UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEXANDRE CLETO GUIMARÃES FONSECA

ESTUDO DE BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS PARA PROJETOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA *OFFSHORE* NO BRASIL

Curitiba

2025

ALEXANDRE CLETO GUIMARÃES FONSECA

ESTUDO DE BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS PARA PROJETOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA *OFFSHORE* NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias (PECA), Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis.

Orientador: Prof. Eduardo F. Gobbi

Curitiba

2025

RESUMO

Em função do contexto mundial das mudanças climáticas, os países estão desenvolvendo tecnologias para geração de energia a partir de fontes renováveis de forma crescente. Os empreendimentos eólicos *offshore* fazem parte desta tendência e apesar de ainda não existirem instalados no Brasil, muitos projetos já estão em desenvolvimento com processos de licenciamento ambiental abertos no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre a proposição de boas práticas associadas aos principais aspectos ambientais do desenvolvimento de complexos eólicos *offshore* (CEO). Os resultados desta revisão foram representados em quadros para cada uma das fases de planejamento, instalação e operação de um CEO. A principal conclusão desse trabalho é que muitas ações de monitoramento, prevenção, mitigação e compensação ambiental desenvolvidas pela indústria de O&G e por CEOs no exterior poderiam ser aplicados em futuros projetos no Brasil, mas é fundamental que as boas práticas ambientais sejam estudadas, desenvolvidas e testadas no contexto nacional.

Palavras-chave: complexos eólicos *offshore*; aspectos ambientais; boas práticas ambientais; licenciamento ambiental.

ABSTRACT

Due to the global context of climate change, countries are increasingly developing technologies for energy generation from renewable sources. Offshore wind energy projects are part of this trend, and although they are not yet installed in Brazil, many projects are already underway with environmental licensing processes at the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (Ibama). This paper presents a literature review for the proposal of best practices associated with the main environmental aspects of offshore wind farm (OWF) development. The results of this review were represented in tables for each of the planning, installation, and operation phases of an OWF. The main conclusion of this work is that many environmental monitoring, prevention, mitigation, and compensation actions developed by the O&G and OWF industry abroad could be applied in future projects in Brazil, but it is essential that best practices are studied, developed and tested in the national context.

Keywords: offshore wind farms, environmental aspects, environmental best practices, environmental permitting.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - MODELO DE QUADRO PARA RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS.....10

QUADRO 2 - MODELO DE QUADRO PARA RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES, ASPECTOS AMBIENTAIS E BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS.....10

QUADRO 3 - RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À ETAPA DE PLANEJAMENTO.....12

QUADRO 4 - RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À ETAPA DE INSTALAÇÃO.....13

QUADRO 5 - RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À ETAPA DE OPERAÇÃO.....14

QUADRO 6 - RECOMENDAÇÕES DE BOAS PRÁTICAS AOS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS DA ETAPA DE PLANEJAMENTO.....16

QUADRO 7 - RECOMENDAÇÕES DE BOAS PRÁTICAS AOS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS DA ETAPA DE INSTALAÇÃO.....18

QUADRO 8 - RECOMENDAÇÕES DE BOAS PRÁTICAS AOS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS DA ETAPA DE OPERAÇÃO.....21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....06

