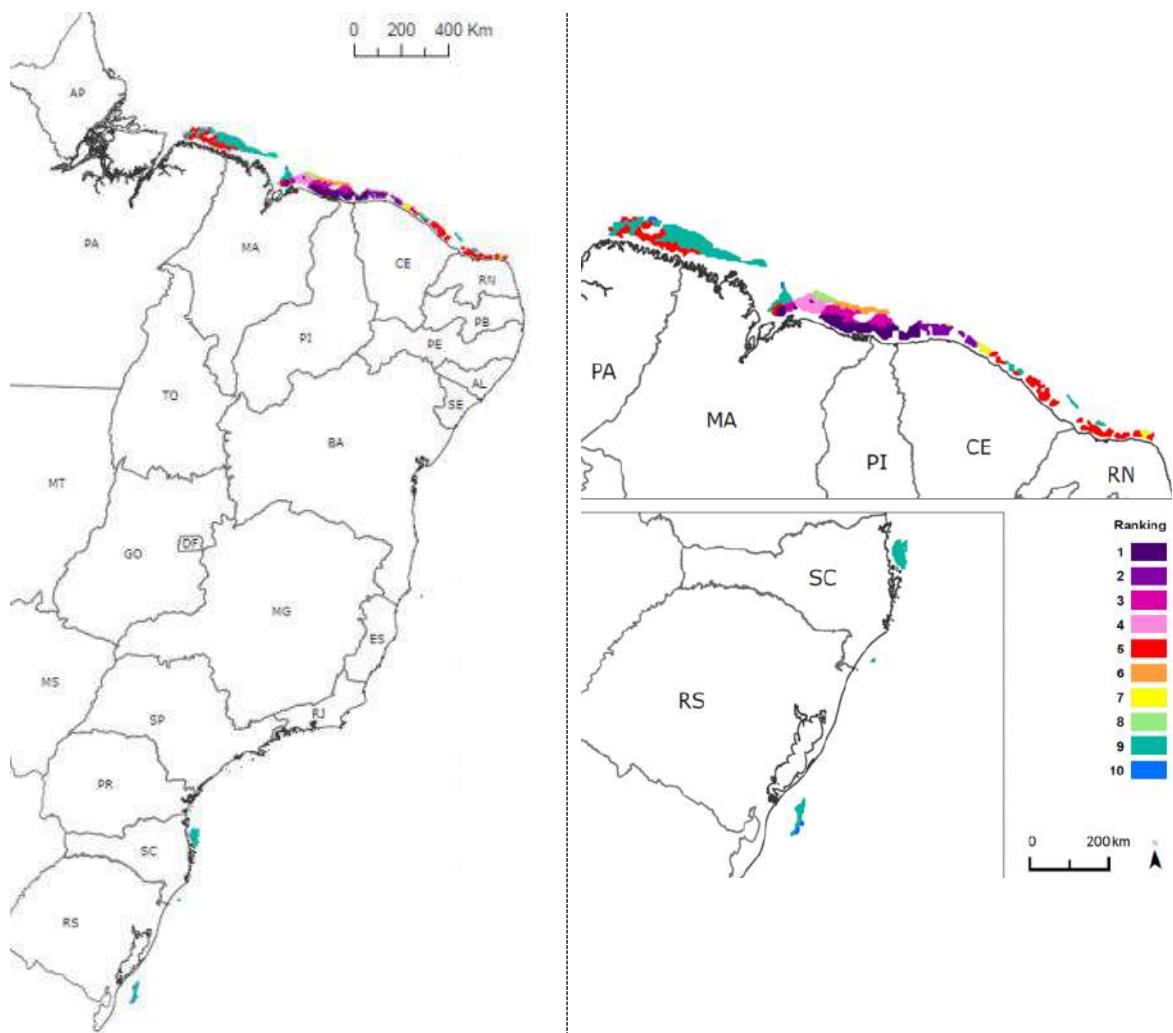


Figura 19 – Ranking das áreas preferenciais, com destaque para o Nordeste e o Sul do Brasil.

Fonte: SILVA (2019).

O estudo realizado por SILVA (2019) foi pioneiro no Brasil, pois considerou limitações técnicas, como: profundidade máxima de implementação considerando que a tecnologia de turbina flutuantes ainda não está madura para regiões acima de 1.000 metros de profundidade; velocidade mínima do vento de 7 m/s que viabiliza a geração *offshore*. As limitações socioambientais foram ranqueadas em grau de importância também, excluindo das análises áreas de Unidades de Conservação, Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade de Importância Extremamente Alta e Áreas da Zona Costeira do Brasil Prioritárias para a Conservação (extrema, muito alta

e alta). Para as análises sociais, considerou-se o impacto visual (distância mínima de 8 km da costa), áreas de pesca e uma área de exclusão de 500 metros de estruturas como plataformas de petróleo e dutos submarinos. Devido à dificuldade em obtenção dos dados, critérios como rotas de navios e aviões, assim como áreas militares, não foram consideradas na análise.

O segundo estudo recente de destaque, realizado por TAVARES *et al.* (2020), avaliou o potencial técnico de eólica *offshore* para a região Sudeste e Sul do Brasil. Dados *in-situ* de quatro boias meteoceanográficas localizadas ao longo da costa sudeste-sul do Brasil foram utilizadas, no período entre 2011 e 2018, obtidas a partir do projeto PNBOIA e os dados de vento foram extrapolados para a altura do hub da turbina (100 metros de altura). A simulação considerou turbinas com 6 MW de capacidade e um rotor com 155 metros de diâmetro. Excluiu-se da análise regiões fora da ZEE, assim como áreas com menos de 18 km de distância da costa, áreas com batimetria acima de 1.000 metros de profundidade, áreas com vento médio abaixo de 7 m/s e áreas de Proteção Ambiental (APA). Os resultados, resumidos na Tabela 6, revelam que a região Sudeste possui uma área utilizável de 112.196 km², podendo receber cerca de 56.098 turbinas, com uma capacidade total de 337 GW. A região Sul possui uma área utilizável de 159.316 km², podendo comportar 79.658 turbinas, com uma capacidade total de 478 GW. Ao todo, a região Sudeste-Sul possui uma área total de 271.512 km², comportando 135.756 turbinas com uma capacidade total de 815 GW.

Tabela 6 – Área aproveitável, quantidade de turbinas e capacidade para as regiões Sudeste e Sul.

Região	Área (km ²)	Quantidade de Turbinas	Capacidade (GW)
Sudeste	112.196	56.098	337
Sul	159.316	79.658	478
Total	271.512	135.756	815

Fonte: Elaboração própria, adaptado de TAVARES *et al.* (2020).

A EPE, em seu estudo de *Roadmap* da Eólica *Offshore* no Brasil, também avaliou o potencial eólico no Brasil, considerando ventos acima de 7 m/s e áreas dentro da ZEE. Diferente dos outros estudos citados, o da EPE não excluiu nenhuma área baseada em questões ambientais ou técnicas, como limitação de instalação de turbinas em áreas com mais de 1.000 metros de profundidade ou área de proteção

ambiental. De qualquer forma, o estudo também contribuiu para o maior conhecimento do potencial eólico *offshore* brasileiro, providenciando informações fundamentais para o planejamento e desenvolvimento da indústria no Brasil. A Tabela 7 resume os resultados dos potenciais eólicos para as regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Sul.

Tabela 7 – Área aproveitável considerando regiões até 100 metros de profundidade.

Região	Área Aproveitável (km²) até 100 m de profundidade	Potencial (GW)
Norte	64.734	243
Nordeste	108.409	407
Sudeste	32.360	83
Sul	77.351	202

Fonte: Elaboração própria, adaptado de EPE (2020).

Apesar das diferenças entre os estudos, todos eles apontam para um potencial eólico *offshore* promissor no Brasil. A participação da academia e de projetos de P&D são fundamentais para o desenvolvimento da indústria, permitindo mapear não só as áreas com maior potencial, mas assim como desenvolver toda a estrutura de suporte e cadeia produtiva para tornar esses projetos economicamente viáveis.

5.2. PROJETOS EÓLICOS OFFSHORE NO BRASIL

O primeiro projeto eólico *offshore* no Brasil foi o Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I, inicialmente protocolado em 2003 pela Gerência Regional do Patrimônio da União do Estado de Ceará, com abertura de licenciamento ambiental no IBAMA em 2004. Porém, por falta de movimentação, o processo foi arquivado (EPE, 2020). Até o final de 2019, e de acordo com o mapeamento feito pela EPE, em seu estudo “Roadmap Eólica Offshore no Brasil”, haviam seis projetos no Brasil, todos em fase de licenciamento prévio, aguardando o processo de licenciamento ambiental (EPE, 2020). Em Agosto de 2020, a Equinor iniciou o processo de licenciamento dos Parques Eólicos Offshore Aracatu I e Aracatu II, no Rio de Janeiro e Espírito Santo, respectivamente. Os empreendimentos serão detalhados a seguir, representados na Figura 20 e resumidos na Tabela 8.



Figura 20 – Localização aproximada dos Projetos Eólicos Offshore no Brasil. Fonte: elaboração própria.

Tabela 8 – Principais características dos Projetos de Eólica Offshore no Brasil.

Projeto	Localização	Capacidade	Empresa	Ano LA*
Caucaia	Ceará	310 MW (48 aerogeradores)	Bi Energia	2016
CEMAB I	Ceará	400 MW (50 aerogeradores)	Eólica Brasil	2017
PB Piloto	Bacia Potiguar (RN)	5 MW (1 aerogerador)	Petrobrás	2018
Jangada	Ceará	3 GW (200 aerogeradores)	Neoenergia	2019
Maravilha	Rio de Janeiro	3 GW (200 aerogeradores)	Neoenergia	2019
Aracatu I	Rio de Janeiro	2 GW (160 aerogeradores)	Equinor	2020
Aracatu II	Espírito Santo	2 GW (160 aerogeradores)	Equinor	2020
Águas Claras	Rio Grande do Sul	3 GW (200 aerogeradores)	Neoenergia	2019

*Licenciamento Ambiental

Fonte: Elaboração própria.

5.2.1. PARQUE EÓLICO OFFSHORE CAUCAIA

Localizado na área litorânea do município de Caucaia, no estado do Ceará, esse parque terá uma potência total de 310 MW, formado por 48 aerogeradores de 6 MW de potência e um trecho semi-offshore formado por 11 aerogeradores de 2 MW de potência construídos na extremidade dos molhes (Figura 21). Contará também com uma subestação marítima, 4,5 km de linha de transmissão (LT) submarina, 25,5 km de LT aérea, ambos de 230 kV, conectados a SE Cauípe. A área total do parque é equivalente a 6,700 hectares e o projeto será administrado pela Bi Energia Ltda.

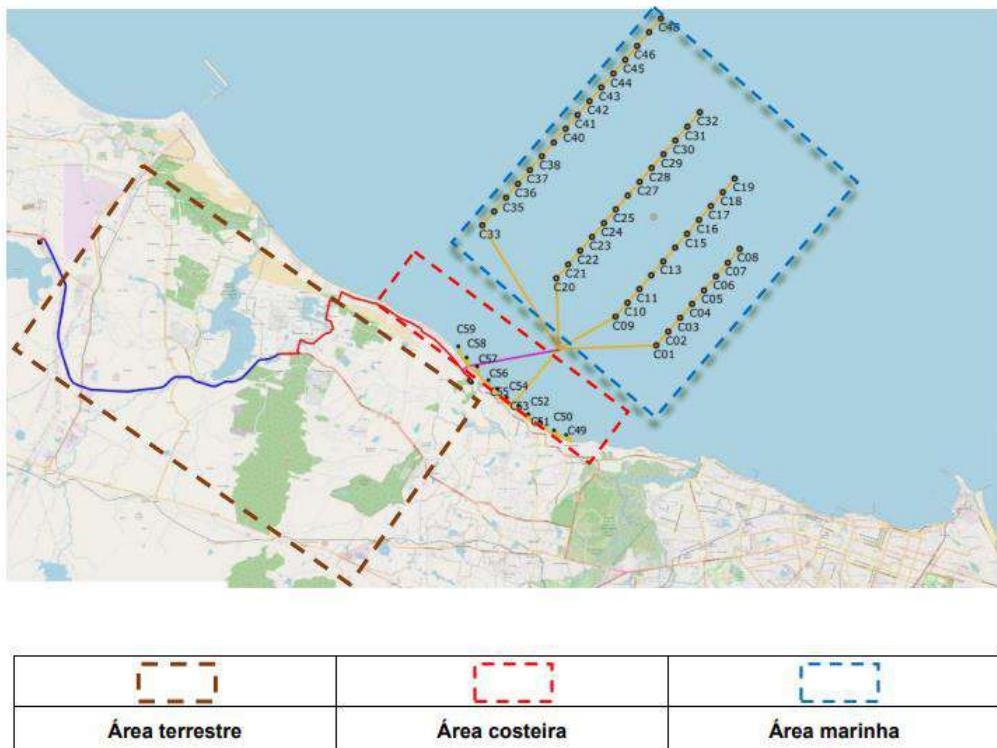


Figura 21 – Layout do Parque Eólico Offshore Caucaia, Fonte: IBAMA (2016).

De acordo com os dados do projeto apresentados pela empresa (IBAMA, 2016), estima-se para a região uma velocidade constante do vento de aproximadamente 8,5 m/s, medidos à 100 metros de altura, representando um valor de produção de mais de 4500 horas/ano e um fator de capacidade superior a 60%. Sinaliza-se no mesmo estudo o interesse em utilizar o Porto de Pecém devido à proximidade e por ser considerada a única alternativa regional portuária internacionalmente competitiva.

5.2.2. COMPLEXO EÓLICO MARÍTIMO ASA BRANCA I

Localizado no litoral do município de Amontoada, no estado do Ceará, o projeto pioneiro Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I (CEMAB I) contará com dez parques eólicos e um total de 50 aerogeradores, cada um com 8 MW de potência unitária, totalizando assim 400 MW de potência total (Figura 22).

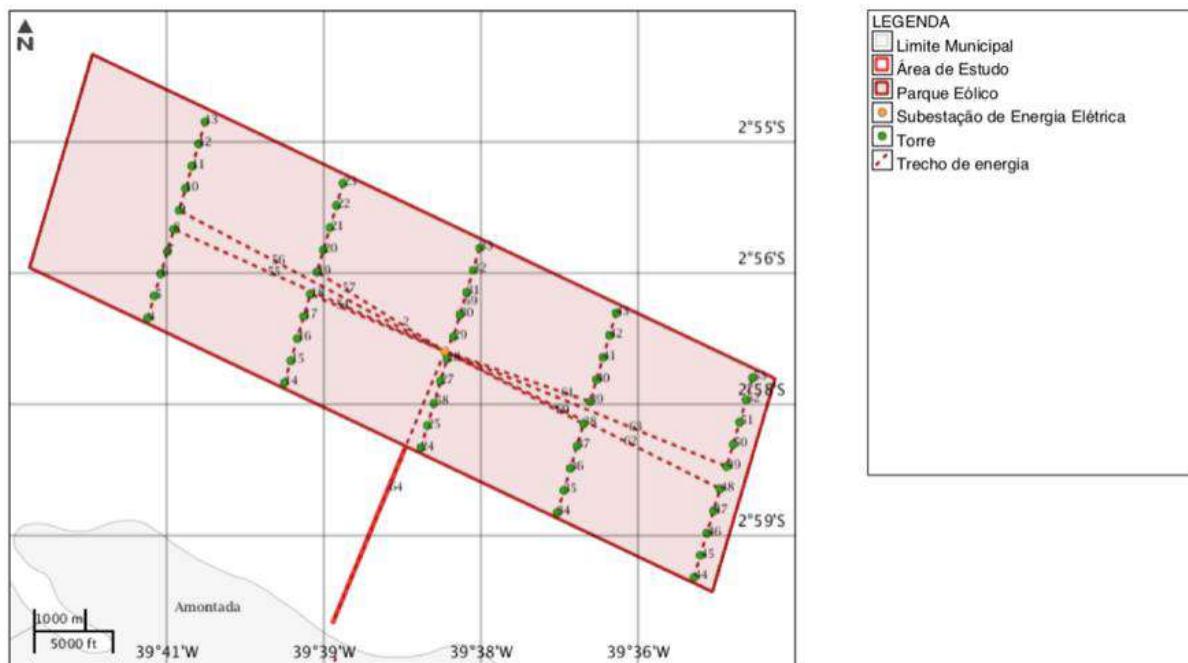


Figura 22 – Layout do Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I. Fonte: IBAMA (2017).

A área total do complexo é de 7,224.33 hectares, com uma profundidade variando entre 7 e 12 metros, aproximadamente a 8 km da costa. Será instalado também uma subestação marítima coletora, um pátio de transição mar-terra para os cabos, que serão conectados a SE Pecém II. A extensão da LT submarina será de 6,54 km e a LT aérea de 116,68 km, ambos de 230 kV. O Porto de Pecém será utilizado como canteiro de obras e o projeto é administrado pela empresa Eólica Brasil Ltda.

5.2.3. PLANTA PILOTO DE GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE

Considerado o primeiro projeto eólico *offshore* da Petrobrás, possui mais características de um projeto de P&D, pois o objetivo principal é avaliar a viabilidade técnico-econômica de geração, servindo como referência para eventuais projetos em escala comercial.

Localizado na Bacia Potiguar do Rio Grande do Norte, o projeto conta com a instalação de um aerogerador com potência unitária de 5 MW, que será conectado a plataforma de petróleo Plataforma Ubarana 3 (PUB-3), com extensão de aproximadamente 1 km de cabo submarino. Uma torre anemométrica também será instalada a cerca de 350 metros do aerogerador (Figura 23). O projeto estará a cerca de 20 km da costa de Guamaré (RN), a uma profundidade entre 12 e 16 metros.

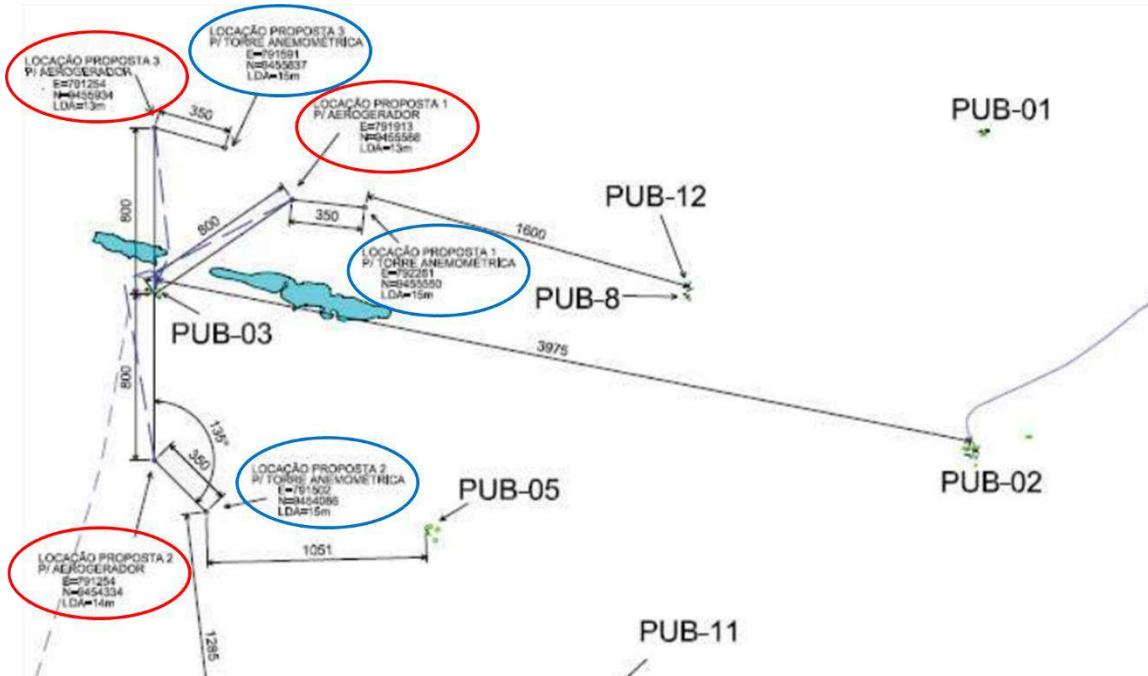


Figura 23 – Mapa de localização das 3 alternativas de locação do aerogerador (círculos vermelhos) e da torre anemométrica (círculos azuis) em relação a plataforma PUB-3. Fonte: IBAMA (2018).

Apesar de todos os sinais positivos em relação a concretização desse projeto pela Petrobrás, em 3 de março de 2020 o site EPBR, especializado em notícias relacionadas ao mercado energético e de petróleo, noticiou que a Petrobrás reavaliou e suspendeu o projeto, basicamente por não considerar ele prioritário no atual momento da empresa, que visa maximizar o retorno de investimento aos acionistas, focando portanto em projetos de petróleo e gás natural na área do pré-sal (EPBR, 2020).

5.2.4. COMPLEXO EÓLICO MARÍTIMO JANGADA

O projeto Complexo Eólico Marítimo Jangada está localizado no litoral do município de Amontada, no estado de Ceará (Figura 24). Ao todo, o parque contará com uma área total de 100,780 hectares (4,980 hectares somente de cabos submarinos).



Figura 24 – Layout do Complexo Eólico Marítimo Jangada. Fonte: EPE (2020c).

Ao todo, serão 3 GW de potência instalada composto por quatro parques eólicos (750 MW cada) totalizando 200 aerogeradores de potência unitária de 15 MW. Quatro subestações serão instaladas, um para cada parque, assim como uma subestação elevada *onshore*, a 2 km do pátio de transição. A extensão da LT submarina (220 kV) varia de 38,02 a 51,62 km e a extensão da LT aérea será de 91,4 km, conectados a SE Pecém II. Esse projeto está sendo administrado pela Neoenergia.

5.2.5. COMPLEXO EÓLICO MARAVILHA

O Complexo Eólico Maravilha está localizado na região nordeste do estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de São João da Barra e Campos dos Goytacazes (Figura 25). Semelhante ao projeto Complexo Eólico Marítimo Jangada, administrado pela mesma empresa (Neoenergia), o parque contará com uma área total de 82,896 hectares (5,800 somente de cabos submarinos).

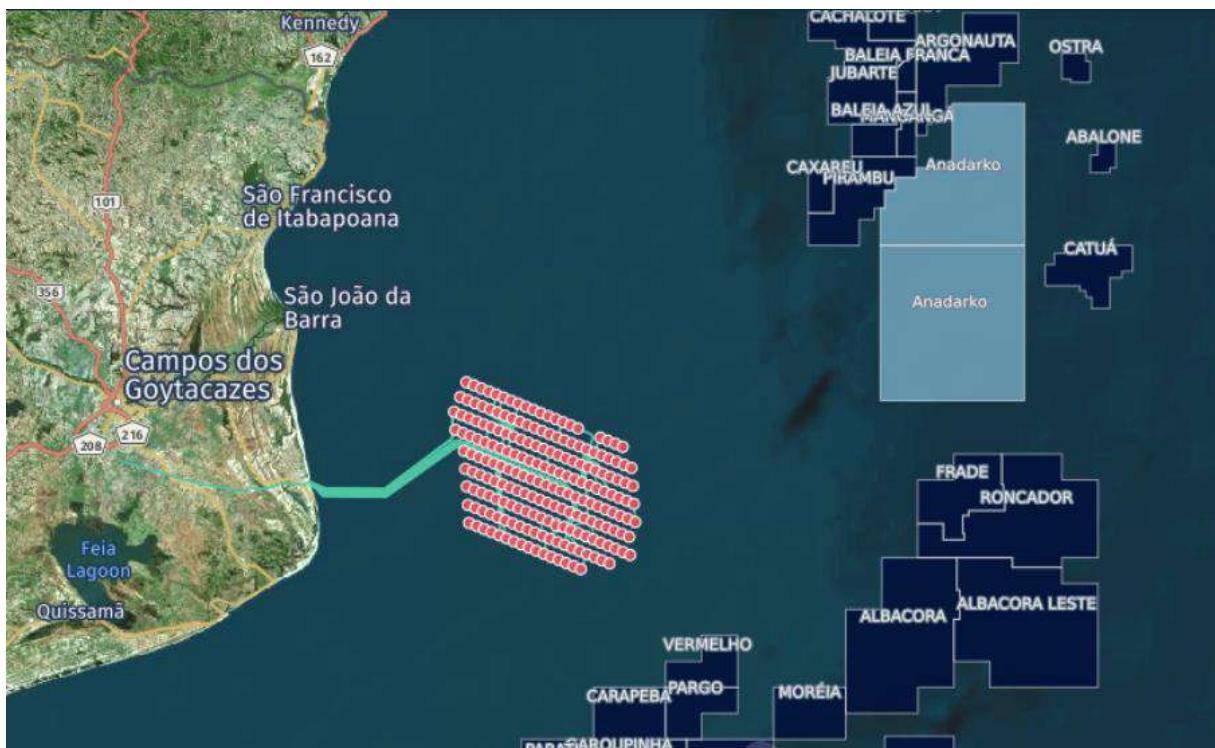


Figura 25 – Layout do Complexo Eólico Maravilha. Fonte: EPE (2020c).

Ao todo, serão 3 GW de potência instalada composto por quatro parques eólicos (750 MW cada) totalizando 200 aerogeradores de potência unitária de 15 MW. Quatro subestações serão instaladas, um para cada parque, assim como uma subestação elevada onshore, a 2 km do pátio de transição. A extensão da LT submarina (220 kV) variará de 49,93 a 67,13 km e a extensão da LT aérea será de 40,05 km, conectados a SE Campos II.

5.2.6. PARQUES EÓLICOS ARACATU

O Complexo Eólico Aracatu I e Aracatu II, da empresa Equinor, estão localizados no litoral do Rio de Janeiro e Espírito Santo, respectivamente. Como demonstrado na Figura 26, ambos parques estão localizados um ao lado do outro, com 2 GW compostos por 160 aerogeradores, totalizando assim 4 GW e 320 aerogeradores. Os parques serão instalados aproximadamente a 20 km da costa, entre 15 e 25 metros de profundidade.

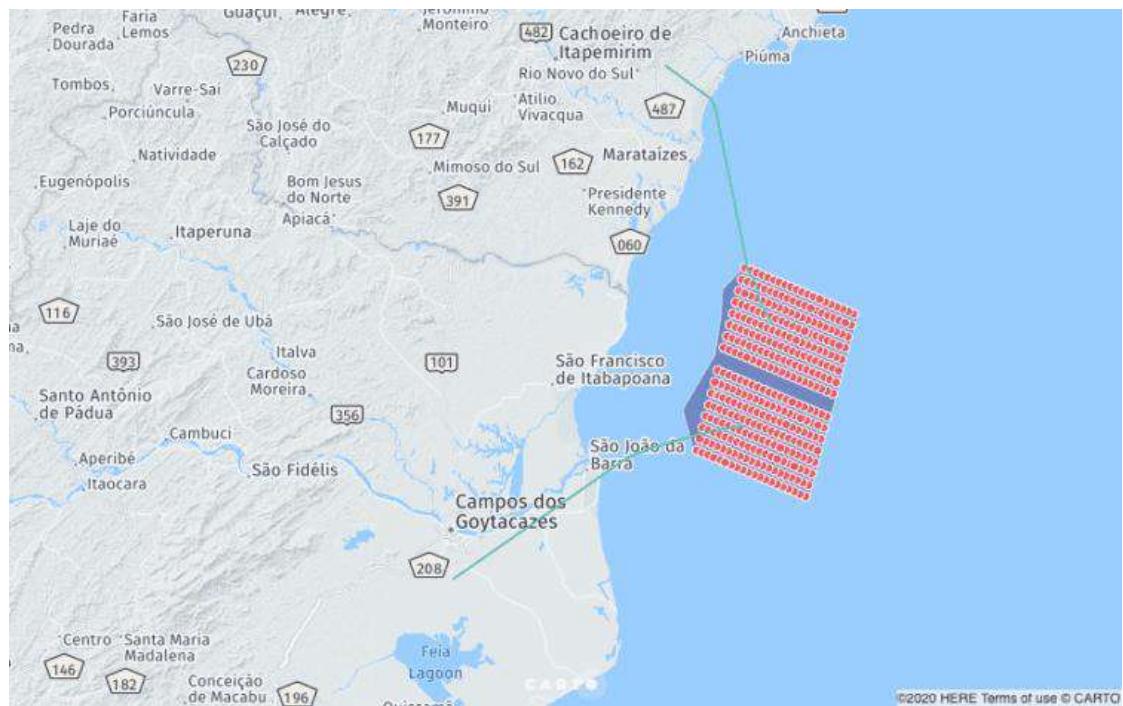


Figura 26 – Layout dos Complexos Eólicos Aracatu I e Aracatu II. Fonte: EPBR (2019).

5.2.7. COMPLEXO EÓLICO MARÍTIMO ÁGUAS CLARAS

O Complexo Eólico Marítimo Águas Claras marca o terceiro e último grande projeto de desenvolvimento da Neoenergia. Localizado próximo ao litoral dos municípios de Capão da Canoa e Xangri-lá, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 27), o parque contará com uma área total de 88,780 hectares (4,560 somente de cabos submarinos).

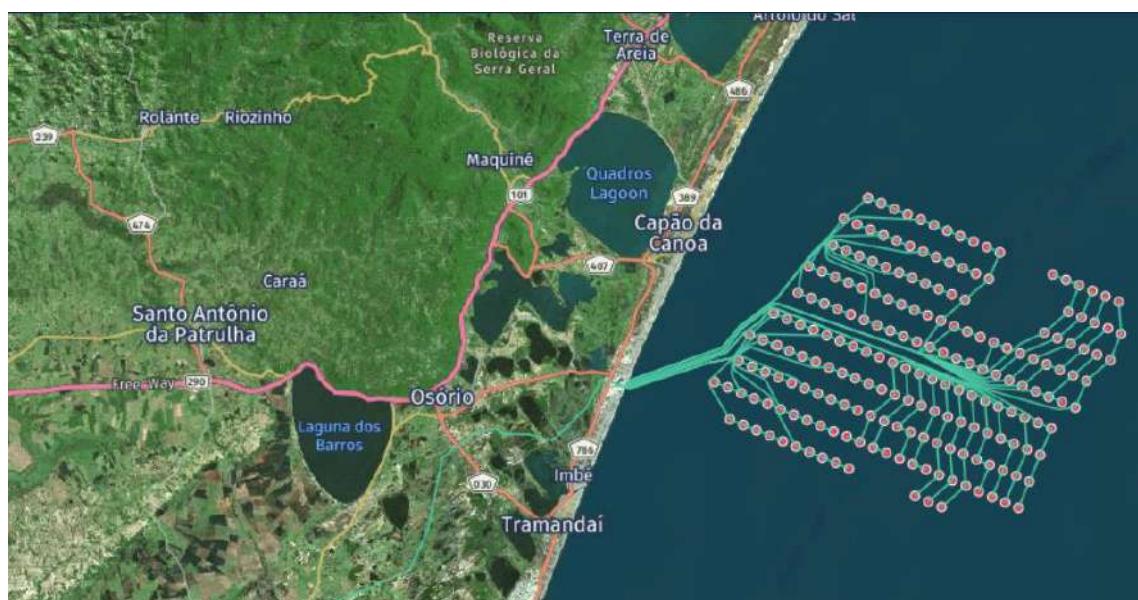


Figura 27 – Layout do Complexo Eólico Marítimo Águas Claras. Fonte: EPE (2020c).

Segundo o mesmo padrão dos parque geridos pela Neoenergia, esse também contará com 3 GW de potência instalada composto por quatro parques eólicos (750 MW cada) totalizando 200 aerogeradores de potência unitária de 15 MW. Quatro subestações serão instaladas, um para cada parque, assim como uma subestação elevada *onshore*, a 2 km do pátio de transição. A extensão da LT submarina (220 kV) variará de 13,85 a 39,96 km e a extensão da LT aérea será de 58,8 km, conectados a SE Capivari do Sul.

Avaliando os projetos em desenvolvimento até o final de 2020, percebe-se que estes estão distribuídos entre as regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Isso está de acordo com os levantamentos feitos pelo *Roadmap* da EPE, mostrando que na região Nordeste o potencial eólico acumulado varia de 146 a 3,714 GW, na região Sudeste de 10 a 1,035 GW e no Sul de 42 a 750 GW, dependendo da batimetria e considerando áreas com velocidades acima de 7 m/s. A região Norte apresentou o menor potencial eólico acumulado, variando de 78 a 335 GW, considerando as mesmas condições das demais regiões. Além disso, ele apresentou também a menor área aproveitável, variando entre 20,927 e 89,391 km² enquanto o Nordeste teve de 38,846 a 990,336 km², Sudeste de 3,990 a 397,911 km² e o Sul de 16,105 a 288,343 km².

Levando em consideração as circunstâncias descritas acima, assim como os projetos em desenvolvimento (exceto pelo projeto Piloto da Petrobrás), alguns inclusive sinalizando o interesse em utilizar determinados portos como canteiro de obras, como o Porto de Pecém, tomou-se a decisão de analisar em maiores detalhes quatro dos principais portos marítimos do Brasil.

6. PORTOS

O porto pode ser definido como uma área com água e terra para receber embarcações com instalações, estruturas e equipamentos para carga, descarga e armazenamento de bens, seja de uso privado ou público. Além disso, o porto pode prestar serviços industriais, administrativos, comerciais, ambientais e logísticos, desenvolvendo atividades relacionadas ao transporte terrestre e aquático (CADE, 2017).

Portos são considerados elementos fundamentais para a economia de um país, pois a maioria das trocas internacionais ocorrem em zonas portuárias. São compostos basicamente por cais e berços, onde os navios atracam, assim como armazéns, silos e pátios para armazenagem. O acesso terrestre aos portos pode ser feito utilizando rodovias e ferrovias. Em termos de equipamentos de movimentação de carga, normalmente os portos contam com empilhadeiras, guindastes e esteiras (SILVA et al., 2011).

Em termos da gestão do porto, ele pode ser público, misto, *landlord port* ou privativo, como demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Modelos de Gestão Portuária.

Tipo	Infraestrutura	Superestrutura	Relação de Trabalho
Porto Público (<i>Service Port</i>)	Pública	Pública	Pública
Porto Misto (<i>Tool Port</i>)	Pública	Pública	Privada
<i>Landlord Port</i>	Pública	Privada	Privada
Porto Privativo (<i>Private Port</i>)	Privada	Privada	Privada

Fonte: Elaboração própria, adaptado de BANCO MUNDIAL (2007).

O Brasil possui 7,400 km de costa (MOURA & BOTTER, 2016) e até 2020, de acordo com a Agência Nacional de Transporte Aquaviários – ANTAQ conta com uma estrutura composta por 235 instalações portuárias (ANTAQ, 2020). Entre as 235 instalações, 102 (64 fluviais e 38 marítimos) são Portos Públicos, cuja administração

é exercida pela União ou delegada a municípios, estados ou consórcios públicos. As demais 127 instalações (29 fluviais e 98 marítimos) são Terminais de Uso Privado (TUP), além de 6 (todas fluviais) estações de transbordo de cargas (ETC). Segundo a Resolução 2969 da ANTAQ, de 4 de julho de 2013, os portos também podem ser classificados como:

- Marítimos: portos aptos a receber linhas de navegação oceânica, tanto de longo curso (internacionais) quanto de cabotagem (nacional), independente da sua localização geográfica;
- Fluviais: portos que recebem linhas de navegação de outros portos dentro da mesma região hidrográfica ou com comunicação por águas interiores;
- Lacustres: portos que recebem embarcações dentro de lagos, em reservatórios restritos, sem comunicação com outras bacias.

Conforme apontado no estudo feito pelo Governo Americano em 2014 (EUA, 2014), à medida que uma indústria eólica *offshore* se desenvolve, portos se tornam centros estratégicos na cadeia de abastecimento do parque eólico *offshore*, pois toda a logística *offshore* de transporte, instalação e manutenção será feita via instalações portuárias. Portanto, os portos devem fornecer uma infraestrutura adequada para atender aos requisitos específicos da indústria eólica *offshore*. É crucial, portanto, que órgãos federais, estaduais e autoridades portuárias tomam medidas eficazes para posicionar os portos no centro da cadeia de valor da energia eólica *offshore*, tirando assim o melhor proveito de seu potencial econômico.

Um dos principais pontos avaliados quando um porto é selecionado para atender um projeto eólico *offshore*, é justamente a distância do porto ao local do projeto (AKBARI *et al.*, 2017). Isso ocorre pois portos localizados próximos aos parques eólicos *offshore* reduzem o tempo de transporte e, consequentemente, o custo geral do projeto. Durante a fase de O&M (Operação e Manutenção) do parque eólico *offshore*, a proximidade de portos também permite um atendimento rápido, diminuindo assim o tempo de *downtime* da(s) turbina(s).

Levando em consideração que a distância ao empreendimento eólico *offshore* é o principal fator na escolha de um porto, tomando como base também como a localização dos projetos eólicos *offshore* em desenvolvimento no Brasil até o final de

2020, quatro portos foram selecionados para uma análise descritiva mais detalhada (Figura 28), sendo eles: Porto de Pecém (CE), Porto de Suape (PE), Porto de Açu (RJ) e Porto de Rio Grande (RS).



Figura 28 –Localização aproximada dos Portos de Pecém (CE), Suape (PE), Açu (RJ) e Rio Grande (RS) Ceará em relação aos Projetos Eólicos Offshore em desenvolvimento no Brasil, até o final de 2020. Fonte: Elaboração própria.

6.1. PORTO DE PECÉM (CE)

A concepção do Porto de Pecém começou em março de 1995, quando navios da Marinha do Brasil mapeavam a batimetria da costa do Ceará, na região da Ponta de Pecém no município de São Gonçalo do Amarante, aproximadamente 60 km de Fortaleza (Figura 29).

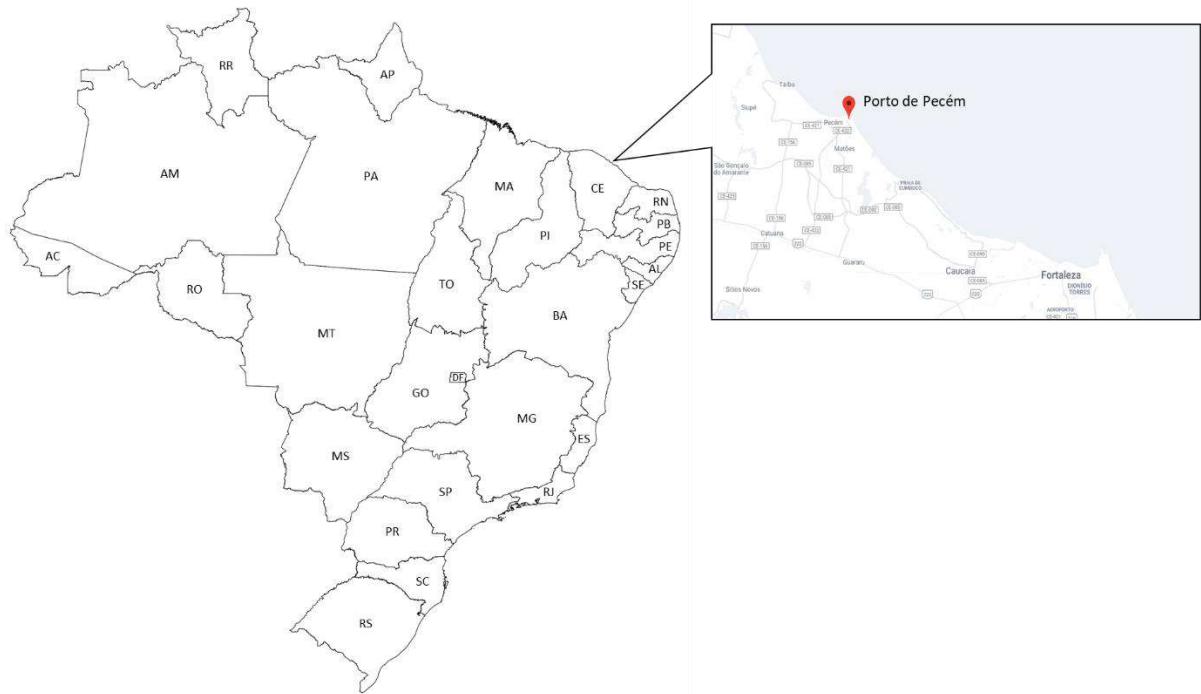


Figura 29 – Localização do Porto de Pecém, Ceará. Fonte: Elaboração própria.

Inaugurado em 2002, o Porto de Pecém, conhecido também como Terminal Portuário do Pecém, faz parte do Complexo Industrial e Portuário Mário Covas, ou CIPP (Complexo Industrial e Portuário de Pecém). Caracterizado como um Terminal de Uso Privado (TUP), sua criação surgiu para estimular o desenvolvimento industrial local, atendendo à demanda das indústrias e empresas na região Nordeste.

A área do Porto possui cerca de 13.337 hectares, cobrindo na Região Metropolitana de Fortaleza – CE os municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante. Ao todo, cerca de vinte e cinco empresas estão instaladas no complexo (PECEM, 2020) voltadas para as atividades de siderurgia, petroquímica, refino de petróleo e geração de energia elétrica (EMBRAPA, 2020).

O Terminal Portuário de Pecém é classificado como uma empresa de economia mista através do contrato de adesão de 05 junho de 2001, que autoriza o Governo do Estado de Ceará, através da Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Ceará, de explorar o Porto sob a mediação da Companhia de Integração Portuária do Ceará (CEARÁPORTOS) (BRASIL, 2015).

A localização do Porto é considerada estratégica para o Brasil pois possui o menor tempo de navegação, dentre os portos brasileiros, dos Estados Unidos (seis dias de

distancia do Terminal de Filadélfia), Cabo Verde (cinco dias de distancia do Terminal de Praia) e Europa (sete dias de distancia do Terminal de Algeciras – Espanha).

6.1.1. ACESSO

Os principais acessos terrestres ao Porto de Pecém são as rodovias federais BR-116, BR-222 e a BR-020, além da estadual CE-085. Destaca-se também a estadual CE-155 (antiga CE-422), a BR-304 e o Anel Viário de Fortaleza como importantes conexões entre as rodovias principais. O acesso ferroviário é feito por uma linha da Concessionária Transnordestina Logística (TNL), localizado entre os municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante.

6.1.2. INFRAESTRUTURA DO PORTO DE PECÉM

O Porto de Pecém é classificado como um terminal *offshore*, com um quebra-mar de berma na forma de um “L” com 2.770 metros de extensão e três píers marítimos (Píer 1, Píer 2 e TMUT – Terminal de Múltiplas Utilidades), como demonstrado na Figura 30.

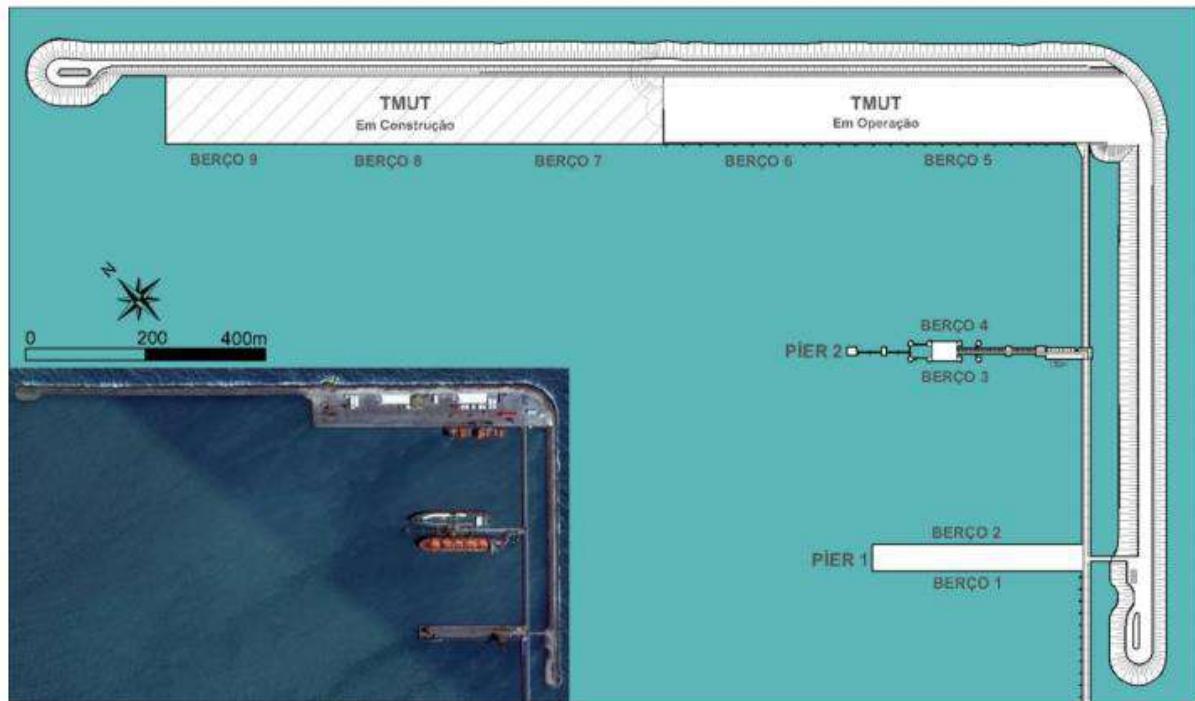


Figura 30 – Estrutura de Acostagem do Porto de Pecém. Fonte: BRASIL (2015).

O Píer 1 é o mais próximo da costa (1.789 m) com dois berços de atracação e aproximadamente 40 metros de largura e 350 metros de extensão. O Píer 2,

conhecido também como Píer Petroleiro ou Píer de Granéis Líquidos (PGL) está a 2.143 metros da costa e a 300 metros do Píer 1. Possui em torno de 20 metros de largura e 400 metros de extensão. Por fim, o TMUT é a instalação de acostagem mais distante (2.502 m) com 110 metros de largura e 1.590 metros de extensão, contendo assim uma área de 174.900 m².

Considerando espaço de armazenagem, o Porto de Pecém possui três armazéns (Armazém 1, Armazém 2 e Armazém de Milho). O Armazém 1 possui 6.250 m² de área e os Armazém 2 e de Milho 10.000 m² cada. A área de pátio dispõe de 380.000 m² com possibilidade de armazenamento de até 888 unidades de contêiner.

6.1.3. EQUIPAMENTOS PORTUÁRIO DO PORTO DE PECÉM

De acordo com o levantamento feito por BRASIL (2015) dos equipamentos portuários no Terminal de Pecém, a área do TMUT possui cinco guindastes tipo MHC sobre pneus em bom estado de conservação. A capacidade nominal varia entre 100-120 toneladas e 28 a 35 movimentações de carga por hora. O Píer 1 tem um guindaste de múltiplo uso sobre trilhos em estado regular de conservação, com capacidade nominal de 45 toneladas e 15 movimentações por hora, no caso de contêineres, e 20 movimentações por hora no caso de bobinas. Em relação aos equipamentos de retroárea, esses são de responsabilidade das empresas prestadoras de serviço.

6.1.4. DISTÂNCIA DOS FORNECEDORES DE COMPONENTES E SUBCOMPONENTES EÓLICOS

A Tabela 10 apresenta as distâncias mínimas, máximas e médias entre o Porto de Pecém e os fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos, identificados no levantamento feito pela ABDI (2017).

Tabela 10 – Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos ao Porto de Pecém.

Componentes	Distância (km)¹	
	Mínima	Máxima
Montadoras (Aero geradores)	11	4.264
Torres	55	3.968
Pás	19	3.101
Subcomponentes de Torres	72	3.808
Subcomponentes de Rotor, Pás e Cubo	2.161	4.216
Subcomponentes de Nacelle	1.227	4.214

¹ Distâncias calculadas utilizando o aplicativo Google Earth Pro versão 7.3.2.5776, considerando apenas a trajetória rodoviária, sem avaliar a adequabilidade da via para o transporte dos componentes.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ABDI (2017).

Percebe-se que a localização do Porto de Pecém é extremamente estratégica, pois está a apenas 11 km de montadoras, 55 km de fornecedores de torres, 19 km de fornecedores de pás e 72 km de fornecedores de subcomponentes de torres, facilitando dessa forma a logística desses componentes, reduzindo o tempo e consequentemente o custo de transporte.

Devido ao forte desenvolvimento da indústria eólica no Ceará, o Porto de Pecém adquiriu experiência com a indústria, tendo inclusive duas empresas do setor instaladas dentro do seu complexo (Wobben Windpower e Aeris Energy). De acordo com o estudo realizado por TELES (2014), em 2014 a Wobben empregava diretamente 503 pessoas no Porto de Pecém e a Aeris 340, representando juntas cerca de 40% da força de trabalho no Porto.

Em 2019, o Porto de Pecém movimentou cerca de duas mil pás eólicas, aumentando em três vezes as movimentações de 2018, sendo responsável também pela fabricação da maior pá eólica produzida no Hemisfério Sul, com 74 metros de extensão (Tribuna do Ceará, 2019). A indústria eólica é tão importante para a economia do porto que uma área exclusiva para armazenamento de pás foi designada (CEARÁ, 2019).

Entretanto, em termos de proximidade com fabricantes de subcomponentes de rotor, pás, cubo e nacelle a distância mínima é de 2.161 km e 1.227 km,

respectivamente. Considerando a indústria eólica *offshore*, isso pode apresentar um desafio em termos de serviços de O&M, especialmente em casos de manutenções não-programadas.

Para os projetos eólicos *offshore* previamente descritos (Parque Eólico *Offshore Caucaia*, Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I e Complexo Eólico Marítimo Jangada) localizados no Ceará, o Porto de Pecém apresenta sinais positivos em termos de suporte portuário e logístico. Cabe avaliar como o porto irá responder caso os projetos sejam desenvolvidos próximos ou na mesma época.

6.2. PORTO DE SUAPE (PE)

O Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, mais conhecido como Porto de Suape, está localizado no Estado de Pernambuco, a cerca de 40 quilômetros de Recife, entre os municípios de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho (Figura 31).

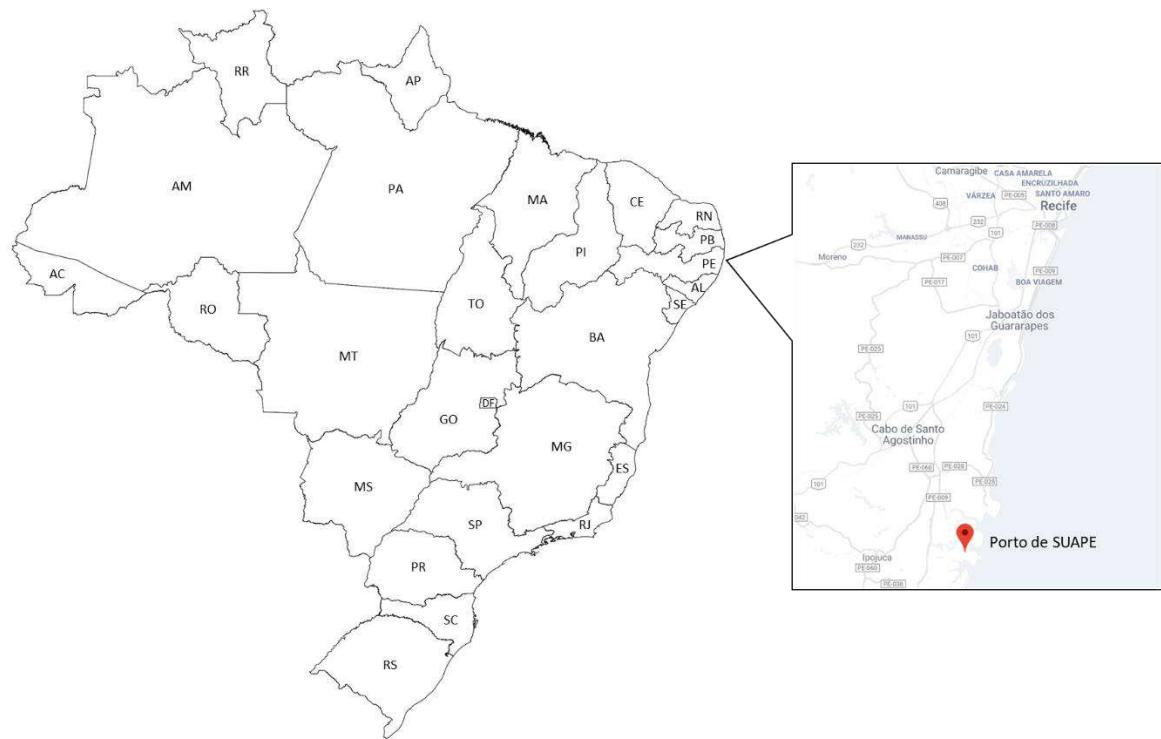


Figura 31 – Localização do Porto de SUAPE, Pernambuco. Fonte: Elaboração própria.

O Porto de Suape teve seu início na década de 60, quando o governo brasileiro na época idealizava o conceito de um “super-porto” e integração porto-indústria, voltado para a exportação e instalação de indústrias ao seu redor. As características naturais

da região também contribuíram para a escolha do local, com águas profundas próximas a linha da costa, quebra-mar natural formado pelos recifes, extensa área para desenvolvimento do parque industrial, assim como a maior distância da cidade do Recife (SUAPE, 2020).