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....06

1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....07

1.3 OBJETIVOS.....08

1.4 JUSTIFICATIVA.....08

2. MATERIAL E MÉTODOS.....09

2.1 CRITÉRIOS.....09

2.2 DESENHO DA PESQUISA.....09

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....11

3.1 ASPECTO AMBIENTAL.....11

3.1.1 Aspectos ambientais no planejamento.....11

3.1.2 Aspectos ambientais na instalação.....12

3.1.3 Aspectos ambientais na operação.....14

3.2 BOAS PRÁTICAS.....14

3.2.1 Boas práticas ambientais no planejamento.....15

3.2.2 Boas práticas ambientais na instalação.....16

3.2.3 Boas práticas ambientais na operação.....20

4. CONCLUSÕES.....22

REFERÊNCIAS.....23

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O atual cenário de aquecimento global conjugado ao aumento da demanda por energia fomenta o desenvolvimento das tecnologias de geração de energia por fontes renováveis (Dolan; Heath, 2012). O interesse mundial nessas tecnologias é justificado pela capacidade de reduzir a emissão relativa de gases causadores do efeito estufa. Dentre essas tecnologias, a geração de energia eólica apresenta destacada taxa de crescimento e potencial de expansão. Conforme dados do relatório de 2024 da *Global Wind Energy Council* (GWEC), apenas em 2023 houve o incremento da capacidade mundial instalada de energia eólica de 117 GW, o que representa um aumento de 50% em relação ao ano anterior.

A geração de energia eólica pode ocorrer tanto em ambiente terrestre (*onshore*), quanto em ambiente marinho (*offshore*), através da conversão do movimento dos ventos em energia elétrica. O desenvolvimento da geração terrestre foi pioneiro, mas há uma tendência de maior expansão da geração *offshore* por conta da maior disponibilidade de espaço, de impactos socioambientais potencialmente menores e da maior qualidade dos ventos para a geração de energia (Esteban et al., 2011).

Estudos também apontam que a geração de energia eólica *offshore* é menos impactante ao meio ambiente que a geração em ambiente terrestre (Luz et al., 2020). Entretanto, a geração eólica *offshore* não deixa de ser uma atividade potencialmente causadora de significativo impacto ambiental. Por esse motivo, esta tipologia de geração de energia depende de prévio licenciamento ambiental para ser implementada, conforme legislação nacional brasileira (Brasil, 1997). Considerando que ainda não existe empreendimento eólico *offshore* instalado no Brasil, há uma consequente oportunidade de desenvolvimento sobre esse assunto, inclusive na área ambiental.

Muitos normativos ambientais já existentes no Brasil são aplicáveis aos projetos de Complexos Eólicos *Offshore* (CEOs). Além disso, o poder público federal

já desenvolveu conhecimento nessa área. O Ibama, inclusive, já produziu um termo de referência padrão para o licenciamento ambiental desses empreendimentos (Ibama, 2020). Outrossim, boas práticas ambientais já aplicadas em projetos de eólica *onshore* podem ser replicados nos projetos eólicos *offshore*, assim como programas ambientais comuns à indústria de O&G.

Porém, em virtude do ineditismo desta tipologia de atividade em território nacional, estudos relacionados a regulamentações específicas sobre aspectos ambientais inerentes a esses empreendimentos e a boas práticas aplicáveis à geração de energia eólica *offshore* devem ser estudadas para aplicação futura.

1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base teórica deste trabalho foi a associação da metodologia de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) proposta pelo Ibama no Guia de Avaliação de impacto Ambiental - Relação Causal de Referência de Petróleo e Gás – Produção, com boas práticas ambientais aplicáveis a CEOs, levantadas através da revisão bibliográfica.

A utilização desta metodologia de AIA foi proposta por Cox e Nogueira (2023) de forma semelhante em seu estudo de avaliação de impacto de eólicas *offshore* no Brasil. Entretanto, o detalhamento dos impactos ambientais não foi o foco do presente estudo. Ainda assim, os principais impactos foram suscintamente abordados para a melhor compreensão da relação entre os aspectos ambientais e as boas práticas propostas neste trabalho.

As fontes de informação acerca das principais atividades nas fases de planejamento, instalação e operação de um CEO foram os estudos ambientais das plantas-piloto de eólica *offshore* da Petrobras (2019) e do Serviço Nacional de aprendizagem Industrial (SENAI) (2024), além do trabalho de Asgarpour (2016) sobre este tema.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é identificar e propor boas práticas associadas aos principais aspectos ambientais de projetos eólicos *offshore* no Brasil.

São objetivos específicos:

- Levantar os principais aspectos ambientais dos empreendimentos eólicos *offshore* no Brasil;

- Identificar e propor boas práticas ambientais para os empreendimentos eólicos *offshore* no Brasil.