Em 7 de novembro de 1978, a empresa SUAPE – Complexo Industrial Portuário, por meio da Lei Estadual 7.763, foi criada como uma instituição pública, com o propósito de gerenciar toda a implementação e desenvolvimento das obras e eventuais atividades portuárias. Sua primeira operação ocorreu em 1983 com a movimentação de álcool pela Petrobrás, utilizando o Píer de Granéis Líquidos (PGL – 1). Até 2020, o Porto é administrado pela companhia estatal SUAPE – Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, que está vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco, autorizado pelo Governo Federal em 9 de abril de 1992.

O Porto de Suape é considerado um dos mais completos polos industriais da região nordeste brasileira, com uma infraestrutura classificada como excelente, permitindo uma ampla variedade de cargas transportadas. Sua posição é tida como estratégica para o comércio internacional pois está a sete dias de navegação do Porto de Nova York (Estados Unidos) e nove dias do Porto de Rotterdam – Holanda (Europa).

6.2.1. ACESSO

O principal acesso terrestre ao Porto de Suape é pela hinterlândia do Complexo Portuário de Recife e Suape, composta pelas rodovias BR-101, Antiga BR-101, BR-232, PE-060 e PE-042. Há também acesso ferroviário pela malha férrea, concessionada pela Ferrovia Transnordestina Logística, destinada ao transporte exclusivo de cargas.

6.2.2. INFRAESTRUTURA DO PORTO DE SUAPE

O Porto de Suape possui uma área total de 3.232,58 hectares (equivalente a 32 km²) com duas áreas de porto (interno e externo). Seu canal de acesso tem 5 quilômetros de extensão, com 300 metros de largura e 16,5 metros de profundidade (Figura 32).

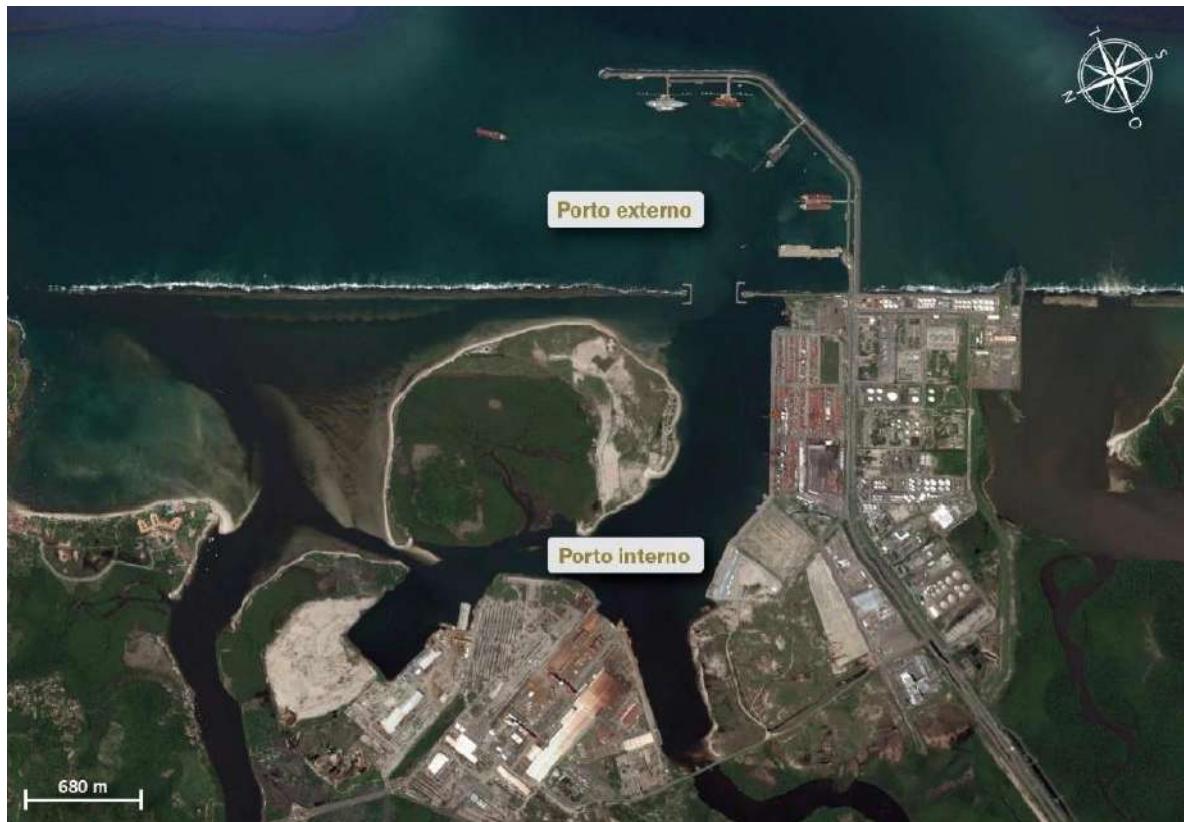


Figura 32 – Áreas internas e externas do Porto de Suape. Fonte: BRASIL (2018).

A área do Porto Externo possui um molhe no formato de um “L” com 3.100 metros de comprimento, abrigando quatro píeres de granel líquido (PGL 1, PGL 2, PGL 3^a e PGL 3B), um Cais de Múltiplo Usos e uma tancagem flutuante de GLP (gás liquefeito de petróleo),.

A área do Porto Interno possui 1.600 metros de cais com cinco berços (Figura 33). O Cais 1 é de uso público e tem 275 metros de extensão, movimentando predominantemente contêineres, cargas especiais de projeto, veículos e açúcar. Os Cais 2 e 3 são de uso privado (administrado pela empresa Tecon Suape) com 660 metros de extensão e de uso exclusivo à movimentação de contêineres. O Cais 2 tem 14,4 metros de profundidade e o Cais 3 tem 11,6 metros. De acordo com SUAPE (2020) esses cais juntos tem a capacidade de movimentar 700 mil contêineres por ano. O Cais 4 é de uso público e possui 350 metros de extensão. Movimenta, majoritariamente, cargas gerais, cargas de projetos, produtos siderúrgicos, trigo a granel e veículos. Por fim, o Cais 5 também é de uso público e possui 343 metros de extensão, operando cargas gerais e granéis sólidos.



Figura 33 – Cais 1 a 5 da Área Interna do Porto de Suape. Fonte: BRASIL (2018).

6.2.3. EQUIPAMENTOS PORTUÁRIO DO PORTO DE SUAPE

Como mencionado na seção anterior, a área externa do Porto de Suape é, em sua maioria, destinada a cargas de granel líquido. O Cais de Múltiplo Usos possui dois *Shiploaders* com capacidade total de 750 toneladas por hora. De acordo com o levantamento feito pela BRASIL (2018), considerando os equipamentos portuários disponíveis, a área interna está melhor equipada para movimentação de cargas sólidas, contendo ao todo seis portainneres de capacidade total variando entre 40 e 65 toneladas, um *shipunloader portalink* com capacidade de 900 toneladas por hora, dois MHCs de 100 a 150 toneladas, duas moegas de 85 toneladas e um *shiploader* com capacidade de 2,200 toneladas por hora.

Os equipamentos de retroárea estão localizados nos pátios de contêineres, no Terminal TECON Suape e no armazém, totalizando 123 transteineres, empilhadeiras, tratores, chassis, *fork lifts*, *reach stackers* e balanças, capazes de movimentar cargas entre 1,7 e 120 toneladas.

6.2.4. DISTÂNCIA DOS FORNECEDORES DE COMPONENTES E SUBCOMPONENTES EÓLICOS

A Tabela 11 apresenta as distâncias mínimas, máximas e médias entre o Porto de Suape e os fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos, identificados no levantamento feito pela ABDI (2017).

Tabela 11 – Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos ao Porto de Suape.

Componentes	Distância (km) ¹	
	Mínima	Máxima
Montadoras (Aero geradores)	10	3.814
Torres	7	3.515
Pás	18	2.712
Subcomponentes de Torres	9	3.352
Subcomponentes de Rotor, Pás e Cubo	1.809	3.759
Subcomponentes de Nacelle	751	3.759

¹ Distâncias calculadas utilizando o aplicativo Google Earth Pro versão 7.3.2.5776, considerando apenas a trajetória rodoviária, sem avaliar a adequabilidade da via para o transporte dos componentes.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ABDI (2017).

Semelhante ao Porto de Pecém, a localização do Porto de Suape é extremamente estratégica, apresentando valores menores em relação a distância do porto e os fabricantes de componentes e subcomponentes. Em relação as montadoras, o Porto está apenas a 10 km de distância, 7 km de fabricantes de torres, 18 km de fabricantes de pás e 9 km de fabricantes de subcomponentes de torres. Em relação aos subcomponentes de rotor, pás, cubo e nacelle o Porto está mais distante (1.809 km e 751 km, respectivamente) porém, comparado ao Porto de Pecém, está mais próxima, o que pode ser estratégico em termos de suporte durante as fases de O&M.

Em 2015, a empresa GRI Flanges do Brazil inaugurou na área do Porto de Pecém a primeira fábrica de flanges eólicas no Brasil, um subcomponente considerado crítico pois serve para unir os cilindros que formam as torres. Além da GRI Flanges, o polo ainda abriga a Gestamp Wind, fabricantes de torres, e a LM Wind Power, fabricante de pás. As três empresas juntas empregavam, em 2015, 1.400 pessoas e somavam R\$ 459 milhões em investimento (SUAPE, 2020).

Em 2019, o Porto bateu recordes em termos de movimentação de carga, onde a carga geral solta apresentou o maior percentual de crescimento. Nesse grupo se encaixam as torres e pás eólicas, sendo responsáveis por um aumento de 323%. Ao final de 2019, a empresa SIW Kits Eólico, que produz componentes de pás eólicas, inaugurou sua nova base na área do Porto, contribuindo para a solidificação da cadeia produtiva do setor eólico no estado de Pernambuco.

Apesar de não ter nenhum projeto eólico *offshore* mapeado na região nos próximos anos, o Porto de Suape apresenta boa infraestrutura e experiência com movimentação de cargas da indústria eólica. Por estar mais próximo dos fabricantes, comparado ao Porto de Pecém, o Porto de Suape pode se tornar um dos principais portos de logística para parques eólicos *offshore* na Região Nordeste.

6.3. PORTO AÇU (RJ)

O Porto de Açu, conhecido também como Complexo Logístico Industrial e Portuário do Açu (CLIPA), está localizado no município de São João de Barra, na região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro (Figura 34).

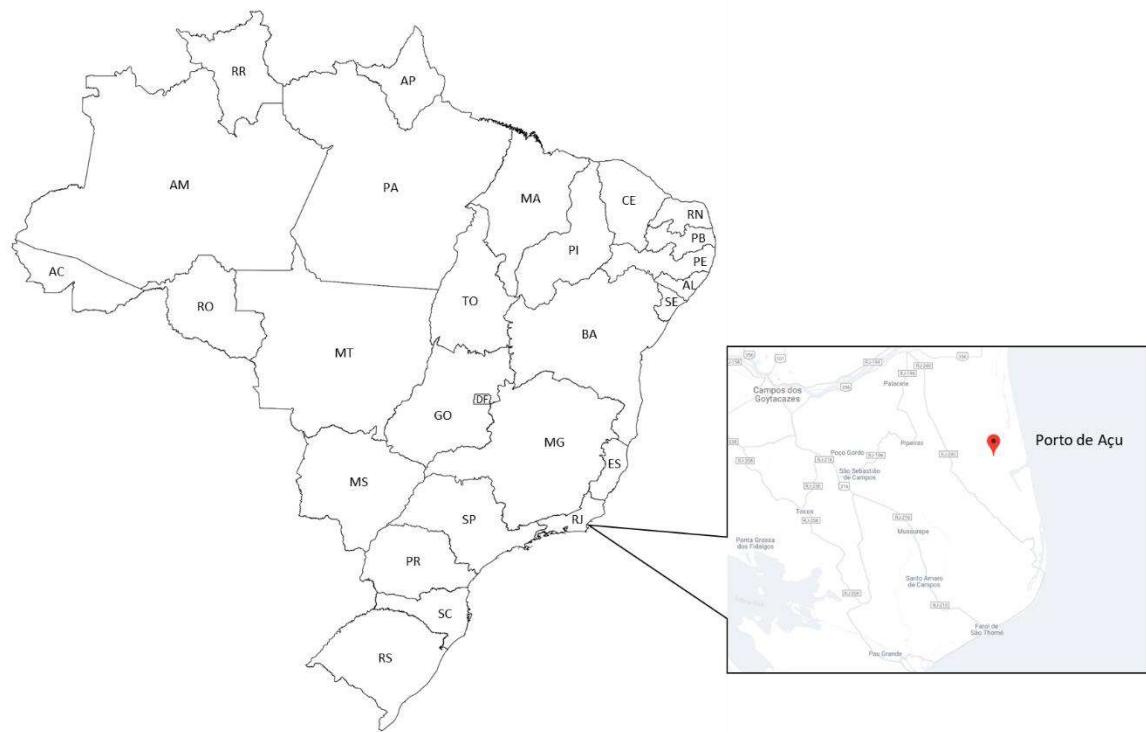


Figura 34 – Localização do Porto de Açu, Rio de Janeiro. Fonte: Elaboração própria.

Inaugurado em 2014 e de origem privada, sua concepção iniciou em 2003 quando aliou-se o interesse do Governo do Estado do Rio de Janeiro com o empresário Eike Batista, através da sua empresa MMX, na construção de um mega porto que apoiaria as atividades navais e petrolíferas da Bacia de Campos, assim como escoamento do minério de ferro produzido em Minas Gerais.

Entretanto, o atraso nas obras do porto, desistências de empresas, problemas ambientais e desvalorização das ações de empresas do Grupo EBX levaram a troca

de gerência do projeto, Em dezembro de 2013, o fundo de investimentos EIG (*Energy and Information Group*), posteriormente renomeado para Prumo Logística Global, assumiu o controle do Porto de Açu, com o objetivo de transformar o porto na principal solução para a instalação de empresas do setor de petróleo, desenvolvendo a área para movimentação e tratamento de petróleo, bases de apoio para operações *offshore*, assim como um polo metal mecânico dedicado à indústria de O&G. Até o final de 2020, treze empresas atuam na área do Porto, em sua maioria estrangeiras e diretamente ligadas a indústria de petróleo, utilizando portanto o porto como base de apoio aos serviços *offshore* (JUNIOR *et al.*, 2011).

6.3.1. ACESSO

O principal acesso terrestre ao Porto de Açu é pela BR-101, interligando Rio de Janeiro-RJ (319 km de distância), Vitória-ES (284 km) e Santos-SP (815 km). Está a 516 km de Belo Horizonte-MG, pela BR-482 e 1.242 km de Brasília-DF pela BR-040. De acordo com o próprio site do Porto de Açu, estão previstas duas ligações às estradas de ferro, sendo elas: EF-354, conectando os estados de Goiania, Distrito Federal e Minas Gerais, passando também por Campos dos Goytacazes (RJ), facilitando o transporte entre as regiões sudeste e centro-oeste do Brasil; EF-118 que conectará diretamente o Porto a cidade do Rio de Janeiro (RJ) e Vitória (ES).

6.3.2. INFRAESTRUTURA DO PORTO DE AÇU

O Porto de Açu é o maior complexo porto-indústria privado da América Latina. Possui uma área total de 130 km² (1/3 da área total do município), sendo 40 km² dedicados a uma unidade de preservação ambiental (RPPN Caruara) e 90 km² de retroárea para instalação de empresas e indústrias. Era, até o final de 2020, a maior base de apoio *offshore* do mundo, com o total de 16 berços desenvolvidos especificamente para atender os projetos na área *offshore* do pré-sal.

O porto é basicamente dividido em duas áreas: *onshore* e *offshore*. Na área *onshore* encontram-se os terminais Multicarga e os terminais das empresas de apoio aos serviços *offshore* da indústria de O&G. Possui 5,8 km de cais linear e uma retroárea de 4.185.000 m². Sua profundidade varia entre 10 e 14,5 metros e a entrada do cais tem 300 metros de abertura. A área *offshore* consiste no Mole Sul, com 10,8

metros de profundidade, 537 metros de extensão de cais e uma resistência do piso de 10 ton/m², e o Mole Norte com 1,080 metros de extensão e 330 metros disponíveis para atracação de navios.

6.3.3. EQUIPAMENTOS PORTUÁRIO DO PORTO DE AÇU

Ao todo, o Porto de Açu contém dois guindastes MHC com capacidade nominal de 100 toneladas, quatro *grabs* para movimentação de carga, duas empilhadeiras de pátio, dois *spreader bars* para carga, seis *spreaders* para carga de projetos e carga geral, assim como dez caçambas articuladas (AÇU, 2020).

6.3.4. DISTÂNCIA DOS FORNECEDORES DE COMPONENTES E SUBCOMPONENTES EÓLICOS

A Tabela 12 apresenta as distâncias mínimas, máximas e médias entre o Porto de Açu e os fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos, identificados no levantamento feito pela ABDI (2017).

Tabela 12 – Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos ao Porto de Açu.

Componentes	Distância (km) ¹	
	Mínima	Máxima
Montadoras (Aero geradores)	831	2.538
Torres	740	2.436
Pás	824	2.523
Subcomponentes de Torres	263	2.427
Subcomponentes de Rotor, Pás e Cubo	300	1.863
Subcomponentes de Nacelle	365	3.316

¹ Distâncias calculadas utilizando o aplicativo Google Earth Pro versão 7.3.2.5776, considerando apenas a trajetória rodoviária, sem avaliar a adequabilidade da via para o transporte dos componentes.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ABDI (2017).

Diferente dos portos nas regiões do nordeste, o Porto de Açu não está tão próximo dos fabricantes dos principais componentes de uma turbina eólica. Em relação aos aerogeradores, está a 831 km de distância, 740 km de fabricantes de torres e 824 km de fabricantes de pás. Logisticamente, isso pode ser um grande desafio para o atendimento portuário de projetos eólicos offshore na região, pois essas peças

possuem grandes dimensões, apresentando desafios para o transporte rodoviário entre o local de fabricação e o destino final. Para esse caso, o transporte de cabotagem pode ser uma boa alternativa.

Considerando a distância dos fabricantes de subcomponentes (torres, rotor, pás, cubo e nacelle) o Porto de Açu parece estar bem posicionado, com distâncias mínimas variando entre 263 km e 365 km. Essas peças possuem dimensões menores que os componentes principais, portanto o transporte rodoviário aparece com uma boa opção. Isso pode ser estratégico na fase de O&M dos projetos eólicos *offshore* na região, pois o Porto de Açu seria capaz de atender com maior prontidão, a um custo de transporte mais baixo que portos do Nordeste.

Em julho de 2018, o Porto de Açu recebeu pela primeira vez um navio carregado de pás eólicas. Três pás eólicas foram descarregadas no Terminal Multicargas, cada uma com 40 metros de comprimento e peso unitário de 9 toneladas (AÇU, 2020).

Uma das principais vantagens do Porto de Açu é que ele é um porto relativamente novo, portanto possui amplas áreas disponíveis para novos negócios. Próximo ao terminal *onshore* T-2, há 5,8 km de cais disponível, assim como áreas secas livres de 56 km² para construção de novas bases industriais. Além disso, o porto foi construído para atender embarcações de quinta geração, que chegam a 335 metros de comprimento, 14 metros de calado e capazes de transportar de 6 mil a 8 mil TEUs (*Twenty Foot Equivalent Unit*).

6.4. PORTO DE RIO GRANDE (RS)

O Porto de Rio Grande é um porto marítimo público, situado na cidade de Rio Grande, no litoral sul do Estado do Rio Grande do Sul, na margem oeste do escoadouro natural da bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos (Figura 35).

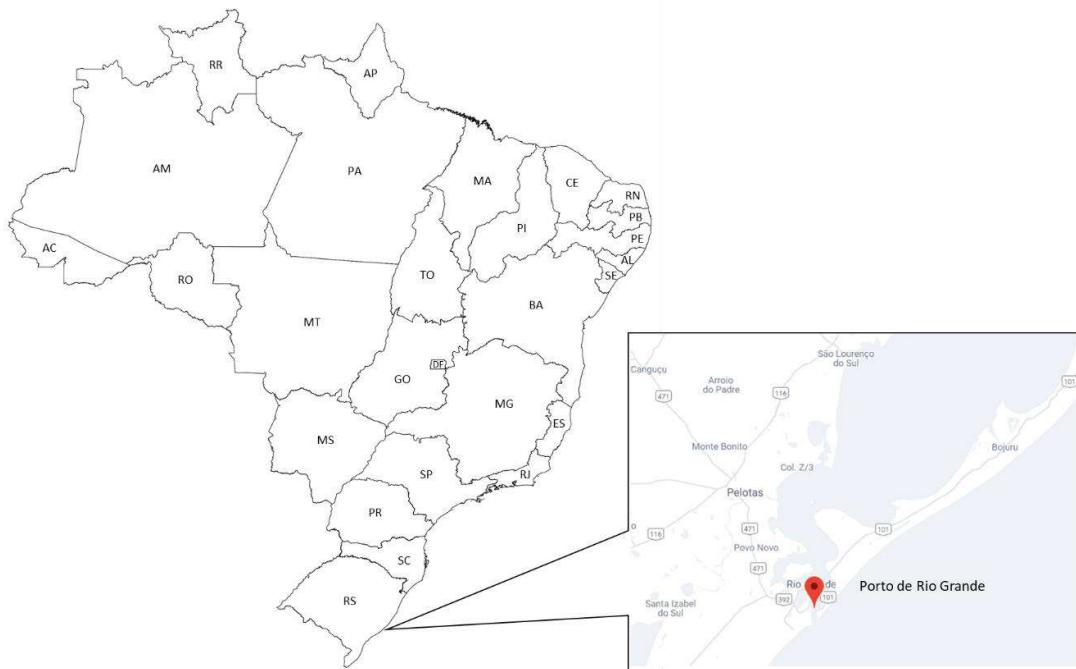


Figura 35 – Localização do Porto de Rio Grande, Rio Grande do Sul. Fonte: Elaboração própria.

Dos portos analisados nesse estudo, o Porto de Rio Grande é o porto mais antigo, com sua construção iniciada em 1869, inauguração em 1872 e primeira operação oficialmente no dia 15 de novembro de 1915. O Decreto 13.691, de 9 de julho de 1919, autorizou o Governo do Estado do Rio Grande do Sul a explorar comercialmente, durante 60 anos, as instalações portuárias. Esse decreto foi renovado pela União em 1934 e, em 1994, o prazo do contrato foi estendido até o dia 31 de março de 1997. A lei estadual 10.772, de 18 de janeiro de 1996, criou a autarquia Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG) que administraria o porto e, finalmente, em março de 1997 firmou-se o convenio entre o Estado do Rio Grande do Sul com o Ministério dos Transportes, delegando ao Estado do Rio Grande do Sul a gerência, através da SUPRG, do Porto de Rio Grande pelo prazo de 50 anos.

6.4.1. ACESSO

O Porto de Rio Grande é acessível por rodovias, ferrovias e hidrovias. O acesso rodoviário é pela BR-392, que atravessa o estado do Rio Grande do Sul chegando até a fronteira com a Argentina, e a BR-116 que é uma rodovia longitudinal, com início em Fortaleza (CE) e término em Jaguarão (RS), na fronteira com o Uruguai, passando por dez estados e tido como um dos principais eixos rodoviários do Brasil. O acesso ferroviário é feito por uma linha, administrada pela América Latina Logística (ALL),

com 273 km de extensão, entre Bagé e Rio Grande.

O acesso fluvial é feito pela Lagoa dos Patos, que é conectada também ao Lago Guaíba, com profundidade de 6 metros. Dessa forma, essa hidrovia liga os portos de Estrela e Porto Alegre, na região metropolitana de Porto Alegre, com o Porto de Rio Grande. Com isso, essa opção de via, apesar de subutilizada, pode representar um diferencial competitivo. Outra hidrovia, porém ainda não explorada comercialmente, é a Hidrovia Brasil-Uruguai, que conecta a Lagoa Mirim e Lagoa dos Patos com o Porto de Rio Grande.

6.4.2. INFRAESTRUTURA DO PORTO DE RIO GRANDE

O Porto de Rio Grande é dividido em quatro áreas portuárias: Porto Velho, Porto Novo, Superporto e São José do Norte, em fase de projeto para expansão portanto não será analisado (Figura 36).



Figura 36 – As quatro áreas portuárias do Porto de Rio Grande (Porto Velho, Porto Novo, Superporto e São José do Norte). Fonte: BRASIL (2013).

O Porto Velho, até o final de 2020, era utilizado para atividades turísticas, de lazer, atracação de barcos pesqueiros e frota de apoio, assim como pesquisa e desenvolvimento. Seu comprimento de cais é de 600 metros, divididos em sete áreas de serviço. O Terminal de Passageiros está localizado na Área 4, por onde é feita a travessia de pedestres e veículos. Existem cinco armazéns com uma capacidade total de 6.552 m³.

A área do Porto Novo possui um cais com 1.952 metros de comprimento, onze berços de atracação a uma profundidade de 10 metros e nove áreas de atendimento portuário, totalizando uma área de 62.850 m². Atua como um cais mais comercial, movimentando cargas gerais, fertilizantes, conteineres, veículos, entre outras cargas gerais. Possui ainda uma área militar e uma área de construção/reparo naval. O Porto Novo está em fase de modernização, aumentando a extensão e alargamento do cais em 1.125 metros e 450 metros, respectivamente.

O Superporto possui uma área de cais de 1.552 metros, com profundidade variando entre 5 e 16 metros. Estão localizados aqui os principais terminais especializados, divididos em dez áreas voltados para a indústria de petróleo, alimentícia, agrícola, assim como movimentação de cargas gerais. Possui as maiores áreas de armazenamento de cargas sólidas, líquidas e gasosas.

6.4.3. EQUIPAMENTOS PORTUÁRIO DO PORTO DE RIO GRANDE

Devido à natureza das operações na área do Porto Velho, não há registro de equipamentos de movimentação de cargas.

No Porto Novo, as operações de carga são realizadas por operadores portuários credenciados que possuem os equipamentos. Nessa área há três guindastes portuários MHC (*Mobile Harbor Crane*) e cinco grabs automáticos. Além disso, a empresa Sagres Agenciamentos Marítimos Ltda, possui três guindastes de 12 toneladas, dois de 6,5 toneladas e um MHC com capacidade nominal de 100 toneladas.

Na área do Superporto, cada terminal possui sua gama de equipamentos especializados para atender as demandas específicas. O Terminal possui três torres fixas de carregamento de granéis sólidos. O Terminal Yara Brasil tem um guindaste fora de operação desde 2012, portanto as cargas são descarregadas utilizando os

guindastes das próprias embarcações, e um descarregador do tipo pórtico. O Terminal Braskem e o Terminal Petrobrás utilizam mangotes de movimentação para líquidos, conectados a áreas de tancagem por dutos. O TECON do Porto de Rio Grande possui seis porteineres e três MHCs desativados de 100 toneladas, assim como oito transeineres de 40 toneladas e 18 *reach stackers* localizados na retroárea. O Terminal Bunge Alimentos conta com três torres fixas, conectados através de esteiras os silos horizontais. O Terminal de Trigo e Soja conta com dois carregadores de navio com capacidade nominal de 1.500 toneladas por hora cada, conectados a esteiras de granel sólido ligado aos silos de armazenagem, assim como quatro torres mistas (grab e sugador) com capacidade nominal de 450 toneladas por hora. Por fim, o Terminal Termasa possui duas torres sugadoras com capacidade de 250 toneladas por hora e torres fixas de carregamento.

6.4.4. DISTÂNCIA DOS FORNECEDORES DE COMPONENTES E SUBCOMPONENTES

A Tabela 13 apresenta as distâncias mínimas, máximas e médias entre o Porto de Rio Grande e os fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos, identificados no levantamento feito pela ABDI (2017).

Tabela 13 – Distância dos fornecedores de componentes e subcomponentes eólicos ao Porto de Rio Grande.

Componentes	Distância (km)¹	
	Mínima	Máxima
Montadoras (Aerogeradores)	286	4.459
Torres	500	4.438
Pás	1.323	4.435
Subcomponentes de Torres	754	4.439
Subcomponentes de Rotor, Pás e Cubo	365	2.314
Subcomponentes de Nacelle	365	3.316

¹ Distâncias calculadas utilizando o aplicativo Google Earth Pro versão 7.3.2.5776, considerando apenas a trajetória rodoviária, sem avaliar a adequabilidade da via para o transporte dos componentes.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ABDI (2017).

Em relação as montadoras e torres, o Porto de Rio Grande está estrategicamente mais bem posicionado que o Porto de Açu, porém não tanto quanto os portos no

Nordeste. Em relação as montadoras, está a 286 km de distância, 500 km de distância de fabricantes de torres e 1.323 km de distância de fornecedores de pás. Semelhante ao caso do Porto de Açu, a maior distância em relação a componentes de grandes dimensões, como as pás e torres, pode apresentar um desafio logístico. Nesses casos, a cabotagem pode ser uma solução mais viável, simples e custo de transporte mais baixo.

Em relação aos subcomponentes, o Porto de Rio Grande está a uma distância mínima de 754 km de fornecedores de subcomponentes de torres, 365 km de subcomponentes de rotor, pás e cubo e 365 km de subcomponentes de nacelle.

Analizando em maiores detalhes, identificou-se no Estado do Rio Grande um fabricante de aerogerador (montadora), um fornecedor de subcomponentes de nacelle e um fabricante de subcomponentes para torres, demonstrado na Figura 37. Devido à proximidade a Lagoa dos Patos, o transporte fluvial pode ser uma boa opção para esses componentes.

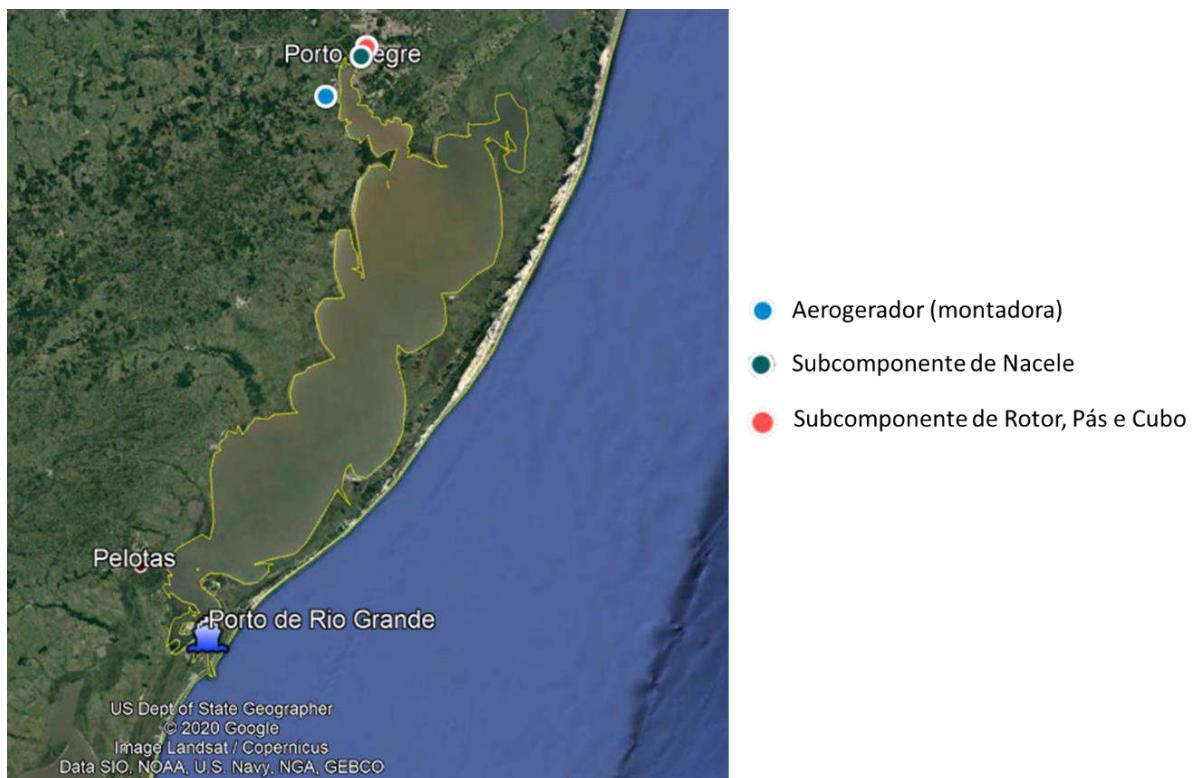


Figura 37 – Porto de Rio Grande em relação a fabricantes de aerogerador, subcomponentes de nacelle e subcomponentes de rotor, pás e cubo. Fonte: Elaboração própria utilizando Google Earth Pro (versão 7.3.2.5576) e dados da ABDI (2017).

Em 2005 o Porto de Rio Grande foi utilizado para descarregar peças para a Usina Eólica de Osório. Ao todo, 85 volumes foram movimentados, pesando ao todo 510 toneladas e chegando a 5 metros de comprimento (ESTADO, 2005).

6.5. DISTÂNCIA ENTRE OS PORTOS (CABOTAGEM)

O próprio estudo da ABDI (2017) cita que uma das maiores dificuldades na indústria eólica brasileira é o transporte e logística de materiais, tanto na parte terrestre quanto aquática. Os autores mencionam também a falta de caminhões especiais e rotas adequadas para o transporte dos produtos.

Na parte aquática, a falta de embarcações para o transporte marítimo ou de navios especializados, assim como dificuldades na infraestrutura de portos, inviabiliza o transporte de produtos via cabotagem. Isso sinaliza que se a atual malha portuária marítima é incapaz de atender a indústria eólica *onshore*, as dificuldades enfrentadas pela eólica *offshore* provavelmente serão maiores, pois os componentes são maiores e exigem mais material para a instalação.

A Tabela 14 mostra a distância aproximada, em milhas náuticas², entre o Porto de Pecém, Porto de Suape, Porto de Açu e Porto de Rio Grande.

Tabela 14 – Distância, em Milhas Náuticas, entre os portos de Pecém, Suape, Açu e Rio Grande.

PORTOS	Porto de Pecém	Porto de Suape	Porto de Açu	Porto de Rio Grande
Porto de Pecém	-	441 MN	1.346 MN	2.258 MN
Porto de SUAPE	441 MN	-	905 MN	1.817 MN
Porto de Açu	1.346 MN	905 MN	-	912 MN
Porto de Rio Grande	2.258 MN	1.817 MN	912 MN	-

* Distâncias calculadas utilizando o aplicativo Google Earth Pro versão 7.3.2.5776, considerando via marítima margeando a costa, a uma distância máxima de 20 km.

Fonte: Elaboração própria.

² Conversão de Milha Náutica (MN) para Quilômetro (Km): 1 MN = 1,852 Km

Nota-se que a maior extensão entre os portos está entre o Porto de Pecém e o Porto de Rio Grande, apresentando uma distância aproximada de 2.258 milhas náuticas. Em 2017, por exemplo, no Porto de Pecém vinte e quatro pás de 62 metros cada foram embarcadas no navio BBC Scandinavia e enviadas para o Porto de Rio Grande, onde foram desembarcadas (PECÉM, 2017). A cabotagem entre portos voltados para a indústria eólica é, portanto, uma possibilidade, já testada no Brasil.

6.6. INDICADORES DE ADEQUAÇÃO DOS PORTOS

No estudo desenvolvido por AKBARI *et al.*, (2017) uma análise foi feita de quais critérios portuários, hierarquicamente, seriam fundamentais para a indústria eólica *offshore*. Fatores como características físicas, conectividade e disposição, influenciam diretamente na escolha do local mais adequado para atender a fazenda eólica *offshore*.

As características físicas incluem:

- **Profundidade:** esse parâmetro impacta na capacidade das embarcações de atenderem as diferentes fases do projeto. Na fase de instalação, geralmente são utilizados embarcações de grande porte (calado maior que 8 metros), portanto a profundidade dos portos de instalação deve ser maior do que, por exemplo, os portos de O&M onde geralmente embarcações menores são utilizadas;
- **Comprimento do Cais:** esse parâmetro está associado ao comprimento da embarcação, conhecido também como LOA (*length overall*). Algumas embarcações de instalação podem chegar a um LOA de 200 metros;
- **Capacidade de Carga do Cais:** esse parâmetro reflete a capacidade do solo do porto em suportar os pesos de diferentes componentes do projeto eólico. Geralmente, uma capacidade entre 15 e 20 toneladas/m² é considerado adequado pela indústria. Entretanto, por falta de dados, esse quesito não será avaliado no presente estudo;
- **Adequação do Solo de Fundo:** esse parâmetro está mais diretamente relacionado às embarcações auto elevatórias, pois a característica do solo de fundo da região portuária vai influenciar na sustentação do peso durante o

carregamento. Novamente, por falta de dados, esse quesito não será avaliado;

- **Equipamento de Manuseio dos Componentes:** os portos precisam de equipamentos adequados para manusear, no sentido de levantar, movimentar e baixar, cargas pesadas como as naceles, pás e torres.

Considerando as características de conectividade dos portos, esses incluem:

- **Distância do Parque Eólico Offshore:** a distância dos portos em relação aos parques eólicos offshore estão diretamente relacionados ao tempo e, consequentemente, o custo das fases de instalação e O&M;
- **Distância dos Fornecedores:** os principais componentes de um projeto eólico offshore, como pás, torres, naceles e as subestações são estruturas grandes e apresentam desafios logísticos, portanto quanto mais perto os portos, especialmente de instalação, estiverem desses fornecedores, menor o custo de transporte;
- **Distância das Redes Rodoviárias:** para o transporte dos componentes de um projeto eólico, os portos precisam estar conectados as redes rodoviárias, que por sua vez deveriam ser capazes de atender os requisitos para uma logística segura, como por exemplo, uma largura mínima de 5,5 metros. Nessa análise, os portos serão avaliados em relação a malha rodoviária, porém não especificamente nos demais critérios técnicos;
- **Distância de Heliporto:** esse parâmetro é considerado somente para portos de O&M, pois helicópteros são utilizados em determinadas condições climáticas, providenciando acesso rápido de pessoal e material.

Por fim, as características de disposição dos portos incluem:

- **Espaço de Armazenamento:** quando os componentes são entregues para o porto, os mesmos são primeiro armazenados e depois montados. Considerando a dimensão dos projetos eólicos offshore, grandes áreas de armazenamento são necessárias. Idealmente, essas áreas de armazenamento estão de frente ou próximas do cais, facilitando assim o seu transporte e montagem dentro do porto. Essa característica também considera áreas de armazenamento abertos, fechados e capacidade de carga;

- **Disponibilidade dos Fabricantes de Componentes:** esse parâmetro é mais importante para os portos de instalação. Com o objetivo de reduzir o custo de transporte dos componentes, assim como as etapas de carregamento/descarregamento, locar fabricantes de componentes nos portos permitindo assim o transporte direto para o local de instalação tem-se mostrado uma estratégia favorável, com diversos portos pela Europa adotando a mesma estratégia;
- **Disponibilidade de Área para Montagem:** esse parâmetro também é mais crucial para os portos de instalação, pois muitos dos componentes das turbinas eólicas precisam ser montados no porto, portanto áreas de cais suficientes são elementos importantes a serem considerados;
- **Área de Workshop:** esse parâmetro é considerado somente para os portos de O&M pois são utilizados para o reparo de componentes danificados e defeituosos;
- **Disponibilidade de Escritórios:** novamente, esse parâmetro é considerado somente para os portos de O&M, pois como esses serviços são praticamente diários, cria-se a necessidade de uma base local administrativa para gerenciar tanto o pessoal quanto o material;
- **Potencial para Expansão:** selecionar e investir em instalações portuárias é uma decisão estratégica de longo prazo, portanto portos com potencial de expansão são considerados mais desejáveis do que portos com expansão limitada;
- **Capacidade Lo-Lo / Ro-Ro:** portos precisam de equipamentos suficientes para lidar com componentes como nacelas, pás e torres. Esses componentes são manuseados através do método "*lift-on lift-off*" (Lo-Lo) ou "*roll-on roll-off*" (Ro-Ro).

Após levantar as características portuárias mais relevantes para projetos eólicos *offshore*, os autores ranquearam quais eram mais e menos importantes baseado na opinião de especialistas do setor de eólica *offshore*. Os resultados de rank diferem entre Portos de Instalação e Portos de O&M, como demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Ranking das características de Portos de Instalação e Portos de O&M.

Rank	Característica	
	Porto de Instalação	Porto de O&M
1	Distância do Parque Eólico Offshore	Distância do Parque Eólico Offshore
2	Capacidade de Carga do Cais	Capacidade de Carga do Cais
3	Profundidade do Porto	Distância ao Heliporto
4	Adequação do Solo de Fundo	Disponibilidade de Escritórios
5	Comprimento do Cais	Distância de Fornecedores
6	Potencial para Expansão	Distância das Redes Rodoviárias
7	Disponibilidade de Área para Montagem	Área de Workshop
8	Distância de Fornecedores	Capacidade Lo-Lo
9	Capacidade de Carga do Espaço de Armazenamento	Área abrigada de Armazenamento
10	Capacidade Lo-Lo	Comprimento do Cais
11	Distância das Redes Rodoviárias	Profundidade do Porto
12	Presença dos Fabricantes de Componentes	Guindastes
13	Acesso da área de assentamento ao lado do cais	Potencial para Expansão
14	Área de Armazenamento Externa	Adequação do Solo de Fundo
15	Guindastes	Área de Armazenamento Externa
16	Área de Armazenamento Interna	Capacidade Ro-Ro
17	Capacidade Ro-Ro	Capacidade de Carga do Espaço de Armazenamento

Fonte: Elaboração própria, adaptado de AKBARI *et al.* (2017).

De acordo com o trabalho realizado por AKBARI *et al.* (2017), a atual tendência global na fase de construção de fazendas eólicas *offshore* consiste na fabricação ou entrega dos componentes a um porto de instalação onde serão montados e carregados nas embarcações de instalação que irão para os locais *offshore*. Para tal, a maioria das empresas opta por minimizar o trabalho realizado no ambiente *offshore*, realizando o máximo da montagem em terra, nos portos. Com isso, acelera-se o custoso período de instalação *offshore* e otimiza-se a janela de oportunidade de instalação, que é influenciada pelas condições de tempo.

Para a fase de O&M (Operação e Manutenção), os portos servem como uma base de serviço rotineiros e idealmente não deveriam estar a mais de 200 km do local das fazendas *offshore*. Os critérios e requerimentos entre a seleção de um porto de instalação e um porto de O&M diferem, pois as empresas preferem para um porto de instalação, por exemplo, uma área com maior profundidade e uma extensa área *onshore* para armazenamento e montagem dos componentes da turbina. Para um porto de O&M esses mesmos critérios não são necessários.

Percebe-se que, tanto para portos de instalação quanto para portos de O&M, o fator de escolha que determina qual área portuária é mais adequada para o parque eólico *offshore* é a própria distância entre o porto e o parque. Isso está diretamente relacionado ao custo elevado de transporte, associado aos projetos *offshore*, portanto quanto mais perto o porto é do parque, menor o custo de transporte e consequentemente menor o custo geral do projeto.

Em relação a estrutura portuária, outros critérios importantes devem ser considerados durante a fase de planejamento como, por exemplo, a janela de oportunidade para instalação das turbinas *offshore*. Na região Norte da Europa, por exemplo, com o intuito de minimizar os custos de instalação, a fase do projeto de instalação das turbinas eólicas *offshore* é feito durante o período de verão, quando as condições de tempo estão mais favoráveis. Nas demais estações (primavera, outono e inverno) o tempo de instalação pode aumentar por causa das más condições de tempo, aumentando assim o custo de instalação (AKBARI *et al.*, 2017). É fundamental, portanto, que na fase de planejamento dos projetos de eólica *offshore* no Brasil, esse fator seja levado em consideração, especialmente nas regiões Sul e Sudeste onde há ocorrência de sistemas frontais (RODRIGUES *et al.*, 2004).

7. EMBARCAÇÕES

A principal forma de transportar, instalar e providenciar suporte durante as fases de instalação e O&M de parques eólicos *offshore* é através de embarcações. Dependendo do tipo de embarcação utilizada, isso pode ter um impacto direto no custo e sua utilização também é delimitada pela capacidade portuária em receber tais embarcações (SARKER & FAIZ, 2017).

7.1. EMBARCACÕES UTILIZADAS PELA INDÚSTRIA EÓLICA OFFSHORE

Conforme demonstra o estudo feito pelo Departamento de Energia do governo americano (EUA, 2013), onde avaliou-se os requisitos mínimos de embarcações para o setor eólico *offshore* nos Estados Unidos, as seguintes embarcações foram identificadas:

- **Embarcações de Pesquisa:** utilizados na fase pré-projeto, levantando dados ambientais, geofísicos (batimetria, mapeamento do fundo e estratigrafia) e geotécnicos (análises de sedimento e comportamento do solo). Comprimento varia de 15 a 160 metros, calado de 1,2 a 8,0 metros e velocidade de 6 a 21 nós;
- **Embarcações Auto-elevatória (*Jack-up*):** embarcação mais comum utilizada na instalação de turbinas eólicas *offshore*. Podem ser de autopropulsão ou plataformas rebocadas até o local de instalação. São caracterizadas por pernas mecanizadas que movimentam verticalmente a embarcação ou plataforma. Comprimento varia de 40 a 100 metros, calado de 2,4 a 8,3 metros e velocidade de 7 a 8 nós;
- **TIV (*Turbine Installation Vessels*):** embarcações construídas exclusivamente para atender o mercado eólico *offshore*, podendo tanto realizar a instalação de turbinas como realizar atividades de O&M (Operação e Manutenção). São de auto propulsão, equipadas com pelo menos um guindaste, possuem sistema DP (posicionamento dinâmico), podem ter de quatro a oito pernas mecânicas, com capacidade de carregar até dez turbinas de 5-6 MW montadas. Comprimento varia de 75 a 160 metros, calado de 3,4 a 10,9 metros e velocidade de 6 a 13 nós;

- **CLV (Cable-lay Vessels):** embarcações utilizadas especificamente para lançamento de cabos (elétricos ou de telecomunicação). São embarcações de grande porte (tamanho médio de 114,65 m e calado médio de 6,35 m), portanto geralmente não operam em águas muito rasas (5 a 12 metros de profundidade). São capazes de lançar até dois cabos ao mesmo tempo, assim como reparar e juntar cabos se necessário. Embarcações mais modernas conseguem lançar cabos a uma velocidade de até 14 nós. Em áreas de água rasa (até 30m de profundidade) ou áreas de pesca, os cabos precisam ser protegidos para evitar quaisquer danos, seja dragando e enterrando ou cobrindo os cabos com pedras. Comprimento varia de 25 a 150 metros, calado de 2,0 a 9,1 metros e velocidade de 8 a 18 nós;
- **HLV (Heavy Lift Vessels):** embarcações projetadas especificamente para o transporte de cargas grandes e pesadas que não podem ser transportadas de forma convencional (utilizando rebocadores, por exemplo). Amplamente utilizadas na indústria e O&G ao redor do mundo, na Europa foram especificamente utilizadas pela indústria eólica *offshore* para o transporte de subestações e fundações, assim como no processo de instalação. Comprimento varia de 100 a 180 metros, calado de 3,6 a 13,5 metros e velocidade de 6 a 17 nós;
- **Rebocadores:** embarcações tipo rebocadores são utilizadas em diversas fases da cadeia produtiva eólica *offshore*. Sua principal função é rebocar outras embarcações, barcas e cargueiros, seja dentro de áreas portuárias, entre portos (cabotagem) ou até em locais marítimos (*offshore*). Comprimento varia de 20 a 50 metros, calado de 3,2 a 6,3 metros e velocidade de 11 a 16 nós;
- **Balsas:** embarcações caracterizadas por um casco achatado, utilizadas para transportar cargas pesadas ou durante a fase de construção *offshore*. Tipicamente não são de auto propulsão, sendo, portanto, rebocadas até o destino final. Balsas de transporte possuem um deck amplo e aberto, facilitando a carga e descarga. São consideradas uma opção comparativamente barata, de fácil construção e de maior disponibilidade, porém possuem mais limitações, como menor velocidade de passeio e maior sensibilidade às condições meteoceanográficas. Comprimento varia de 25 a 100 metros, calado de 2,5 a

3,6 metros. Sua velocidade é limitada pela velocidade do rebocador e especialmente pelo tamanho das ondas (máximo 2 metros de altura);

- **OSV (*Offshore Supply Vessels*):** embarcações utilizadas para transportar carga, suprimentos e tripulação. Geralmente são utilizadas pela indústria de O&G pois são velozes (16 a 22 nós) e versáteis. Justamente por isso, costumam ter uma diária comparativamente alta. Porém, como ocorreu na indústria eólica *offshore* Européia, a grande disponibilidade desse tipo de embarcação em função da presença da indústria de O&G no Mar do Norte, facilitou sua adaptação e utilização. Comprimento varia de 45 a 110 metros, calado de 3,8 a 6,7 metros e velocidade de 12 a 17 nós;
- **PTV (*Personnel Transfer Vessels*):** em projetos eólicos *offshore*, esse tipo de embarcação é utilizado tanto durante a fase de instalação quanto de O&M. Na fase de instalação, permite a troca de turma e fornecimento de suprimentos para as embarcações de instalação. Quando manutenções são necessárias, esse tipo de embarcação é utilizada para transportar a equipe de manutenção, assim como auxiliar na logística de pessoal e suprimentos das embarcações de manutenção pesada (HVM). Podem transportar de 15 a 30 passageiros com autonomia de até 70 milhas náuticas. Comprimento varia de 20 a 70 metros, calado de 0,9 a 3,6 metros e velocidade de 16 a 36 nós;
- **HMV (*Heavy Maintenance Vessels*):** esse tipo de embarcação é geralmente utilizado quando há necessidade de manutenção e movimentação das peças de maiores dimensões, como as pás, nacelas ou torres. Podem ser utilizadas também durante a fase de desativação dos parques eólicos *offshore*. Se encaixam na mesma categoria dos TIV porém tendem a serem versões mais antigas, refletindo em um custo mais baixo.

Percebe-se, portanto, que para algumas fases críticas de projetos eólicos *offshore*, há utilização de embarcações que foram construídas especificamente para atender a indústria eólica *offshore* específicas, como as TIVs e auto-elevatórias. Por outro lado, grande parte da frota de um projeto eólico *offshore* conta com a utilização de embarcações de uso múltiplo, provenientes de outras indústrias, como a de O&G, sendo elas as embarcações de pesquisa, HLVs, rebocadores, balsas, OSVs e PTVs.

Com isso, uma etapa fundamental, a nível nacional, para o planejamento e desenvolvimento da indústria eólica *offshore* no Brasil é o levantamento da frota de embarcações disponíveis no Brasil.

7.2. EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO NO BRASIL

A navegação de apoio marítimo é classificada como o apoio logístico para embarcações e instalações em águas nacionais, delimitadas pela ZEE (Zona Economicamente Exclusiva), atuando nas atividades de pesquisa, mineração e hidrocarbonetos. De acordo com o levantamento feito pela Associação Brasileira das Empresas de Apoio Marítimo (ABEAM), em janeiro de 2020 haviam 363 embarcações atuando no Brasil, em sua grande maioria, prestando serviço para a indústria de petróleo.

As embarcações de apoio marítimo desempenham funções específicas, como a montagem e lançamento de equipamentos, manuseio de ancoras, transporte de pessoal, combate a vazamento de óleo no mar e manutenção de estruturas *offshore*, detalhadas a seguir:

- **AHTS (*Anchor Handling Tug Supply*):** embarcações tipo rebocador, especializadas para manusear âncoras e transportam suprimentos também. Medem entre 60 e 80 metros de comprimento, com HP variando entre 6.000 e 20.000;
- **Crew:** embarcações utilizadas para transporte rápido da tripulação e de outras equipes que atuam em plataformas;
- **DSV (*Diving Support Vessel*):** embarcações especializadas para suporte e apoio aos profissionais de mergulho, que atuam em atividades de reparo e manutenção de estruturas submarinas;
- **Fotel:** embarcação que presta serviço de apoio às atividades das plataformas *offshore*, como hotelaria, geração de energia elétrica e manutenção;
- **FSV (*Fast Supply Vessel*):** embarcações utilizadas para transporte rápido de suprimentos;
- **LH (*Line Handling*):** embarcações utilizadas no manuseio de cabos de amarração. Média de 35 metros de comprimento e potência em torno de 1.800

HP;

- **MPSV (*Multipurpose Supply Vessel*)**: embarcações que exercem tarefas múltiplas, como pesquisa, transporte de suprimento e manuseio de âncoras também;
- **OSRV (*Oil Spill Response Vessel*)**: embarcações adaptadas para o combate de derramamento de óleo no mar, contendo barreiras de contenção, equipamentos de recolhimento de óleo no mar e dispersantes químicos. Devido ao seu maior espaço de deck, atuam também como PSVs;
- **PLSV (*Pipe Laying Support Vessel*)**: embarcações consideradas complexas e altamente especializadas, utilizadas para construção e lançamento de linhas rígidas/flexíveis;
- **PSV (*Platform Supply Vessel*)**: embarcações de apoio às plataformas de petróleo, utilizadas para transporte de material de suprimento, como rancho, cimento, tubos, óleo etc. Medem de 60 a 100 metros de comprimento com HP médio de 5,000;
- **RSV (*ROV Support Vessel*)**: embarcações de apoio projetadas para o lançamento e operação de ROVs (*Remotely Operated Vehicles*), que são veículos de pequeno porte, não-tripulado e operados remotamente por uma equipe na embarcação, realizando serviços gerais de pesquisa, inspeção, manutenção e suporte à construção;
- **SSV (*Standby Safety Vessel*)**: embarcações utilizadas para o pronto atendimento e apoio às plataformas;
- **SV (*Supply Vessel*)**: embarcações de apoio às plataformas de petróleo, porte menor que os PSVs;
- **WSV (*Well Stimulation Vessel*)**: embarcações utilizadas para estimulação de poços de petróleo, dotados de equipamentos para monitorar e melhorar a produtividade de poços de petróleo em operação;
- **WIV (*Well Intervention Vessel*)**: semelhante às WSV, são embarcações utilizadas para realizar operações de intervenção ou manutenção de poços de petróleo.

A Figura 38 demonstra a quantidade e tipo de embarcações de apoio marítimo atuando no Brasil no período entre 2015 e 2020. O tipo de embarcação com maior quantidade no Brasil nesse período foram os PSVs e OSRVs, variando de 214 (2015) a 174 (2020), seguidos por LH/SVs (62 a 69), AHTS (74 a 46), Crew/FSV (21 a 24), PLSV (12 a 16), RSV (12 a 13), MPSV (9 a 8), DSV (4 a 5), WSV (4 a 3), WIV (0 a 2), Flotel (0 a 2) e SSV (0 a 1).

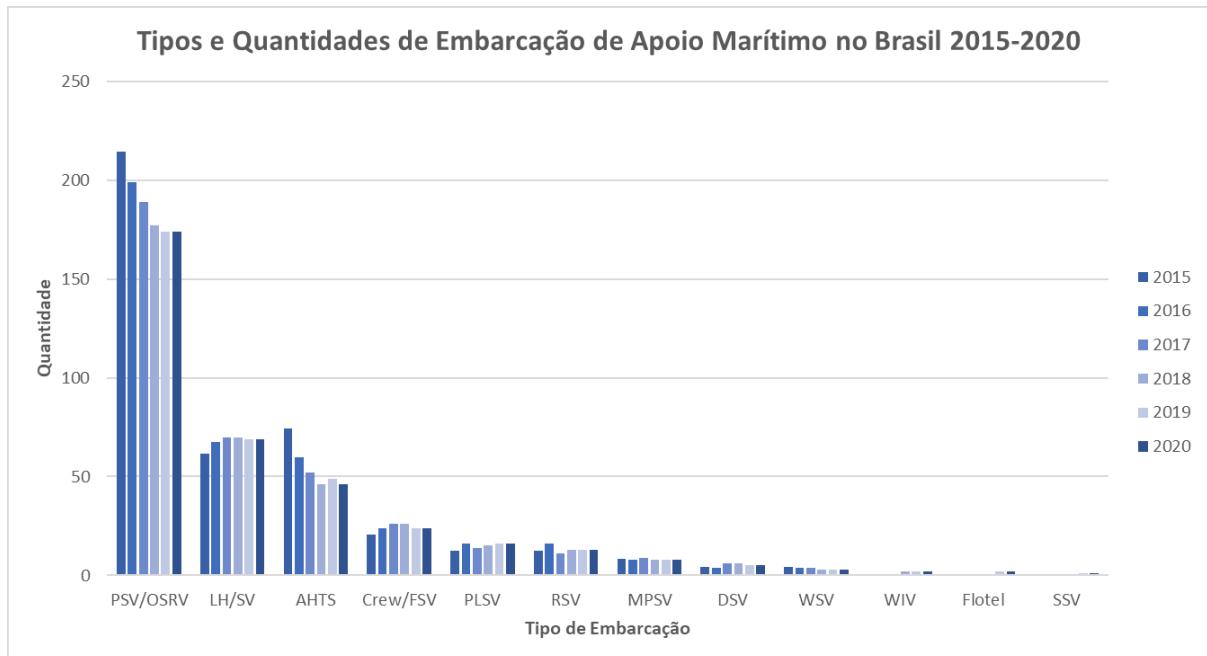


Figura 38 – Tipos de embarcação de apoio marítimo atuando no Brasil entre 2015 e 2020,

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da ABEAM (2020).

Analizando a Figura 38, percebe-se que quanto mais específico a embarcação é, em termos de escopo, menor a sua disponibilidade. PSVs e OSRVs são embarcações versáteis, podendo atender a uma variedade de serviços, como o transporte de bens e materiais, transporte de pessoal, suporte logístico as plataformas de petróleo, reboque e até combater vazamentos de óleo no mar.

Cabe mencionar dois tipos de embarcações que não foram consideradas no levantamento feito pela ABEAM mas possuem presença em território nacional. A primeira seriam os rebocadores, classificados como portuários e marítimos.

Os rebocadores portuários são embarcações menores de potência elevada e grande mobilidade, utilizados para auxiliar na movimentação e manobras de outras embarcações durante atracação e desatracação. Podem executar tarefas adicionais também como o transporte de pessoal e pequenas cargas. Sua área de atuação,

porém, é restrita a área portuária. Os rebocadores marítimos são embarcações potentes, capazes de rebocar navios em áreas desabrigadas. Porém, como atuam em áreas marítimas, não podem fazer o transporte de mercadorias, somente de pessoal (BNDES, 2017).

De acordo com o levantamento feito pelo BNDES em 2016, a quantidade de rebocadores portuários e marítimos no Brasil era de 480 embarcações, considerando somente em portos marítimos. Dos 480, 155 eram portuários, 194 marítimos, 51 de cabotagem e 8 de longo curso. Identifica-se, portanto, que cerca de 253 rebocadores poderiam operar em águas desabrigadas.

O outro tipo de embarcação que não foi contabilizado no estudo feito pela ABEAM foram os guindastes do tipo Cábrea, que são basicamente guindastes construídos em plataformas flutuantes (Figura 39) utilizados para carregar e descarregar cargas. Por estarem em bases flutuantes, sua navegação é limitada a áreas abrigadas ou condições de mar calmo. De acordo com o levantamento feito pela ANTAQ (Agência Nacional de Transporte Aquaviários), em 2012 haviam nove embarcações do tipo Cábrea no Brasil, com Tonelagem de Porte Bruto (TPB) variando entre 168 e 2.000 toneladas. Destaca-se, entretanto, que todas essas embarcações possuem mais de 30 anos de vida, algumas com a data de construção em 1913 (ANTAQ, 2012).



Figura 39 – Guindaste tipo Cábrea. Fonte: LOCAR, 2020.

Como mencionado, em sua grande maioria, as embarcações de apoio marítimo no Brasil prestam serviço à indústria de O&G, portanto são influenciadas por estratégias nacionais e flutuações do valor de barril de petróleo, como demonstrado na Figura 40.

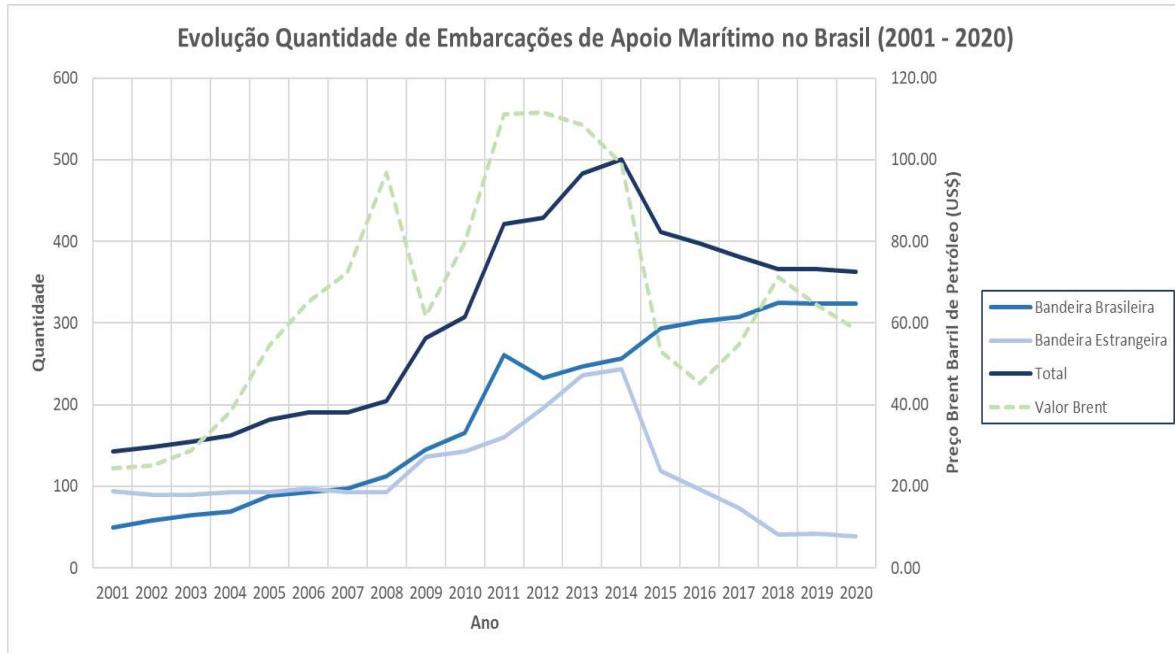


Figura 40 – Evolução da quantidade de embarcações de apoio marítimo no Brasil e valor do barril de petróleo, entre 2001 e 2020. Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da ABEAM (2020).

Ao analisar a Figura 40, evidenciam-se dois momentos cruciais para o cenário brasileiro, em termos da frota de apoio marítimo. O primeiro momento de destaque ocorre a partir de 2006, com a descoberta das grandes reservas nos campos de pré-sal. A Petrobrás, que possui o monopólio estatal na exploração e produção de petróleo no Brasil, implementou um agressivo plano de investimento, expandindo a produção de petróleo bruto (FURTADO, 2019), contribuindo para o crescimento da indústria de O&G no Brasil, consequentemente levando ao aumento da frota de apoio marítimo. Apesar da queda do preço do barril de petróleo em 2008, quando o valor do barril foi de US\$ 96,94 para US\$ 61,74, o número de embarcações e seu crescimento não foram afetados.

O segundo momento de destaque ocorre quando o preço do barril de petróleo cai novamente em 2014, de US\$ 98,97 para US\$ 53,03. Dessa vez, a indústria de petróleo nacional não foi capaz de absorver a crise, como fez em 2008. A política de preços da Petrobrás aumentou significativamente seu endividamento que, aliado a instabilidade política na época e os casos de corrupção dentro da própria Petrobrás (FREITAS, 2019), geraram uma crise dentro da maior empresa de petróleo no Brasil, afetando diretamente a indústria de O&G. Com isso, nota-se que a partir de 2014 a quantidade de embarcações totais no Brasil caiu, influenciada majoritariamente pela queda abrupta de embarcações de bandeira estrangeira em território nacional.

A mesma dinâmica foi identificada para a quantidade de plataformas de petróleo atuando no Brasil, conforme demonstrado na Figura 41 no levantamento feito pela IBP (2019).

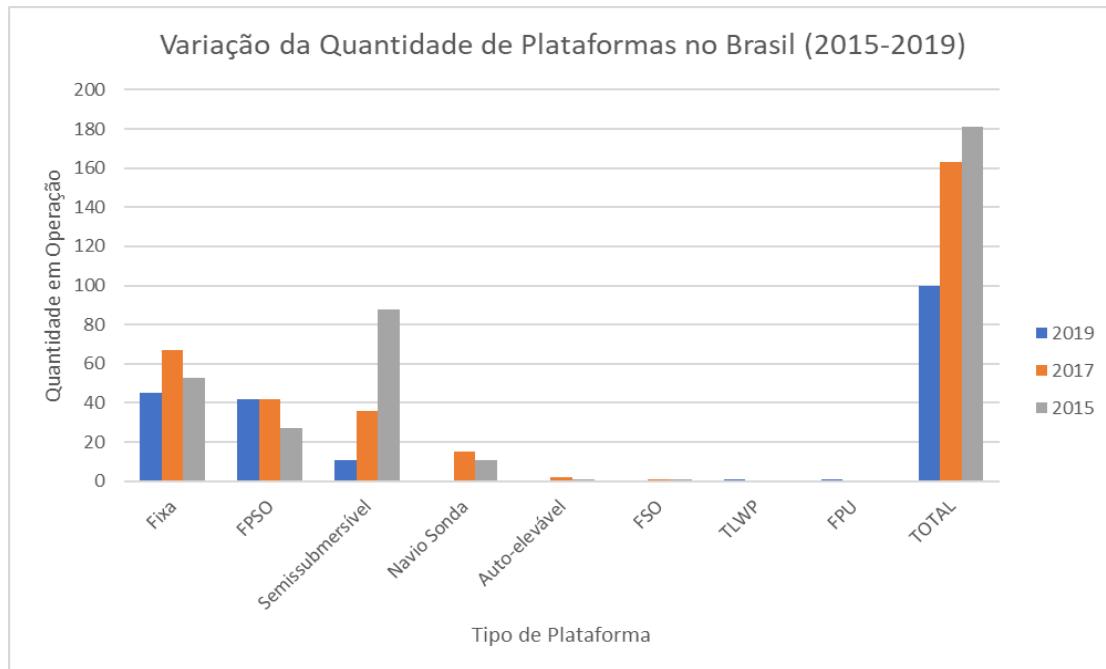


Figura 41 – Variação da quantidade de plataformas no Brasil entre 2015 e 2019 (FPSO: Floating Production Storage and Offloading; FSO: Floating Storage and Offloading; TLWP: Tension Leg Wellhead Platform; FPU: Floating Production Unit). Fonte: Elaboração própria, adaptado de IBP (2020).

Destaca-se como a quantidade total de plataformas diminuiu entre 2015 (181) para 2019 (100). Nota-se também a quantidade de plataformas do tipo semissubmersíveis em 2015 (88), representando a maior quantidade de plataforma em operação nos três períodos analisados, evidenciando a experiência em território nacional na mobilização e desmobilização desse tipo de estrutura, que, conforme mencionado anteriormente, se assemelha com a instalação de turbinas eólicas offshore flutuantes ancoradas.

As plataformas do tipo fixas, que variaram entre 45 e 67 unidades, também se assemelham ao método de instalação das turbinas eólicas offshore fixas (mono-estaca e tripé). Por fim, nota-se que em 2015 e 2017 haviam de uma a duas plataformas do tipo auto-eleváveis, porém em 2019 foram descomissionadas, apresentando uma oportunidade para a indústria eólica offshore na utilização de plataformas aposentadas pela indústria de O&G.

Conforme levantado por IRENA (2019b) a indústria eólica offshore, em sua fase

inicial de desenvolvimento, se aproveita da cadeia produtiva da indústria eólica *onshore* e da indústria de petróleo, porém com o amadurecimento da indústria, tende a criar uma cadeia produtiva própria, com equipamentos e serviços especializados. A Tabela 16 demonstra quais embarcações, e a quantidade, até o final de 2020, no Brasil poderiam atender o escopo da indústria eólica *offshore*. Nota-se que apenas a quantidade foi avaliada e não a disponibilidade.

Tabela 16 – Relação entre embarcações utilizadas pela indústria eólica *offshore* e de apoio marítimo, com a quantidade de acordo com o último levantamento feito pelo órgão responsável.

Embarcações utilizadas pela indústria eólica <i>offshore</i>	Embarcações de apoio marítimo de escopo semelhante	Quantidade Total, Ano e Referência
Embarcação de Pesquisa	MPSV, ROV	21 (2020) – ABEAM
Embarcações Auto elevatórias	Plataformas auto-elevável	2 (2017) – IBP
TIV	Não identificado	Não identificado
CLV	PLSV LH	16 (2020) – ABEAM 69 (2020) – ABEAM
HLV	Não identificado	Não identificado
Rebocadores	Rebocadores marítimos ATHS	253 (2017) – BNDES 46 (2020) – ABEAM
Balsas	Cábrea guindase	9 (2012) – ANTAQ
OSV	PSV, OSRV, AHTS, RSV, MPSV	310 (2020) – ABEAM
PTV	Crew, FSV	24 (2020) – ABEAM
HMV	Não identificado	Não identificado

Fonte: Elaboração própria.

8. DESENVOLVIMENTO DA EÓLICA OFFSHORE NA EUROPA, CHINA E ESTADOS UNIDOS

Em termos de eólica *offshore*, o mercado é claramente dominado pela Europa (Figura 42), que ao final de 2020 era liderado pelo Reino Unido (10.383 MW), seguida pela Alemanha (7.747 MW) e Dinamarca (1.700 MW). A Ásia, com a segunda maior contribuição é novamente impulsionada pelos esforços da China, que ao final de 2018 tinha 4.588 MW de capacidade instalada. A América do Norte conta somente com a participação dos Estados Unidos, que em 2016 inaugurou seu primeiro projeto de eólica *offshore*, o *Block Island Wind Farm*, desenvolvido pela Deepwater Wind, próximo a costa de *Rhode Island* (AWEA, 2021).

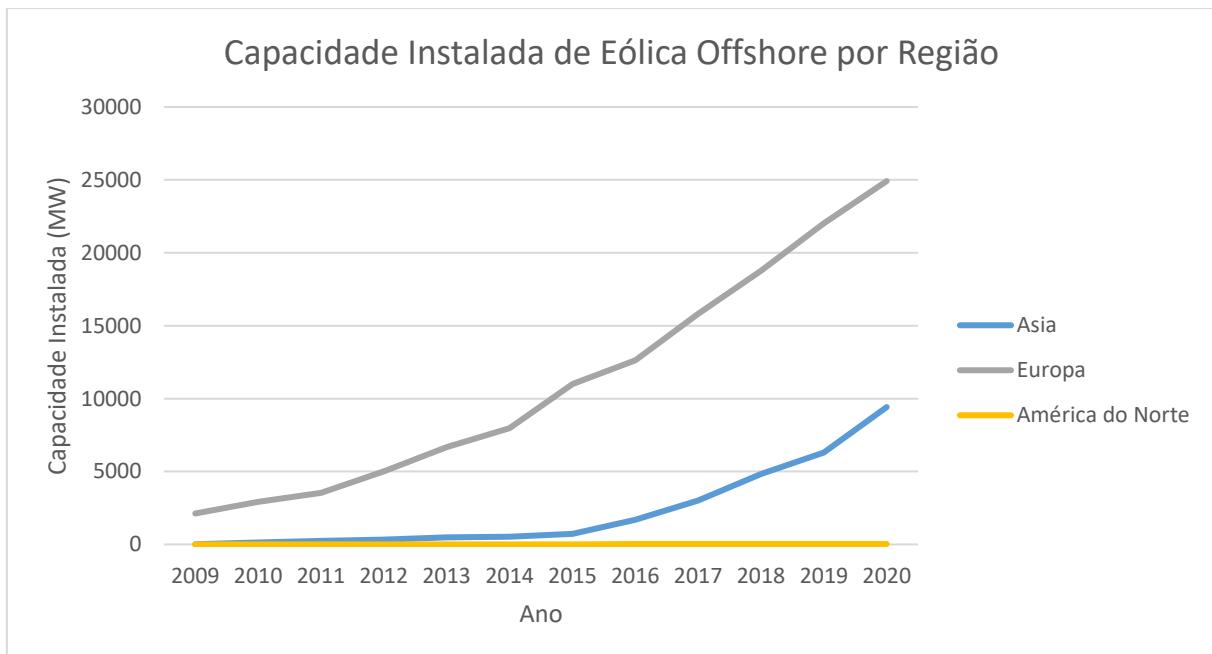


Figura 42 – Capacidade instalada de eólica *offshore* por região. Fonte: Elaboração própria, adaptado de IRENA (2021).

No estudo feito por DECASTRO *et al.* (2019), analisou-se o desenvolvimento dessa indústria em casa uma dessas regiões, avaliando, de acordo com os autores, os aspectos fundamentais para a evolução da indústria eólica *offshore*: processo de licenciamento, planejamento do espaçamento marítimo e medidas de suporte econômico.

8.1. EUROPA

Em 2019, de acordo com o levantamento feito pela Wind Europe (2019), 502 novas

turbinas eólicas foram instaladas, totalizando mais de 22 GW de capacidade instalada, fornecidas por 5.047 turbinas eólicas *offshore*. O país liderando esses números, com 45% da capacidade instalada na Europa é o Reino Unido (9.945 MW), seguido pela Alemanha com 34% (7.445 MW), Dinamarca com 8% (1.703 MW), Bélgica com 7% (1.556 MW) e Holanda com 5% (1.118 MW). A principal área de instalação dos parques eólicos *offshore* é o Mar do Norte, contendo 77% dos empreendimentos, seguido pelo Mar da Irlanda (13%) e Mar Báltico (10%), conforme demonstrado na Figura 43.

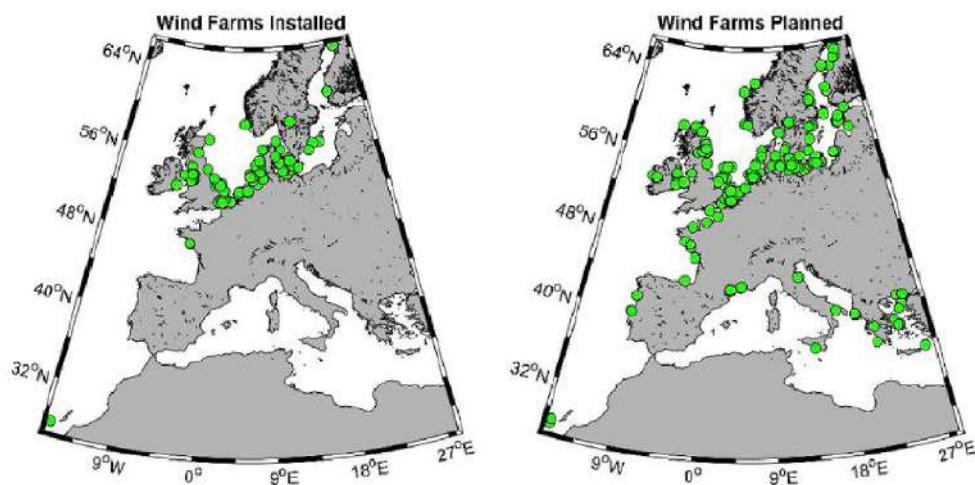


Figura 43 – Localização dos Parques Eólicos Offshore (a) instalados e (b) planejados para 2018.

Fonte: DECASTRO *et al.* (2019).

Desde a primeira turbina eólica instalada na Europa, pela Dinamarca em 1991, a região passou por um longo processo de maturação da indústria, melhora tecnológica e gestão de projeto, culminando também no aumento da confiança do investidor (DECASTRO *et al.*, 2019). A Figura 44 e a Tabela 17 resumem a evolução das principais legislações na Europa e as autoridades responsáveis pelo processo de licenciamento em cada país.

Tabela 17 – Principais Autoridades envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore na Europa.

Legislações e Políticas	
País	Principais Autoridades
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> • MMO (Organização da Gestão Marinha): cede a licença para a transmissão de grid; • The Crown State: emite a licença do empreendimento.
Dinamarca	<ul style="list-style-type: none"> • Agência de Energia Dinamarquesa: exige licenças para serviços das fases preliminares, de instalação e operação de fazendas eólicas offshore.
Alemanha	<ul style="list-style-type: none"> • BSH (Agência Federal Marítima e Hidrográfica): aprova a instalação de fazendas eólicas offshore nas zonas economicamente exclusivas; • Estado Costeiro: aprova a instalação dos cabos no leito de mar da área territorial, assim como as licenças para fazendas eólicas offshore localizadas no mar territorial
Holanda	<ul style="list-style-type: none"> • RVO (Agencia Empresarial da Holanda): cede a licença eólica, composta pelo posse da terra e permissão para construção.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de DECASTRO *et al.* (2019).

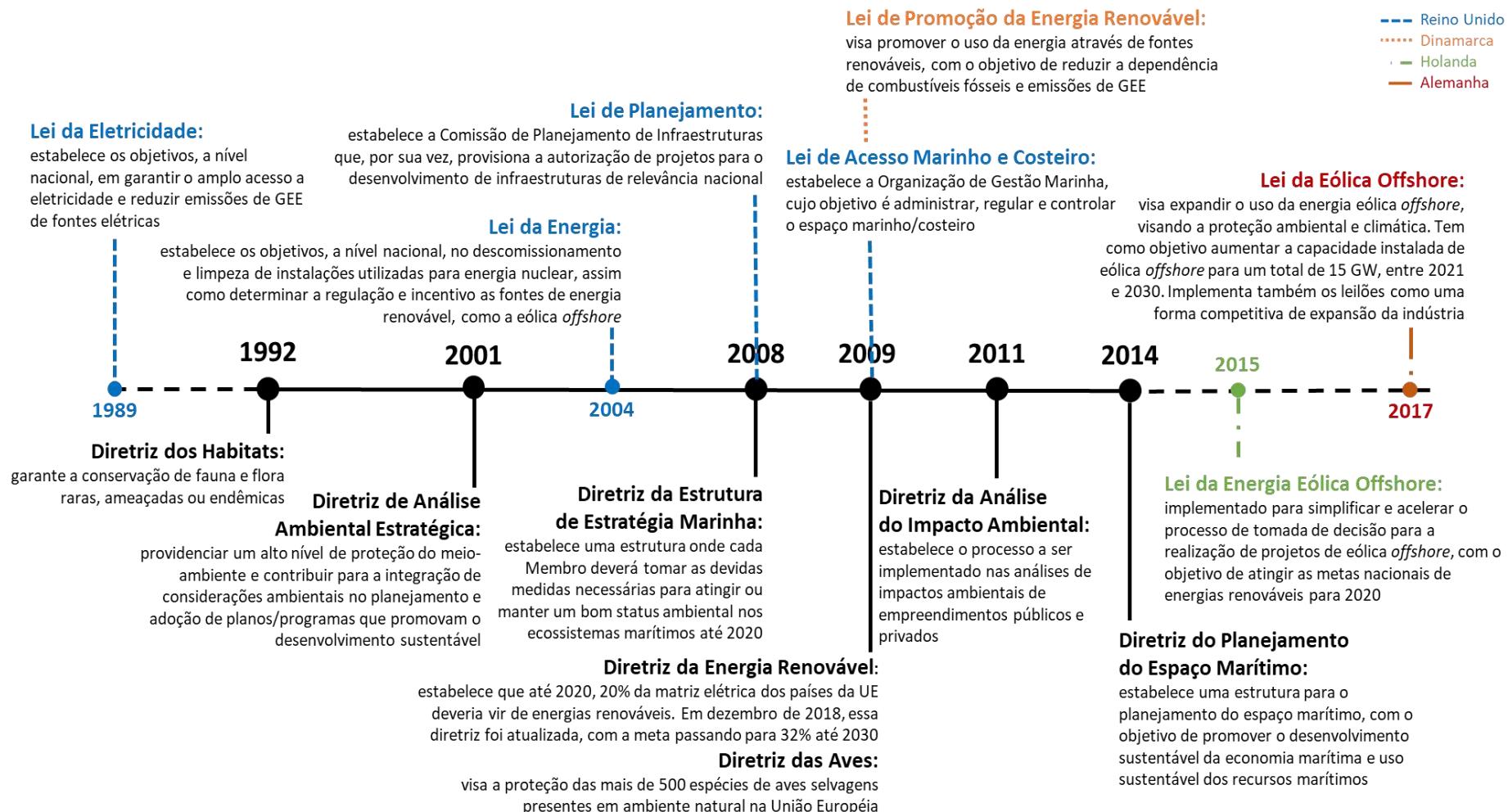


Figura 44 – Principais Legislações envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore na Europa. Fonte: Elaboração própria, adaptado de DECASTRO *et al.* (2019).

Ainda de acordo com o levantamento feito por DECASTRO *et al.* (2019), na Europa, há diretrizes que abrangem os países que fazem parte da União Europeia (BEM). Percebe-se que, a partir de 1992 com a Diretriz dos Habitats, há uma preocupação compartilhada com a preservação do meio-ambiente. Em 2014 é institucionalizado a Diretriz do Planejamento de Espaço Marítimo, estabelecendo que cada membro da BEM deveria informar até o dia 31 de março de 2021, a distribuição espacial e temporal de suas principais atividades, em desenvolvimento ou que serão desenvolvidas, dentro de seu território marítimo, que envolve também a produção de energia renovável marinha.

Comparando os países Europeus, percebe-se que o Reino Unido desde 1989 procurava reduzir suas emissões de GEE e em 2004 estabelece a base para regulação e incentivo de eólica *offshore*. Em seguida, a Dinamarca estabelece em 2009 a Lei de Promoção da Energia Renovável com o objetivo de aumentar a participação de energias renováveis em sua matriz elétrica, como a energia eólica *offshore*. Em 2015, a Holanda estabelece a primeira lei específica para a indústria de eólica *offshore*, visando simplificar e acelerar o processo de desenvolvimento. Dois anos depois, em 2017, a Alemanha segue os passos da Holanda e estabelece a Lei da Eólica *Offshore*, visando expandir o uso da energia eólica *offshore* estabelecendo metas para 2030.

Conforme previamente mencionado, o principal marco para o desenvolvimento da Energia Eólica *Offshore* na Europa foi a Diretriz da Energia Renovável, em 2009, onde uma meta de 20% de participação de energia renovável na matriz elétrica dos países na EU até o ano de 2020 foi estabelecida. Em 2018, a meta dessa diretriz foi atualizada para 32% até 2030, indicando que inicialmente a meta de 20% não seria cumprida dentro do prazo.

Em termos de licenciamento, de acordo com o artigo do DECASTRO *et al.* (2019), prevalece o sistema simplificado do tipo “One-Stop-Shop”, onde um órgão é responsável pela gestão do processo de licenciamento, reduzindo o número de agências licitárias e licenças necessárias. A participação ativa, por parte do Governo, foi fundamental também nas fases preliminares como, por exemplo, determinando áreas marítimas, evitando incertezas por parte dos investidores.

8.2. CHINA

Em 2020, a China liderou o mercado internacional em novos instalações eólicas *offshore* pelo terceiro ano consecutivo, com mais de 3 GW de capacidade instalada somente em 2020. Apesar disso, conforme apontado no levantamento feito pela GWEC (2021), a capacidade instalada em 2020 foi abaixo do esperado, majoritariamente por causa de dificuldades logísticas e operacionais com embarcações de instalação de turbinas eólicas. De qualquer forma, conforme demonstrado na Figura 45 entre 2015 e 2020 a China foi o país que teve a taxa de crescimento mais alta em capacidade instalada de eólica *offshore*, passando de 559 MW em 2015 para 8.990 MW em 2020, resultando em um aumento de mais de 1.500% (IRENA, 2021).

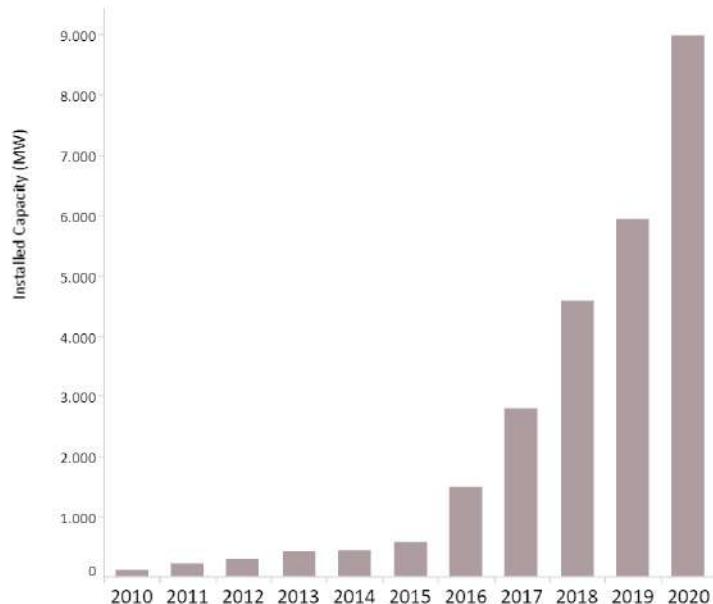


Figura 45 – Capacidade instalada de eólica *offshore* na China, entre 2010 e 2020.

Fonte: IRENA (2021).

Apesar do Plano de Desenvolvimento da Energia Eólica ter sido implementada em 2009, conforme demonstrado na Figura 46, nota-se que o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* se concretizou somente em 2016. Conforme apontado no levantamento feito por DECASTRO *et al.* (2019), o licenciamento e gerenciamento dos recursos marinhos, entre eles a energia renovável marinha, é caracterizada pelo envolvimento de várias agências e ministérios. Um dos motivos pelo lento desenvolvimento da indústria eólica *offshore* foi justamente a falta de coordenação entre as autoridades governamentais. Mais recentemente, as atribuições das duas

principais agências reguladoras do mercado eólico *offshore*, NEA e SOA, se alinharam, com a primeira sendo responsável pela seleção de bid e definição das taxas de FIT, enquanto a segunda cede o direito para utilização da área marítima.

Tabela 18 – Principais Autoridades envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore na China.

Principais Autoridades
<ul style="list-style-type: none">• NEA (National Energy Administration): agência responsável pelo planejamento e licenciamento das fazendas eólicas <i>offshore</i>;• SOA (State Oceanic Administration): cede o direito para utilização da área marítima.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de DECASTRO *et al.* (2019).

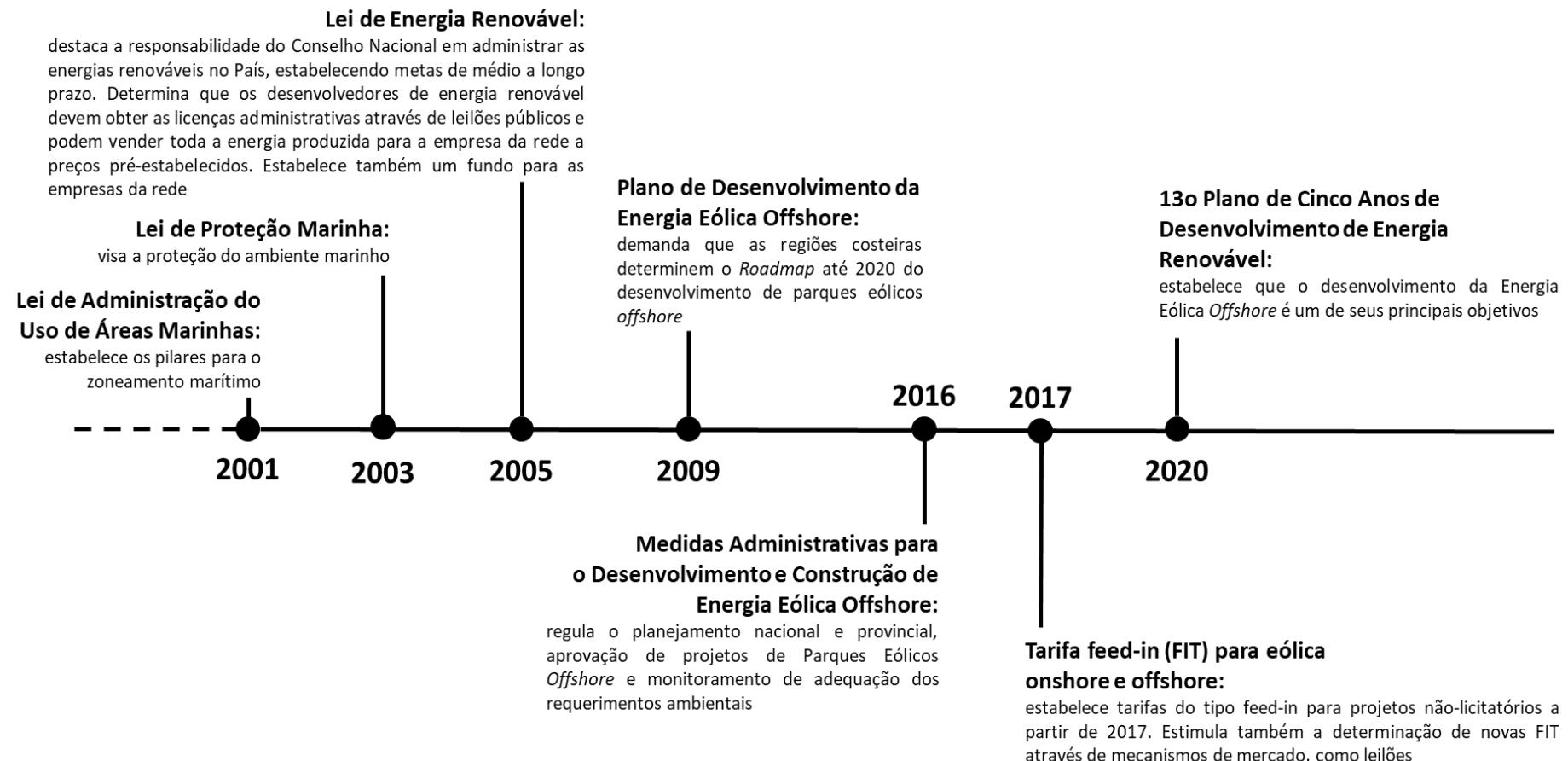


Figura 46 – Principais Legislações envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore na China. Fonte: Elaboração própria, adaptado de DECASTRO *et al.* (2019).

8.3. ESTADOS UNIDOS

O Estados Unidos é um dos líderes globais em capacidade instalada de eólica *onshore*, perdendo somente para a China devido aos recentes esforços no setor (IRENA, 2021). Em termos de potencial, o cenário é até mais otimista nas áreas *offshore*, com um potencial estimado de mais de 2.000 GW (EUA, 2016).

Avaliando o cenário americano, detalhado na Figura 47, não há até o momento uma lei específica voltada para o desenvolvimento da indústria eólica *offshore*. Nota-se, por outro lado, um conjunto de leis, que datam desde 1899, no qual a eólica *offshore* poderia se encaixar. Por exemplo, no caso de um parque eólico *offshore*, quem cederá a licença de transmissão para o grid será a FERC, através da Lei Poder Federal de 1920, e a licença de instalação será avaliada pelos engenheiros do Exército Americano (Lei de Rios e Portos 1899) assim como pelos estados costeiros através da Lei de Gestão da Zona Costeira. Porém, conforme demonstrado no estudo feito por PORTMAN *et al.* (2009), somente com a Lei de Política Energética, em 2005, ficou claro qual agência seria responsável pela gestão do desenvolvimento de parques eólicos *offshore*.

Tabela 19 – Principais Autoridades envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore no Estados Unidos.

Principais Autoridades
<ul style="list-style-type: none"> • FERC (Federal Energy Regulatory Commission): cede a licença para a transmissão de grid (BOEM, 2021); • BOEM (Bureau of Ocean Energy Management): arrendamento das áreas marítimas.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de DECASTRO *et al.* (2019).

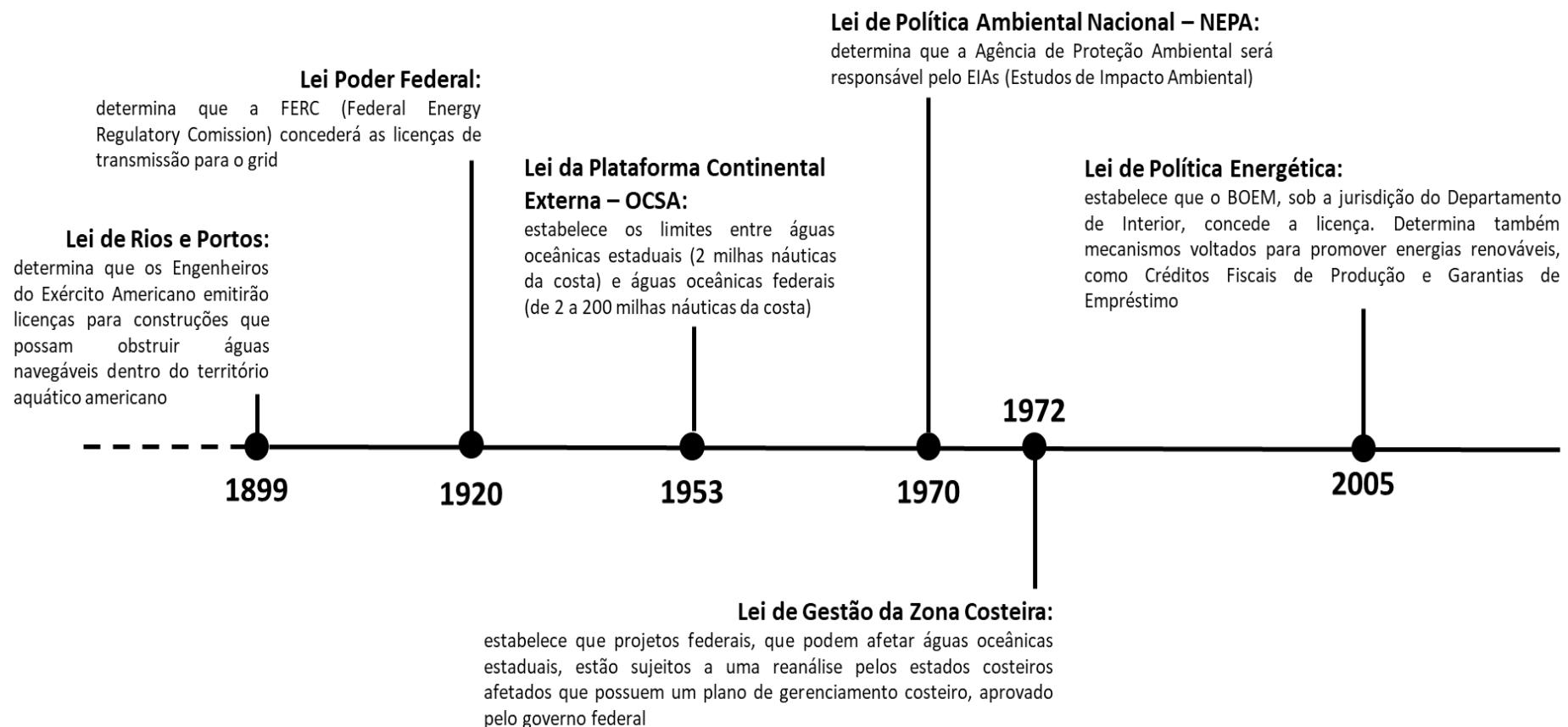


Figura 47 – Principais Legislações envolvidas no desenvolvimento da Eólica Offshore no Estados Unidos.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de DECASTRO *et al.* (2019).

Em 2011, o Departamento de Interior (DOI) e o Departamento de Energia (DOE) em conjunto lançaram o documento “*A National Offshore Wind Strategy*”, detalhando um framework regulatório e operacional para instalar 22 GW de capacidade eólica *offshore* até 2030 e 86 GW até 2050. Porém até o fim de 2020, somente uma fazenda eólica *offshore* estava operacional, a *Block Island Wind Farm* em Rhode Island com 30 MW de capacidade instalada (CLEANPOWER, 2021). Parte do motivo para o atraso no desenvolvimento dessa indústria está relacionado com a sobreposição de jurisdições e falta de coordenação entre as autoridades governamentais, resultando em atrasos e consequentemente o aumento do custo dos projetos eólicos *offshore*.

Mais recentemente, esforços por parte da BOEM em criar ferramentas de incentivo financeiro e zoneamento marítimo, aceleraram o desenvolvimento da indústria no Estados Unidos, com um pipeline de projetos ao final de 2020 totalizando em mais de 28.000 MW de capacidade instalada. Destaca-se a costa leste dos Estados Unidos, com projetos sendo desenvolvidos em Connecticut, Maine, Maryland, Massachusetts, Nova Jersey, Nova Iorque, Rhode Island e Virginia (Figura 48).

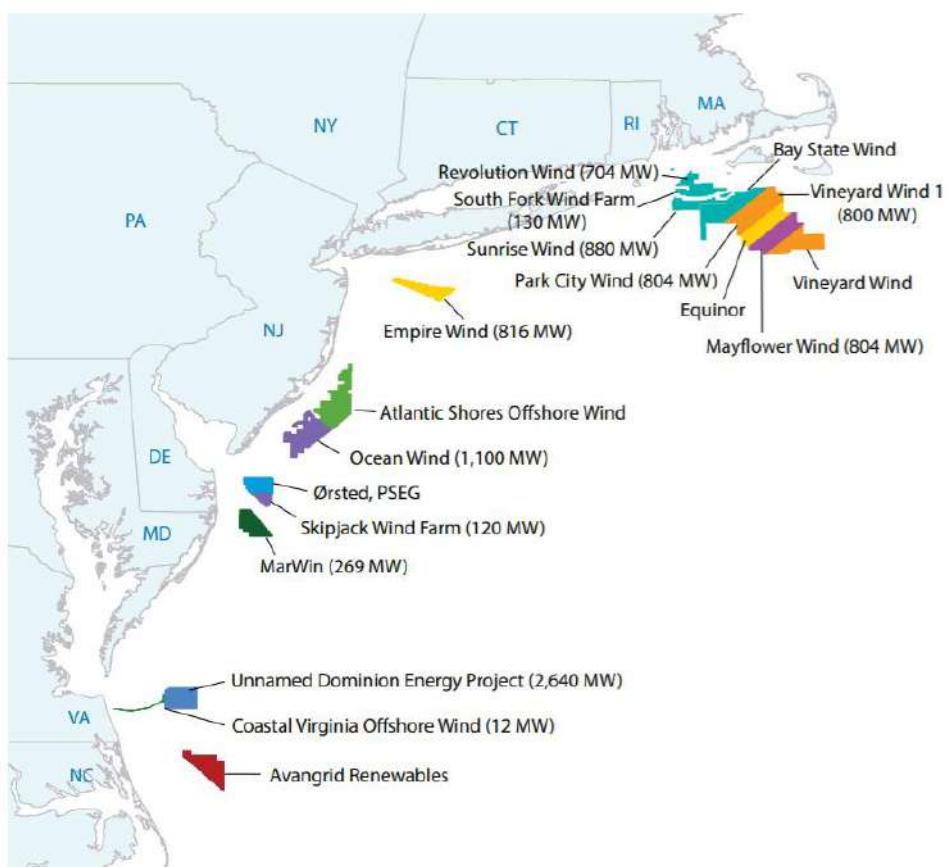


Figura 48 – Projetos Eólicos *Offshore* na costa Leste do Estados Unidos.

Fonte: CLEANPOWER (2021).

9. DISCUSSÃO

Conforme detalhado no estudo feito por MACKINNON *et al.* (2018), o início do desenvolvimento de uma indústria eólica *offshore* tradicionalmente surge depois que uma indústria eólica *onshore* já estava estabelecida no país – ou seja, não há registro de países que desenvolveram somente a indústria eólica *offshore*. Nota-se que a experiência na indústria de petróleo, especialmente em relação aos serviços *offshore*, também contribuem para o desenvolvimento da indústria, como ocorreu no Reino Unido, permitindo que a região se destacasse na implementação da indústria na Europa.

O estudo de MACKINNON *et al.* Também mostrou que um bom potencial eólico *offshore* e experiência na área *offshore* de O&G não são suficientes para o desenvolvimento de uma indústria eólica *offshore*. A Noruega, por exemplo, possui uma longa história no setor de petróleo, considerada inclusive o país com a maior base de conhecimento e, devido a sua localização, divide os mesmos potenciais eólicos *offshore* que o Reino Unido e Dinamarca. Porém, até 2020 não havia nenhum projeto de eólica *offshore* com instalação na Noruega em desenvolvimento. Um dos principais motivos para isso é que as regiões *offshore* do qual a Noruega tem jurisdição estão em locais de águas mais profundas do que o Reino Unido e Dinamarca, aumentando assim os custos de projetos eólicos *offshore*. Além disso, a demanda elétrica do país é suprida por uma fonte limpa, renovável e abundante: as hidrelétricas.

O caso da Noruega se assemelha com do Brasil, tanto nas características da matriz elétrica (no Brasil, a energia hidráulica representa cerca de 60% da matriz elétrica) quanto nas características batimétricas, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, onde a plataforma continental é relativamente mais estreita, chegando rapidamente em águas profundas. Outro ponto em comum é a participação na indústria de O&G, especialmente nas regiões Sul-Sudeste do Brasil, com os três principais campos de petróleo na Bacia de Santos representando mais da metade da produção brasileira (ANP, 2021). Dessa forma, cabe avaliar se a região Sudeste-Sul do Brasil participará ativamente na indústria eólica *offshore* ou seguirá o caminho da Noruega, que atua hoje muito mais como uma exportadora de tecnologia, serviço e conhecimento *offshore* para as demais regiões, do que um participante ativo na

indústria eólica *offshore*.

9.1. LIÇÕES APRENDIDAS DA EÓLICA *ONSHORE*

No estudo feito por DIÓGENES *et al.* (2019), procurou-se identificar as principais barreiras, do ponto de vista dos *stakeholders* da indústria eólica brasileira, para a implementação de projetos eólicos no Brasil. Ao todo, vinte e quatro barreiras foram identificadas, que envolvem questões criadas pelo próprio mercado, assim como econômicas, financeiras, institucionais, técnicas e sociais, entre outros, detalhados a seguir.

Em relação ao mercado, apesar dos mais de dez anos da indústria, ela ainda é considerada pela maioria dos *stakeholders* entrevistados como subdesenvolvida, pois depende da importação de materiais essenciais e componentes das turbinas eólicas. Registra-se também um acesso limitado a tecnologia das turbinas eólicas, com resistência por parte dos grandes fabricantes de turbina em compartilhar a tecnologia. Critica-se também a falta ou defasagem das informações sobre potencial eólico, já que alguns dos principais mapas de potencial eólico foram publicados a quase vinte anos atrás.

Do ponto de vista econômico e financeiro, evidencia-se o acesso inadequado a financiamentos e empréstimos, com limitações e atrasos. Destaca-se também a falta de diversidade em termos de financiamento por parte dos bancos públicos, com grande parte vindo do próprio BNDES.

Considerando as barreiras institucionais, destacam-se as recentes crises políticas e econômicas no Brasil, assim como o complicado e burocrático processo regulatório, onde são exigidas licenças ambientais e arqueológicas para cada empreendimento. Cita-se também a falta de variedade de projetos voltados para P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) de tecnologia eólica. Parte disso está relacionado a baixa disponibilidade de pessoal treinado em instituições públicas, refletindo a falta de cooperação do governo, tanto a nível federal quanto estadual.

Do ponto de vista técnico, as críticas estão relacionadas a limitações no sistema de grid, com capacidade limitada, falta de pessoal técnico especializado ao longo da cadeia produtiva, assim como a falta de serviços especializados em O&M. Como muita da tecnologia é importada de países europeus, há uma barreira de tropicalização da

tecnologia, já que o fator de capacidade médio na Europa é entorno de 21,8% (IEA, 2017) e em regiões do Brasil, como no Nordeste em 2020, o fator de capacidade médio foi de 43% (ONS, 2021).

A questão dos impactos sociais em projetos eólicos é controversa, pois por um lado pode trazer infraestrutura, desenvolvimento e emprego para populações em áreas remotas onde os projetos são implementados (SIMAS & PACCA, 2013). Porém, quando isso não acontece, manifestações por parte da população local podem ocorrer, atrasando a entrega do parque eólico, aumentando assim o seu custo (MOREIRA et al., 2013; PAIVA & LIMA, 2017; PINTO & SANTOS, 2017).

Por fim, o estudo de DIOGENES *et al.* (2019) também cita o nível precário da infraestrutura de suporte. Há baixa disponibilidade de subestações e linhas de alta voltagem, muitas estradas são inadequadas para o transporte de componentes de grande porte e a falta de sinal em áreas mais remotas dificulta a comunicação.

Os mais de dez anos de indústria da eólica *onshore* permitiram a instalação de uma cadeia de suprimento, cobrindo as regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Nota-se, entretanto, que a maior concentração dos principais componentes de uma turbina eólica, como as montadoras de aerogeradores, torres e pás, na região Nordeste pode apresentar um desafio na fase de instalação dos futuros parques eólicos *offshore* projetados para as regiões Sudeste e Sul. Por outro lado, a maior distância dos subcomponentes de torres, rotor, pás, cubo e nacelle, concentrados na região Sudeste do Brasil, pode apresentar um desafio na fase de O&M de parques eólicos *offshore* localizados nas regiões Norte e Nordeste.

Cabe, por fim, destacar que é necessário conduzir uma análise mais detalhada para avaliar como exatamente a atual cadeia produtiva eólica no Brasil vai se adaptar para atender a cadeia eólica *offshore*. Como apresentado no estudo por WÜSTEMEYER *et al.* (2015), inicialmente a cadeia *offshore* se beneficia da estrutura *onshore*, porém com o amadurecimento da indústria *offshore*, as especificidades tecnológicas, operacionais e logísticas levam a um desacoplamento da cadeia *onshore*, gerando com o tempo, uma cadeia produtiva eólica específica para atender o segmento *offshore*.

9.2. PORTOS E APOIO MARÍTIMO

Os portos e suas respectivas infraestruturas são fundamentais para o sucesso de desenvolvimento de uma indústria eólica *offshore*, pois características como proximidade dos parques eólicos, profundidade do calado, distância dos fornecedores, entre outros, conforme apontado na seção 6.6 impactam diretamente no custo; isso se torna ainda mais crucial quando se trata de uma tecnologia emergente, visando competir com outras tecnologias já estabelecidas e competitivas.

Conforme apontado no estudo “*Roadmap Eólica Offshore Brasil*” da EPE (2020c), existem até o final de 2020, no Brasil, 37 portos públicos, porém o próprio documento falha em detalhar o atual status desses portos e o que seria necessário, em termos de infraestrutura e potencial investimento, para adequá-los a indústria eólica *offshore*. Levando em consideração os projetos de eólica *offshore* cadastrados no IBAMA até o final de 2020, avaliou-se no presente estudo os portos mais apropriados para 98otovo-los, sendo eles os portos de Pecém (CE), Suape (PE), Açu (RJ) e Rio Grande (RS).

Avaliando a distância mínima de cada porto aos fabricantes de componentes e subcomponentes, tendo como base também o estudo feito por AKBARI *et al.* (2017), onde identificou-se que uma das principais características na escolha de um porto, seja para a fase de instalação ou O&M, seria a distância aos fornecedores, o Porto de Suape estaria mais adequado para atendimento de projetos eólicos *offshore* na região Nordeste.

Nota-se, entretanto que, entre os portos avaliados, o que possui o maior potencial para expansão, uma das características importantes também apontado por AKBARI *et al.*, é o porto de Açu, que possui uma área total de 130 km² e alta disponibilidade (cerca de 56 km²), dado seu relativamente curto tempo de vida (inaugurado em 2014). Avaliando também a distância do Porto aos fornecedores nacionalmente instalados da indústria eólica *onshore* e uma localização comparativamente mais centralizada aos demais projetos eólicos *offshore* no Brasil, o Porto de Açu pode se tornar o principal porto para a indústria eólica *offshore* brasileira. É necessário avaliar, porém, como se adequaria a essa indústria enquanto atende, ao mesmo tempo, a retomada do setor de O&G e desenvolvimento dos blocos na área do pré-sal nos próximos anos (ESTADÃO, 2019).

De qualquer forma, é fundamental que uma análise mais aprofundada seja feita dos portos brasileiros, considerando também as diferentes características regionais dos projetos eólicos *offshore*, já que na região Norte e Nordeste do Brasil, dada a extensa plataforma continental, os projetos eólicos provavelmente utilizarão estruturas de instalação fixas, enquanto na região Sul e Sudeste, onde a plataforma continental é mais estreita, a estrutura de instalação das turbinas será flutuante, mudando com isso os critérios e a própria hierarquização desses critérios na escolha do porto para atendimento do projeto eólico *offshore*.

Cabe ressaltar também que a cabotagem pode ser uma importante alternativa de transporte dos diferentes componentes do parque eólico *offshore*, já que a infraestrutura eólica *offshore* tende a ser maior que a *onshore* e, como apontando no estudo feito por DIÓGENES *et al.* (2019), a atual malha rodoviária tem dificuldades em atender a indústria eólica *onshore*.

Em relação ao afretamento de embarcações, um planejamento adequado, ou a falta dele, pode afetar diretamente o custo de serviço da embarcação. O estudo feito por DALGIC *et al.* (2013) estimou a variação da diária de locação de embarcações do tipo auto elevatórias (jack-up) para contratos de 20 anos, 1 ano e no mercado spot (locação de curto prazo, aproximadamente um mês, e geralmente não planejado, evidenciando a necessidade imediata do serviço). Os resultados, resumidos na Tabela 20, evidenciam como o tipo de contrato influencia no valor da diária de embarcação. Em contratos de 20 anos, o valor médio das seis embarcações auto elevatórias analisadas eram de aproximadamente £ 79.500,00. Reduzindo esse contrato para um ano, o valor da embarcação aumenta em 79% (£ 142.550,00) e no mercado spot esse valor aumenta em 144% (£ 193.883,00).

Tabela 20 – Variação do valor médio da diária de uma embarcação do tipo auto elevatória (jack-up) na Inglaterra.

Tipo de Contrato	Média do Valor da Diária	Variação (%) em relação ao contrato de 20 anos
20 anos	£ 79.500,00	N/A
1 ano	£ 142.550,00	+ 79%
Spot	£ 193.883,00	+ 144%

Fonte: Elaboração própria, adaptado de DALGIC *et al.* (2013).

Outro ponto que deve ser levado em consideração é o aumento da demanda de embarcações especializadas, impulsionadas pelo crescente desenvolvimento de parques eólicos *offshore*. As tendências globais apontam para um crescimento na quantidade de parques eólicos *offshore*, o que pode ocasionar também no aumento da indisponibilidade das embarcações especializadas, caso a construção dessas embarcações não acompanhe o movimento da indústria (EWEA, 2011).

A transferência de conhecimento entre a indústria de petróleo e eólica *offshore* possui grande valor também, pois permite que as técnicas, padrões, embarcações, estruturas e lições aprendidas sejam aplicadas, otimizando o desenvolvimento do setor. Porém, evidenciou-se no Brasil a dependência da frota de apoio marítimo a indústria de petróleo. Futuras crises do mercado de O&G podem diminuir novamente a disponibilidade de embarcações de apoio, impactando negativamente os futuros projetos de eólica *offshore* que dependem integralmente de embarcações durante suas fases de instalação e O&M.

9.3. LIÇÕES DOS PAÍSES LÍDERES EM EÓLICA OFFSHORE

Conforme apresentado na seção 5.2, o Brasil hoje conta com um pipeline de 7 projetos de eólica *offshore* conduzidos por quatro empresas (Eólica Brasil, Neoenergia, Bi Energia e Equinor), com uma capacidade instalada total de 13,7 GW fornecidas por 1.018 turbinas eólicas *offshore*. Dentre os projetos, destaca-se a Equinor, a única empresa do setor de O&G investindo em eólica *offshore* no Brasil. Até o momento, não há nenhum prazo firme de quando esses projetos vão começar (todos estão na fase inicial do licenciamento ambiental) ou qual a expectativa de ter a primeira fazenda eólica *offshore* operacional, explicitando o desafio de desenvolver uma indústria sem uma estrutura regulatória clara.

Avaliando o cenário de desenvolvimento da indústria eólica *offshore* na Europa, China e Estados Unidos, fica evidente que nas três regiões o desenvolvimento ocorreu através de um framework legislatório e institucional para administrar, guiar, avaliar e licenciar empreendimento eólicos *offshore*.

Percebe-se que em todas as regiões, há claramente um órgão responsável pelo licenciamento do empreendimento, como é o caso da NEA na China, FERC nos Estados Unidos, MMO no Reino Unido, Agência de Energia na Dinamarca, Estado

Costeiro na Alemanha e RVO na Holanda. Em alguns países, como a China (SOA), Estados Unidos (BOEM) e Alemanha (BSH), há também um órgão exclusivo responsável pela avaliação da área marítima em que o empreendimento será instalado, evitando assim possíveis interferências e impactos negativos com outras indústrias (pesca, Óleo e Gás, Naval, turismo etc.).

A Tabela 21 resume as principais agências/órgãos e legislações no Brasil envolvidas no setor elétrico e marítimo.

Tabela 21 – Resumo das principais agências e legislações envolvidas no setor energético e marítimo no Brasil.

Agências / Órgãos Brasileiros
<ul style="list-style-type: none"> • MME (Ministério de Minas e Energia): criado em 1960 pela Lei no. 3.782 com a missão institucional de desenvolver e executar Políticas Públicas para a gestão sustentável de recursos minerais e energéticos (MME, 2021); • ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica): vinculada ao Ministério de Minas e Energia, regula o setor elétrico brasileiro através da Lei no. 9.427/1996 e Decreto no. 2.335/1997 (ANEEL, 2021); • BEM (Operador Nacional do Sistema Elétrico): criado em 1998, pela Lei no. 9.648, atua sob a fiscalização da ANEEL e é responsável pelo controle e coordenação da geração, assim como transmissão, da energia elétrica através do Sistema Interligado Nacional (SIN) (BEM, 2021); • CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica): criada pela Lei no. 10.848 de 2004, a CCEE atua sob fiscalização da ANEEL, sendo responsável pela viabilização e comercialização da energia elétrica no mercado brasileiro (CCEE, 2021); • EPE (Empresa de Pesquisa Energética): é uma empresa pública federal, criada pela Lei no. 10.847 para auxiliar o MME na área de estudos e pesquisas voltadas para o planejamento do setor energético nacional (EPE, 2021); • CNPE (Conselho Nacional de Política Energética): criado pela Lei no. 9.478 de 1997, o conselho é presidido pelo Ministro de Minas e Energia e atua como um órgão de assessoramento do Presidente da República, formulando diretrizes e políticas de energia (MME, 2021); • IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis): criado em 1989 através da Lei no. 7.735, é o órgão vinculado ao Ministério do Meio Ambiente responsável pela execução da PNMA (Política Nacional do Meio Ambiente). Desenvolve atividades voltadas para preservação, conservação,

Agências / Órgãos Brasileiros
controle e fiscalização do patrimônio natural. É responsável também pela concessão de licenças ambientais de empreendimentos (IBAMA, 2021);
<ul style="list-style-type: none"> • ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis): criada em 1997, pela Lei no. 9.478, e vinculada ao Ministério de Minas e Energia, é o órgão federal responsável pela regulação das indústrias de petróleo, gás natural e biocombustíveis no Brasil (ANP, 2021); • Marinha do Brasil: garantir a defesa nacional, fiscalizando e policiando a costa brasileira e águas interiores. Porém, a partir de 1999, com a Lei Complementar no. 97, a Marinha também passou a orientar e controlar a Marinha Mercante, prover a segurança de navegação aquaviária, contribuir para a formulação e condução de políticas nacionais relacionadas ao mar (MARINHA, 2021).
Legislação / Políticas Brasileiras
<ul style="list-style-type: none"> • Política Marítima Nacional – PMN (1994): orientar o desenvolvimento das atividades no mar, visando o uso efetivo, racional e pleno dos recursos naturais, desde que estejam de acordo com os interesses nacionais; • Resolução CONAMA 237/1997: determina o IBAMA como órgão competente para o licenciamento ambiental no mar territorial, ZEE e plataforma continental; • Política Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC (1998): orienta o uso racional de recursos dentro da Zona Costeira, visando o aumento da qualidade da população local, protegendo ao mesmo tempo seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural; • Política Nacional para os Recursos do Mar – PNRM (2005): visa orientar o desenvolvimento de atividades no mar, que utilizarão, explorarão e aproveitarão os recursos vivos, minerais e energéticos do Mar Territorial, da ZEE e da Plataforma Continental. • Termo de Referência Complexos Eólicos Marítimos (2020): determina as diretrizes e critérios para a elaboração do EIA/RIMA de Complexos Eólicos Marítimos.

Fonte: Elaboração própria.

Avaliando o cenário brasileiro, não está claro qual será a relação hierárquica de cada órgão na regulação da indústria eólica offshore. Em 2006, a EPE lançou o primeiro estudo de planejamento energético (PNE, 2006), visando um cenário para 2030, e nela há um capítulo detalhado de energia eólica e outro de Energia do Mar, porém não há nenhuma menção a Energia Eólica Offshore, indicando que naquele momento, essa fonte energética não era prioritária a nível nacional. Em dezembro de 2020, o Ministério de Minas e Energia aprovou o PNE 2050, onde a energia eólica

offshore aparece no cenário 2050 com cerca de 16 GW de capacidade instalada, caso haja uma redução de 20% no CAPEX da eólica *offshore*. Na seção de recomendações, há também a menção da necessidade de elaboração de regras para a participação da eólica *offshore* em leilões de energia, indicando com isso o provável formato de contratação de energia eólica *offshore* (EPE, 2020a).

Recentemente, o IBAMA divulgou o Termo de Referência para Complexos Eólicos Marítimos (IBAMA, 2020), tornando-se o primeiro documento regulatório oficial, por parte do Governo Federal, que especificamente foca em eólica *offshore*, sinalizando assim o começo da estruturação de um framework regulatório. Em 2020, a EPE também lançou o documento “Roadmap Eólica Offshore Brasil – Perspectivas e Caminhos para a Energia Eólica Marítima”, com o objetivo principal de identificar possíveis barreiras, desafios e recomendações no desenvolvimento da indústria eólica *offshore* no Brasil. Porém, o próprio documento reforça que o objetivo não é propor um framework regulatório ou de políticas de incentivo, mantendo o cenário de incertezas e indefinições.

Avaliando o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* nas regiões mencionadas (Europa, China e Estados Unidos), a Tabela 22 resume as principais recomendações para o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* no Brasil, levando em consideração as melhores práticas aplicadas na determinação do potencial eólico *offshore*, zoneamento marítimo e organização das agências regulatórias.

Tabela 22 – Recomendações para o Desenvolvimento da Indústria Eólica *Offshore* no Brasil.

Área	Melhores práticas
Potencial Eólico <i>Offshore</i>	Consolidação de uma metodologia para definição do potencial eólico <i>offshore</i> no Brasil, servindo como base para determinação dos locais com as melhores condições de vento.
Zoneamento Marítimo	Consolidação do zoneamento marítimo, demonstrando claramente quais regiões na ZEE brasileira os parques eólicos <i>offshore</i> poderão se desenvolver. Fatores como áreas de proteção ambiental, áreas turísticas e de lazer, patrimônios culturais, áreas de pesca industrial, áreas militares e conflitos com outras indústrias, como O&G e telecomunicação, devem ser levados em consideração.

Área	Melhores práticas
Agências Regulatórias	<p>Processo simplificado, do tipo <i>one-stop-shop</i>. Com isso, é recomendado a criação ou designação de uma agência ou órgão específico para organizar o processo e exigências regulatórias, assim como coordenar o planejamento, licenciamento e desenvolvimento de fazendas eólicas <i>offshore</i>.</p>

Fonte: Elaboração própria.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral descrever o atual cenário de desenvolvimento da indústria eólica *offshore* no Brasil, considerando a cadeia produtiva da energia eólica *onshore*, a localização e estrutura portuária dos principais portos das regiões Nordeste, Sudeste e Sul, assim como o levantamento atual da frota de apoio marítimo no Brasil. Uma análise descritiva do desenvolvimento da indústria eólica *offshore* nos países líderes do setor também foi feita, com o intuito de identificar para o cenário nacional as melhores práticas. O Brasil tem todos os elementos técnicos necessários para o desenvolvimento dessa indústria: potencial eólico *offshore*; cadeia produtiva eólica *onshore* estabelecida e madura; infraestrutura portuária e marítima; experiência *offshore* da indústria de O&G.

Enquanto os elementos técnicos se consolidam, confirmando o potencial brasileiro no setor eólico *offshore*, o desenvolvimento da indústria dá os seus primeiros passos, com o setor privado e academia liderando a iniciativa. O setor público parece finalmente acompanhar esse movimento, apresentando por exemplo dados de potencial eólico *offshore* ao longo do Brasil, iniciando assim o debate de avaliação das melhores áreas ao longo da costa Brasileira, e documentos de orientação para *stakeholders*, como o “*Roadmap Eólica Offshore Brasil*”, da EPE, e o TR do IBAMA que orienta as etapas do licenciamento ambiental de parques eólicos *offshore*. Com isso, percebe-se que antes mesmo da implementação de um marco regulatório específico para atender a indústria eólica *offshore*, como ocorreu nos países líderes do setor, caracterizando assim um movimento do tipo *top-down*, no Brasil o movimento é *bottom-up*, com a sociedade, representada pela academia e empresas privadas, lideram o interesse no desenvolvimento dessa indústria, sem ter visibilidade ou clareza da estrutura regulatória. Não há, até o momento, um caso na literatura científica de um país que efetivamente desenvolveu uma indústria eólica *offshore* sem a participação ativa do setor público, evidenciando assim a sua importância para o sucesso da indústria eólica *offshore*, que orienta e guia seus investidores, assegurando ao mesmo tempo o interesse e segurança nacional.

Cabe ressaltar também que, ao entrar em vigor a regulação desse novo setor no Brasil, é fundamental que as lições aprendidas da já madura e estabelecida eólica *onshore* sejam consideradas e que os projetos pilotos de eólica *offshore* não sejam

prejudicados, especialmente financeiramente, desacelerando assim ou até desestimulando o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* brasileira.

O presente trabalho auxiliará estudos futuros no melhor refinamento dos custos e estimativas de LCOE (*Levelized Cost of Energy*) para a eólica *offshore* no Brasil, especialmente em relação aos custos de transporte, considerando a distância dos componentes e subcomponentes aos portos, distância entre os portos (cabotagem), assim como o dimensionamento da frota adequada para instalação e O&M dos parques eólicos *offshore*. Destaca-se a dificuldade em conseguir dados relativos aos custos das embarcações de apoio marítimo, assim como os de serviços portuários, apesar desse não ser o foco desse estudo. Essas informações são fundamentais para um dimensionamento preciso dos custos envolvidos.

Conforme apontado no “*Roadmap Eólica Offshore Brasil*” (EPE, 2020c), uma análise futura importante que contribuirá para o dimensionamento de uma futura cadeia eólica *offshore*, seria a avaliação das condições dos estaleiros no Brasil, que podem incorporar escopos de fabricação, montagem e manutenção para projetos eólicos *offshore*. De acordo com o levantamento da SINAVAL em 2014, haviam 42 estaleiros espalhados pelas quatro regiões costeiras do Brasil (Norte, Nordeste, Sudeste e Sul), conforme demonstrado na Figura 49.

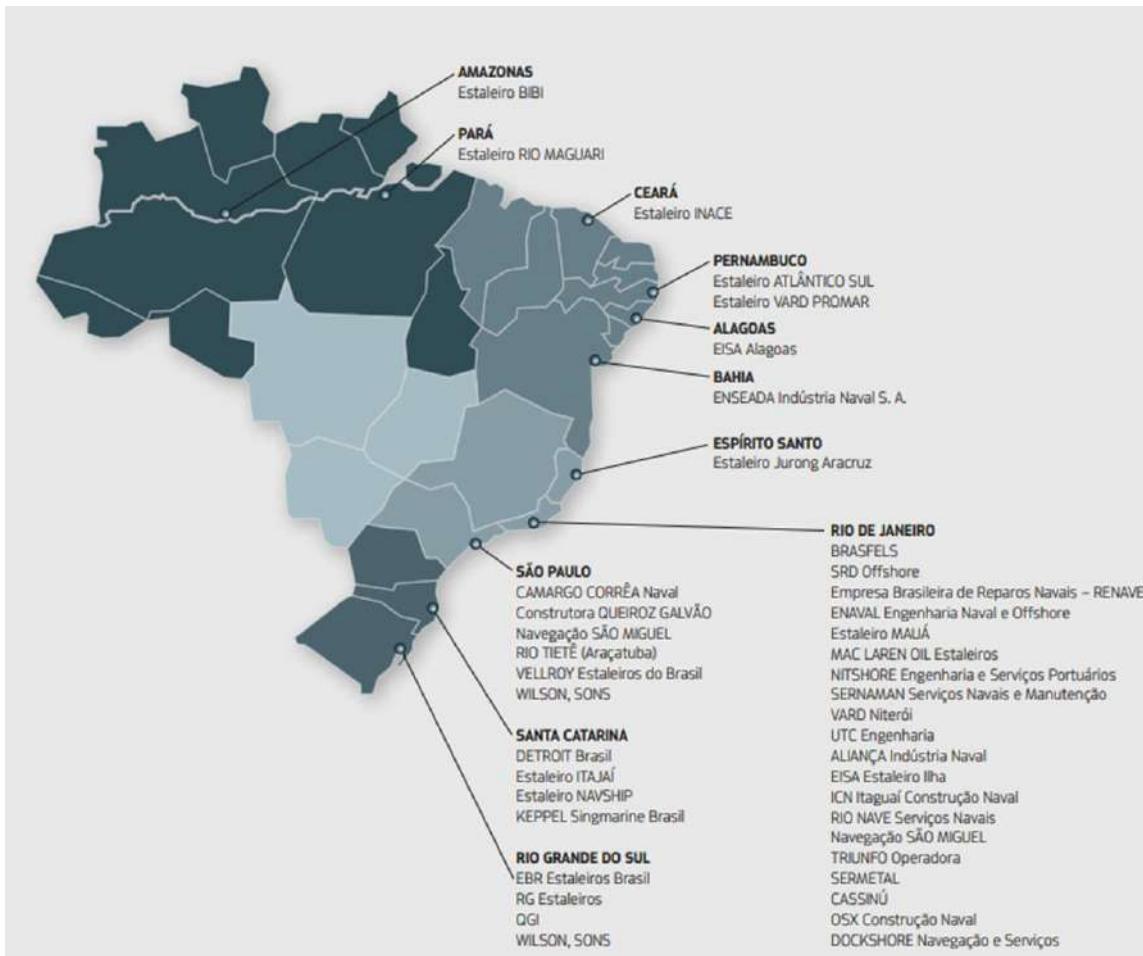


Figura 49 – Estaleiros no Brasil. Fonte: SINAVAL (2014).

Por fim, futuramente seria importante também explorar o status de desenvolvimento da indústria eólica *offshore* na América Latina, pois países como Colômbia, Venezuela, Uruguai e Argentina também possuem potenciais eólicos *offshore* (WEISS *et al.*, 2018). Conforme destacado no cenário Europeu, em termos logísticos e operacionais, há benefícios no compartilhamento dos interesses de uma região no desenvolvimento de uma indústria que possui CAPEX alto. Um outro país onde o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* começa a crescer, com sinal claros por parte do governo no investimento desse setor, é a Índia, um país com economia emergente, alta densidade populacional, extensa linha de costa e que, apesar dos compromissos com o Acordo de Paris, 74% da sua geração elétrica vem da queima do carvão (EIA, 2020).

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil, 2017.** Disponível em: <http://inteligencia.abdi.com.br/wp-content/uploads/2017/08/2018-08-07_ABDI_relatorio_6-1_atualizacao-do-mapeamento-da-cadeia-produtiva-da-industria-eolica-no-brasil-WEB.pdf> . Acesso em: 10 mar. 2020.
- ABEAM. **Frota de embarcações de apoio marítimo no Brasil.** 2020. ABEAM/Associação Brasileira das Empresas de Apoio Marítimo. Disponível em: <<http://www.abeam.org.br/arquivos.php>>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- ABEEOLICA. **Boletim Anual de Geração Eólica.** 2019. ABEEOLICA/Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/PT_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019.pdf> . Acesso em: 10 mar. 2020.
- AÇU. **Sobre o Porto.** Disponível em: <<https://portodoacu.com.br/sobre-o-porto/porto-do-acu/>> . Acesso em: 10 mar. 2020.
- AKBARI, N.; IRAWAN, C. A.; JONES, D. F.; MENACHOF, D. A multi-criteria port suitability assessment for developments in the *offshore* wind industry. **Renewable Energy**, v. 102, p. 118-133, 2017.
- ALVES, J. J. A. Análise Regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 6, n. 1, p. 165-188, 2010.
- ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 2ª Edição.** 2005. ANEEL/Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_6_1.htm> . Acesso em: 10 mar. 2020.
- _____. **Resultado de leilões.** 2020. ANEEL/Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/resultados-de-leiloes>> . Acesso em: 10 mar. 2020.

_____. **Expansão da Matriz Elétrica Brasileira**. Março/2021. 2021
 ANEEL/Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em:
 <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/21866628>. Acesso em:
 15 mai. 2021.

ANP. Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural. 2021. ANP/Agência Nacional de Petróleo. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/bmp/2021/2021-03-boletim-pdf.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

ANTAQ. Panorama de Navegação Marítima e de Apoio. 2012. ANTAQ/Agência Nacional de Transporte Aquaviários. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/Panorama-Aquavi%C3%A1rio-2012-.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

AWEA. U.S. Offshore Wind Industry Status Update. 2021. AWEA/American Wind Energy Association. Disponível em: <<https://www.awea.org/policy-and-issues/u-s-offshore-wind>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

BANCO MUNDIAL. World Bank Port reform toolkit. Second edition, p. 362. 2007.

BILGILI, M.; YASAR, A.; SIMSEK, E. Offshore wind power development in Europe and its comparison with *onshore* counterpart. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 905-915, 2011.

MURTY, P. S. R. Electrical Power Systems. In: _____. **Renewable Energy Sources**. Oxford: Elsevier, 2017. P. 783-800.

BNDES. BNDES Setorial 46. In: _____. Rebocadores Portuários e Marítimos. Rio de Janeiro, BNDES, 2017. p. 127-165.

BOTTONE, Antonio et al. **RIMA – Relatório de Impacto Ambiental do Parque Eólico Offshore Caucaia, 2020.** Disponível em: <<http://licenciamento.ibama.gov.br/UsinaEolica/Offshore%20Caucaia/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

BRASIL. Resolução no 24 de 5 de julho de 2001. Dispõe sobre o Programa Emergencial de Energia Eólica – PROEÓLICA no território nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2001.

_____. Projeto de Lei no 11247 de 2017. 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. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2017.

_____. **Plano Mestre Terminal Portuário do Pecém.** 2015. Infraestrutura.gov.br. Disponível em: <https://www.infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/sumario_executivo/se36.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2020.

_____. **Plano Mestre Terminal Portuário do Rio Grande.** 2013. Infraestrutura.gov.br. Disponível em: <https://www.infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/versao_completa/pm26.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2020.

_____. **Plano Mestre Terminal Portuário do Suape.** 2018. Infraestrutura.gov.br. Disponível em: <http://www.infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/versao_preliminar/vp25v1.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2020.

CADE. Mercados de serviços portuários. 2017. Conselho Administrativo de Defesa Econômica, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.cade.gov.br/acesso-a-informacao/publicacoes-institucionais/dee-publicacoes-anexos/CadernosdoCadePortos26092017.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2020

CCEE. InfoLeilão Dinâmico – 021. 2019. CCEE/Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado/info_leilao_dinamico?contentId=CCEE_645144&_adf.ctrl-state=z9fb3ime_1&_afrLoop=287330802400933#!%40%40%3F_afrLoop%3D287330802400933%26contentId%3DCCEE_645144%26_adf.ctrl-state%3Dz9fb3ime_5>. Acesso em: 15 mai. 2021.

CEARÁ. Porto do Pecém triplica movimentação de pás eólica em 2019. 2019. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2019/12/23/porto-do-pecem-triplica-movimentacao-de-pas-eolicas-em-2019/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

CEPEL. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. 2001. CEPEL/Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

CLEANPOWER. U.S. Offshore Wind Industry – Status Update. 2021. American Clean Power. Disponível em: <<https://cleanpower.org/wp->>

content/uploads/2021/02/ACP_FactSheet-Offshore_Final.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2021.

COSTA, R. C.; PIEROBON, E. C. Leilão de energia nova: análise da sistemática e dos resultados. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 39-58. 2008.

COPPE. **COPPE, Petrobras e SUT promovem seminário sobre energia eólica offshore**. 2020. Coppe-UFRJ/Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia. Disponível em: <<https://coppe.ufrj.br/pt-br/planeta-coppe-noticias/noticias/coppe-petrobras-e-sut-promovem-seminario-sobre-energia-eolica>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

DALGIC, Y.; LAZAKIS, I.; TURAN, O. Vessel charter rate estimation for *offshore* wind O&M activities. **International Maritime Association of Mediterranean**, 2013.

DECASTRO, M.; SALVADOR, S.; GÓMEZ-GESTEIRA, M.; COSTOYA, X.; CARVALHO, D. Europe, China and the United States: Three different approaches to the development of *offshore* wind energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 109, p. 55-70, 2019.

DIOGENES, J. R. F.; CLARO, J.; RODRIGUES, J. C. Barriers to *onshore* wind farm implementation in Brazil. **Energy Policy**, v. 128, p. 253–266, 2019.

DUTRA, R. **Energia Eólica: Princípios e Tecnologias**. CRESESB/Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. 2008.

DUTRA, R.; SZKLO, A. S. A Energia Eólica no Brasil: Proinfa e o Novo Modelo do Setor Elétrico. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia – CBE**, v. II, p. 842-868. 2006.

EIA. **Country Analysis Executive Summary: India**. 2020. EIA/Energy Information Administration. Disponível em: <https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries_long/India/india.pdf>. Acesso em 10 mar. 2021.

EMBRAPA. **Porto do Pecém (CE) – Portal Embrapa**. 2020. Embrapa/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/macrologistica/exportacao/porto_pecem>. Acesso em: 7 mar. 2020.

EPBR. **Eólica *offshore* ganha associação**. 2019. Disponível em: <<https://epbr.com.br/eolica-offshore-ganha-associacao-contra-leiloes/>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

EPE. PNE 2050 – Plano Nacional de Energia. 2020^a. EPE/Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topicos-523/05.02%20Energia%20Eolica.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

_____. **PDE 2029 – Plano Decenal de Expansão de Energia.** 2020b. EPE/Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

_____. **Participação de Empreendimentos Eólicos nos Leilões de Energia no Brasil.** 2018. EPE/Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

_____. **Roadmap Eólica Offshore no Brasil.** 2020c. EPE/Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-bem>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

_____. **PNE 2030 – Plano Nacional de Energia.** 2006. EPE/Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topicos-173/PNE%202030%20-%20Proje%C3%A7%C3%A3o%20B5es.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

_____. **Balanço Energético Nacional 2021.** 2021. EPE/Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topicos-588/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202021-ab%202020_v2.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

ESTADO. Porto de Rio Grande recebe grandes peças para usina eólica de Osório. Portal do Estado do Rio Grande do Sul. 2005. Disponível em: <<https://estado.rs.gov.br/porto-de-rio-grande-recebe-grandes-peças-para-usina-eólica-de-osorio>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

ESTADÃO. Depois de cinco anos, setor de óleo e gás volta a contratar. 2019. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,depois-de-cinco-anos-setor-de-oleo-e-gas-volta-a-contratar,70003118516>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

ESTEBAN, M. D.; DIEZ, J. J.; LOPEZ-GUTIERREZ, J. S.; NEGRO, V. Why *offshore* wind energy?. **Renewable Energy**, v. 36. P. 444-450, 2011.

EUA. **Assessment of Ports for Offshore Wind Development in the United States**. 2014. Disponível em: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2014/04/f14/wind_offshore_port_readiness.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020.

_____. **Computing America's Offshore Wind Energy Potential**. 2016. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/articles/computing-america-s-offshore-wind-energy-potential>>. Acesso em 10 mar. 2021.

EWEA. **Wind in our Sails: the coming of Europe's offshore wind energy industry**. 2011. EWEA/European Wind Energy Association. Disponível em: <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Offshore_Report.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FELLER, A.; SHUNK, D.; CALLARMAN, T. **Value chains versus supply chains. 2006. BPTrends**. Disponível em: <<https://www.bptrends.com/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FILHO, A. C. Análise dos leilões de energia eólica brasileira no período de 2009 a 2017. Mestrado, Universidade Federal de Itajáúba, 2019.

FRACASSO, B. **Leilões de transmissão de energia elétrica: determinantes dos deságios nos leilões de 2011 a 2018**. Escola Nacional de Administração Pública, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.enap.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FREITAS, L. A. C. O escândalo político da Petrobrás e a confiança na representação política brasileira de 2014 a 2018. Mestrado, Universidade de Lisboa, 2019.

FURTADO, A. T. Indústria do Petróleo e Gás Natural: uma vocação desperdiçada. **Cadernos de Desenvolvimento**, v. 14, p. 155-175, 2019.

GALVÃO, LEANDRO. **Ministro da Infraestrutura visita obras de duplicação da BR-116/RS.** Transportes.gov.br. Disponível em: <<http://transportes.gov.br/ultimas-noticias/8950-ministro-da-infraestrutura-visita-obras-da-ponte-do-rio-gua%C3%ADba-e-de-trechos-da-br-116-rs.html>>.>. Acesso em: 10 mar. 2020.

GWEC. **Global Wind Report 2021.** 2021. Global Wind Energy Council. Disponível em: <<https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf>>.> Acesso em: 15 mai. 2021.

GWEC. **Global Wind Report 2018.** 2019. Global Wind Energy Council. Disponível em: <<https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf>> Acesso em: 10 mar. 2020.

HIGGINS, P.; FOLEY, A. The evolution of *offshore* wind power in the United Kingdom. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 599–612, 2014.

IBAMA. **Termo de Referência – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/Rima COMPLEXOS EÓLICOS MARÍTIMOS (OFFSHORE).** 2020. IBAMA/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/publicacoes/2020-11-TR_CEM.pdf>.> Acesso em: 10 mar. 2021.

_____. Ficha de caracterização de atividade FCA. **EOL Planta Piloto de Geração Eólica Offshore – 5 MW.** 2018. Disponível em: <<https://servicos.ibama.gov.br/siga/empreendedor/arquivo-shp/download-pdf-fca/id/75959>>.> Acesso em: 10 mar. 2020.

_____. Ficha de caracterização de atividade FCA. **Complexo Eólico Marítimo Asa Branca I.** 2017. Disponível em: <<https://servicos.ibama.gov.br/siga/empreendedor/arquivo-shp/download-pdf-fca/id/61843>>.> Acesso em: 10 mar. 2020.

IEA. **IEA Wind TCP Annual Report.** 2017. Disponível em: <[https://community.ieawind.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=b1ee7fca-f393-c834-293d-4db886b14370&forceDialog=0#:~:text=In%202017%2C%20the%20EU%20land,2017%20varied%20between%20member%20states](https://community.ieawind.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=b1ee7fca-f393-c834-293d-4db886b14370&forceDialog=0#:~:text=In%202017%2C%20the%20EU%20land,2017%20varied%20between%20member%20states.)>.> Acesso em: 10 mar. 2020.

IRENA, 2021. **Renewable capacity statistics 2021.** IRENA/International Renewable Energy Agency. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2021.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

_____. **Renewable Capacity Statistics 2019.** 2019a. IRENA/International Renewable Energy Agency. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

_____. **Future of Wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects.** 2019b. IRENA/International Renewable Energy Agency. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

_____. **Wind Energy Data.** 2021. IRENA/International Renewable Energy Agency. Disponível em: <<https://www.irena.org/wind#:~:text=Global%20installed%20wind%2Dgeneration%20capacity,according%20to%20IRENA's%20latest%20data.>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

JUNIOR, L. P. Q.; FARIA, T. J. P.; CARVALHO, L. S. Implantação de um Complexo Industrial Portuário: o Caso do Porto do Açu. **Agenda Social**, v. 5, p. 84-103, 2011.

KALDELLIS, J. K. *et al.* Environmental and social footprint of offshore wind energy . Comparison with onshore counterpart. **Renewable Energy**, v. 92, p. 543–556, 2016.

KERN, F.; SMITH, A.; SHAW, C.; RAVEN, R.; VERHEES, B. From laggard to leader: Explaining offshore wind developments in UK. **Energy Policy**, v. 69, p. 635-646, 2014.

KUMAR, Y.; RINGENBERG, J.; DEPURU, S. S.; DEVABHAKTUNI, V. K.; LEE, J. W.; NIKOLAIDIS, E.; ANDERSEN, B.; AFJEH, A. Wind energy: trends and enabling technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 209–224, 2016.

KURIAN, V. J.; NARAYANAN, S. P.; GANAPATHY, C. Towers for Offshore Wind Turbines. **The 10th Asian International Conference on Fluid Machinery**. 2010.

LAGE, E. S.; PROCESSI, L. D. Panorama do setor de energia eólica. **Revista do BNDES**, v. 39, p. 183–206, 2013.

LIEBREICH, M. **Bloomberg New Energy Finance**, London Summit 2017, p. 32, 2017.

LOCAR. **Transportes Marítimos – Locar**. Locar.com.br. Disponível em: <<https://www.locar.com.br/transportes-maritimos.php>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

MACKINNON, D.; DAWLEY, S.; STEEN, M.; MENZEL, M.; KARLSEN, A.; SOMMER, P.; HANSEN, G. H.; NORMANN, H. E. Path creation, global production networks and regional development: A comparative international analysis of the offshore wind sector. **Progress in Planning**, 2018.

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

MELO, E. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. **Estudos Avançados** 27, v. 77, p. 125-142, 2013.

MELO, M. Energia Eólica: Aspectos Técnicos e Econômicos. Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

MOREIRA, R. N.; VIANA, A. F.; OLIVEIRA, D. A. B.; VIDAL, F. A. B. Energia eólica no quinto da nossa casa? Percepção ambiental dos impactos socioambientais na instalação e operação de uma usina na comunidade de sítio do Cumbe em Aracati-CE. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 45-73. 2013.

MORGAN, K.; NTAMBAKWA, E. Wind turbine foundation behavior and design considerations. **AWEA WINDPOWER Conference**, 2008.

MOURA, D. A.; BOTTER, R. C. Transporte marítimo – o corredor verde para o Brasil. **Revista Gestão Industrial**, v. 12, p. 126-138, 2016.

MÜLLER, M. N. Análise de tecnologias e custos para inserção da energia eólica offshore na costa brasileira. Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

MURTY, P. S. R. Electrical Power Systems. In: _____. **Renewable Energy Sources**. Oxford: Elsevier, 2017. p. 783-800.

NOS. **Boletim Mensal de Geração Eólica Janeiro**. 2021. ONS/Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim%20Mensal%20de%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20E%C3%B3lica%202021-01.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. **Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil.** V Simpósio Brasileiro de Oceanografia. Oceanografia e Políticas Públicas. Santos, SP, Brasil, 2011.

OWENS, B. N. **The Wind Power Pioneers.** The Wind Power Story: A Century of Innovation that Reshaped the Global Energy Landscape , IEEE, 2019, pp.1-18.

PAIVA, I. T. P.; LIMA, E. C. Conflitos ambientais: energia eólica e seus impactos socioambientais no interior do Ceará. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 3, n. 2, p. 306-318. 2017.

PECEM. **Área Industrial – Complexo do Pecém. Complexo do Pecém.** Disponível em: <<http://www.complexodopecem.com.br/area-industrial/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

_____. **Pás Eólicas – uma das principais mercadorias movimentadas através do Porto de Pecém.** 2017. Disponível em: <<https://www.complexodopecem.com.br/pas-eolicas-uma-das-principais-mercadorias-movimentadas-atraves-do-porto-do-pecem/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PERVEEN, R.; KISHOR, N.; MOHANTY, S. R. Offshore wind farm development: present status and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 780-792, 2014.

PINTO, R. J.; SANTOS, V. M. L. Energia eólica no Brasil: evolução, desafios e perspectivas. **RISUS – Journal on Innovation and Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 124-142. 2019

PORTMAN, M. E.; DUFF, J. A.; KÖPPEL, J.; REISERT, J.; HIGGINS, M. E. Offshore wind energy development in the exclusive economic zone: Legal and policy supports and impediments in Germany and the US. **Energy Policy**, v. 37, p. 3596-3607, 2009.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, p. 135-151, 2004.

SARKER, B. R; FAIZ, T. I. Minimizing transportation and installation costs for turbines in offshore wind farms. **Renewable Energy**, v. 101, p. 667-679, 2017.

SEBRAE. **Cadeia de valor da energia eólica no Brasil.** 2017. SEBRAE/Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Disponível em: <https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1188c835f8e432ddd43bc39d27853478/%24File/9960.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

SILVA, A. J. V. D. C. **Potencial eólico offshore no Brasil: localização de áreas nobres através de análise multicritério.** Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 102. 2019.

SILVA, F. G. F.; MARTINS, F. G. D.; ROCHA, C. H.; ARAUJO, C. E. F. Análise exploratória da eficiência produtiva dos portos brasileiros. **TRANSPORTES**, v. 19, p. 5-12, 2011.

SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados**, v. 27, n.77, p. 99-115. 2013.

SINAVAL. **Mapa dos Estaleiros no Brasil.** 2014. SINAVAL/Sindicato Nacional da Indústria da Construção e Reparação Naval e Offshore. Disponível em: <http://sinaval.org.br/wp-content/uploads/Mapa_Brasil_Dez14.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

SOUZA, J. M. Mar Territorial, Zona Econômica Exclusiva ou Plataforma Continental? **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 17, n.1, p. 79-82. 1999.

STEHLY, T.; BEITER, P. **2018 Cost of Wind Energy Review, 2017. National Renewable Energy Laboratory (NREL).** Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/74598.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

SUAPE. **Historico de Suape.** Disponível em: <<http://www.suape.pe.gov.br/pt/institucional/historico-de-suape>>. Acesso em: 7 mar. 2020.

TAVARES, L. F. A.; SHADMAN, M.; ASSAD, L. P. F.; SILVA, C., LANDAU, L.; ESTEFEN, S. F. Assessment of the offshore wind technical potential for the Brazilian Southeast and South regions. **Energy**, v. 196, 2020.

TELES, G. F. Mobilidade da força de trabalho e produção do espaço: o complexo industrial e portuário de Pecém na região metropolitana de Fortaleza. **Revista Pegada**, v. 15, p. 115-136, 2014.

TOLMASQUIM, M. T. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro.** 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2015.

U.S. Energy Information Administration (EIA). Eia.gov. Disponível em: <<https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

UZUNOGLU, E.; KARMAKAR, D.; SOARES, C. G. Floating *offshore* wind farms. **Tools for Ocean Energy Maritime Spatial Planning**, p. 53-79, 2016.

VARGAS, P. R. **Analysis of Cost Reduction Opportunities in Offshore Wind**. Universidade Pontifícia Comillas. Madrid, p. 110. 2016.

WEISS, C. V. C.; GUANCHE, R.; ONDIVIELA, B.; CASTELLANOS, O. F.; JUANAES, J. Marine renewable energy potential: A global perspective for offshore wind and wave exploitation. **Energy Conversion and Management**, v. 177, p. 43-54, 2018.

WINDEUROPE. **Offshore Wind in Europe Key trends and statistics**. 2019. Disponível em: <<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Offshore-Statistics-2019.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

WINDPOWER. **Thewindpower.net**. Disponível em: <https://www.thewindpower.net/store_actor_en.php?id_type=5>. Acesso em: 10 mar. 2020.

WÜSTEMEYER, C.; MADLENER, R.; BUNN, D. W. A stakeholder analysis of divergent supply-chain trends for the European onshore and offshore wind installations. **Energy Policy**, v. 80, p. 36-44. 2015.

12. ANEXOS

Anexo A - Lista de Empresas e Itens que compõem a cadeia produtiva de Aerogeradores. Fonte: Elaboração própria, adaptado de ABDI (2017).

Lista de Itens
Estruturas para Torres de Aço:
<ul style="list-style-type: none"> • Flanges, Fixadores, Portas / Escotilhas e Tintas;
Estruturas para Torres de Concreto:
<ul style="list-style-type: none"> • Concreto, Moldes, Insertos Metálicos, Cabos de Aço de Protensão e Aditivos para Concreto e Adesivos;
Elementos Internos das Torres:
<ul style="list-style-type: none"> • Elevador, Escada, Plataforma, Suportes e Acessórios, Sistemas de Proteção Contra-quedas / Guard-rails e Iluminação;
Estruturas da Pá:
<ul style="list-style-type: none"> • Tecido de Fibra de Vidro, Tecido de Fibra de Carbono, Resina Poliéster, Resina Époxi, Madeira Balsa, Fixadores e Porcas, Fixadores (adesivos), Adesivos (outros), Espumas, Selantes, Tintas e Sistema Anti-raio;
Subcomponentes e Insumos para o Cubo:
<ul style="list-style-type: none"> • Carenagem, Cubo (fundido), Lubrificantes, Painel de Controle, Placas (torque e <i>stiffening plates</i>), Rolamento, Serviços de Pintura, Serviços de Usinagem e Sistemas de Lubrificação;
Subcomponentes do Sistema de Passo:
<ul style="list-style-type: none"> • Acionamento do Passo (motorredutor), Bloco Hidráulico do Passo, Engrenagens e Redutores Planetários, Motorredutor e Painel de Controle do Passo;
Nacelle:
<ul style="list-style-type: none"> • Luzes de Sinalização, Cabos e Barramentos, Carenagem, Conversor/Inversor, Coroa Dentada, Eixo Principal (Eixo, Lubrificantes e Sistemas de Lubrificação), Elemento Estrutural (Bastidor, Chassi/Suporte do Gerador, Parafusos Estruturais, Quadro Principal e Quadro Traseiro), Gear Case, Painel de Controle e Proteção, Semicondutor de Potência, Freios, Sistema de Refrigeração, Sistema de Travamento do Rotor, Sistema de Yaw (Engrenagem, Freios, Fundido para Yaw, Motorredutor, Painel de Controle do Yaw, Redutor, Rolamento Yaw e Sistema de Acionamento do Yaw), Gerador, Bobinas, Elemento Estrutural do Rotor/Estatôr, Núcleo Magnético, Resina de

<p>Impregnação, Talha, Top Box, Transformador, Unidade Hidráulica e Usinagem,</p> <p>Lista de Empresas</p> <p>Montadoras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acciona Windpower Brasil, Siemens Gamesa Renewable Energy, GE Water & Process Technologies do Brasil Ltda., Vestas do Brasil Energia Eólica Ltda., WEG Equipamentos Elétricos S/A, Wind Power Energia S/A, Wobben Windpower Indústria e Comércio Ltda.; <p>Fabricantes Nacionais de Torres de Aço:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brasilsat Harald S/A, Engebasa Mecânica e Usinagem Ltda., Gestamp Wind Steel Pernambuco S/A, Intecnial S/A, NTB – Nordeste Torres do Brasil Ltda., SCS Soluções, Construções e Sistemas Ltda., Torres Eólicas do Brasil Ltda., Torres Eólicas do Nordeste S/A, Wind Lam Canoas Plant; <p>Fabricantes Nacionais de Torres de Concreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cassol, Confer Construtora Fernandes Ltda., CTZ Eolic Tower, DTS – Dois a Tower System Pré-moldados Ltda., Eolicabras, Nordex – Acciona, Wobben; <p>Fabricantes Nacionais de Pás Eólicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aeris Ind, e Comércio de Equipamentos para Geração de EM, LM Wind Power do Brasil S,A., Tecsis Tecnologia E Sistemas Avançados S/A, Wobben Windpower Industria; <p>Fabricantes de Subcomponentes, Insumos e Elementos Internos para Torres de Aço:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usiminas, Gerdau, Uniforja, GRI Flanges do Brazil, Metalbrax, Tecnofix, Metaltork, Industrial Rex, Ciser, Alus, Engebasa, Atlanta, Renner Coatings, International (Akzo Nobel), Jotun; <p>Fabricantes de Subcomponentes, Insumos e Elementos Internos para Torres de Concreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CSM, Tensacciai, Rudloff Wind Torres Eólicas, Belgo, Protendidos Dywidag, Mc-Bauchemie Brasil, BASF – Construction Chemicals; <p>Fabricantes Nacionais de Elementos Internos das Torres:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artama Metalmecanica Limitada, Avanti Brasil Sistemas Eólicos, Hailo Sistemas Metálicos Ltda., Power Climber Comercio do Brasil S,A., Atlanta, Kathrein, Alustar, Barga, Engebasa, Nortel (Rexel), Prysmian, Phelps Dodge, Nexans; <p>Fabricantes Nacionais de Elementos e Insumos para Pás:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CPIC Brasil, Saertex, Owens Corning, Reichhold, Novapol, DOW, Hexion (Momentive),

Metalbrax, Metaltork, Tecnofix, Algolix, Henkel, Sika, Lehmor;

Fabricantes Nacionais de Subcomponentes do Cubo:

- Ancel Tecnologia em Compositos Ltda.,, Atlanta Ind, E Com, De Peças e Equip Ltda.,, BFG Brasil Componentes Plasticos Ltda.,, Molde Plasticos Reforcados Ltda.,, MVC Componentes Plasticos SA, BR Metals Fundicoes Ltda.,, Fundicao Moreno Ltda.,, Gerdau Summit, ROMI, Voith Hydro Ltda.,, Fuchs do Brasil, Kluber, Mobil, SKF, Sanmina-SCI do Brasil Integration Ltda.,, Bardella SA Industrias Mecanicas, Painco Industria e Comercio S/A, Liebherr Brasil Guindastes e Maquinas Operatrizes Ltda.,, Shilla Brasil Industria de Rolamento de Giro, Thyssenkrupp Brasil Ltda.,, Grupo GP Tratamento de Superficies, Emalto, ST Metals, Stepan, Usical Usinagem e Caldeiraria Jundiaí Ltda.,, Eximport;

Fabricantes Nacionais de Subcomponentes do Rotor – Sistema de Passo:

- GE Power Conversion Brasil Ltda.,, Glual Hidraulica do Brasil Ltda.,, Hine do Brasil Ind, Com de Hidr, Pneum, Ltda.,, Jabil do Brasil Industria Eletroeletronica Ltda.,, TGM Ind, e Com, De Turbinas e Transmissoes Ltda.,, Bonfiglioli Redutores do Brasil Industria e Comercio L.,, SEW-Eurodrive Brasil Ltda.,, Ingeteam Ltda.,, Moog do Brasil Controles Ltda.,, Sanmina-SCI do Brasil Integration Ltda.,, SAT – Sistema de Automação e Tecnologia Ltda;

Fabricantes Nacionais de Elementos Estruturais da Nacele:

- Bardella Industrias Mecanicas, BR Metals Fundicoes Ltda.,, Liebherr Brasil Guindastes e Maquinas Operatrizes Ltda.,, Mausa AS Equipamentos Industriais, Painco Industria e Comercio S/A, HKM Empreendimentos e Participacoes Ltda.,, WEG Equipamentos Eletricos S/A, Ciser, Industrial Rex, Romi, Jumbo Industria Mecanica Ltda.,, TGM Ind, e Com, de Turbinas e Transmissoes Ltda.,, Antec Eolica Fabricacao e Comercio de Freios Ltda.,, Brevini Latino Americana Industria e Comercio Ltda.,, SEW-Eurodrive Brasil Ltda.,, GE Power Conversion Brasil Ltda.,, WEG Drives & Controls – Automacao Ltda.,, Bonfiglioli Redutores do Brasil Industria e Comercio L.,, Shilla Brasil Industria de Rolamento de Giro, SKF do Brasil Ltda.,, Thyssenkrupp Brasil Ltda.,;

Fabricantes Nacionais de Geradores (Aero geradores com Caixa de Engrenagem):

- ABB Ltda.,, Andritz Hydro S/A, GE Power Conversion Brasil Ltda.,, Indar;

Fabricantes Nacionais de Subcomponentes Específicos para Aero geradores sem Caixa de Engrenagem:

- EFACEC, PPE, WEG Equipamentos Eletricos S/A, Bardella SA Industrias Mecanicas, BR Metals Fundicoes Ltda.,, Tessin, Elantas;

Fabricantes Nacionais da Carenagem da Nacele:

- ANCEL Tecnologia em Compositos Ltda., Atlanta Ind, e Com, de Pecas e Euipltda., BFG Brasil Componentes Plasticos Ltda., BR Metals Fundicoes Ltda., MVC Componentes Plasticos SA, VCI Molde Ind Com de Compositos Ltda.,;

Fabricantes Nacionais do Sistema de Travamento (Rotor Lock):

- GE Energias Renovaveis Ltda., Gevisa S/A, Glual Hidraulica do Brasil Ltda., Hine do Brasil Ind, Com, de Hidr, Pneum, Ltda., Painco Industria e Comercio S/A, Vulkan do Brasil Ltda., Wobben Windpower Industria e Comercio LT;

Fabricantes Nacionais do Conversor:

- ABB Ltda., GE Power Conversion Brasil Ltda., INGETEAM Ltda., Sanmina-SCI do Brasil Integration Ltda., WEG Drives & Controls Automacao Ltda., Woodward Comercio de Sistemas de Control;

Fabricantes Nacionais de Transformadores:

- ABB Ltda., Blutrafos, Comtrafo, Siemens, WEG;

Fabricantes Nacionais de Acessórios, Cabos e Barramentos:

- Debetec, Frata, Nexans, Phelps Dodge, Prysmian;

Fabricantes Nacionais de Subcomponentes de Eixo Principal:

- Gerdau Summit, Villares Metals, Romi, Fuchs do Brasil, Klüber, Mobil, SKF, Eximport;

Fabricantes Nacionais de Serviços de Usinagem:

- Fey, Mausa SA Equipamentos Industriais, Schuler;

Fabricantes Nacionais de Outros Subcomponentes da Nacele:

- Liebherr Brasil Guindastes e Maquinas Operatrizadas Ltda., Painco Industria e Comercio S/A, INGETEAM Ltda., Ormazabal do Brasil Equipamentos de Distribuicao de ENE, Semikron, Altra Industrial Motion do Brasil S,A., Antec Eolica Fabricacao e Comercio de FR, Hine do Brasil Ind, Com, de Hidr, Pneum, Ltda., Hydac Teconologia Ltda., Kito do Brasil Comercio de Talhas e Guin, Jabil do Brasil Industria Eletroeletronica Ltda., Sanmina-SCI do Brasil Integration Ltda., Bosch Rexroth Ltda,