1.4 JUSTIFICATIVA

Existem poucos estudos associados à gestão ambiental da energia eólica *offshore*, sendo que a maioria das contribuições focam na avaliação dos impactos ambientais e na avaliação do ciclo de vida. Portanto, este trabalho busca colaborar para o compartilhamento de conhecimento sobre boas práticas relacionadas aos principais aspectos ambientais. A geração de conhecimento aplicado aos projetos de energia eólica *offshore* é fundamental diante da previsão de desenvolvimento dessa modalidade de geração de energia renovável no Brasil, em virtude do seu enorme potencial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CRITÉRIOS

A metodologia utilizada para a produção deste trabalho foi a revisão bibliográfica. Foi realizada a busca de artigos acadêmicos através do acervo digital de periódicos do CAPES. Também foram realizadas buscas específicas no Google associadas ao tema nos *sites* oficiais do poder público federal e de empresas e associações, nacionais e internacionais, relacionadas ao setor eólico *offshore.*

Conforme já mencionado, este trabalho utilizou a metodologia de AIA proposta pelo Ibama no Guia de Avaliação de impacto Ambiental - Relação Causal de Referência de Petróleo e Gás – Produção para associar os principais aspectos ambientais do desenvolvimento de CEOs a boas práticas ambientais aplicáveis a esses projetos.

O levantamento dos aspectos ambientais não foi exaustivo. Buscou-se priorizar a identificação e o desenvolvimento daqueles considerados de maior relevância com base no levantamento bibliográfico realizado. Também é importante mencionar que esse trabalho não buscou detalhar a associação dos aspectos com os impactos ambientais (cuja contribuição de estudos acadêmicos é maior). O objetivo principal foi construir uma base teórica para a proposição de boas práticas ambientais em CEOs com aplicabilidade no Brasil.

2.2 DESENHO DA PESQUISA

A primeira etapa do trabalho foi a seleção da metodologia de AIA para as etapas de levantamento e associação das atividades do empreendimento, aspectos ambientais e boas práticas. Conforme mencionado, foi adaptado o Guia de Avaliação de impacto Ambiental - Relação Causal de Referência de Petróleo e Gás – Produção do Ibama para esse fim.

Em seguida, foram identificadas as principais atividades para o desenvolvimento de CEOs nas fases de planejamento, instalação e operação. Para essa etapa foram utilizados como referências teóricas os estudos ambientais das plantas-piloto de eólica *offshore* da Petrobras (2019) e do SENAI (2024), além do trabalho de Asgarpour (2016) sobre este tema.

A etapa seguinte foi o levantamento bibliográfico de boas práticas e aspectos ambientais relacionados a CEOs na plataforma de periódicos do Capes e nos estudos ambientais das plantas-piloto de eólica *offshore* da Petrobras (2019) e do SENAI (2024). Complementarmente, foram realizadas buscas específicas no Google em *sites* oficiais do poder público federal e de empresas e associações, nacionais e internacionais, relacionadas ao setor eólico *offshore*.

Os primeiros resultados gerados foram as associações das principais atividades das fases de planejamento, instalação e operação aos aspectos ambientais de cada uma dessas etapas do projeto. Neste ponto do trabalho foram elaborados quadros para cada fase de desenvolvimento do projeto, com o seguinte modelo:

QUADRO 1 - MODELO DE QUADRO PARA RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS

Atividades	Aspectos

FONTE: O autor (2025)

Posteriormente, foram associadas as principais boas práticas aos resultados da etapa anterior. Esta relação foi sintetizada em quadros para cada fase de desenvolvimento do projeto, com o seguinte modelo:

QUADRO 2 - MODELO DE QUADRO PARA RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES, ASPECTOS AMBIENTAIS E BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS

Atividades	Aspectos	Boas Práticas

FONTE: O autor (2025)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ASPECTO AMBIENTAL

Conforme metodologia detalhada no capítulo anterior, a primeira etapa de apresentação dos resultados foi o levantamento dos principais aspectos ambientais para cada uma das principais fases do desenvolvimento de um CEO: planejamento, instalação, operação. Essas fases foram divididas entre suas principais atividades e relacionadas aos aspectos ambientais mais relevantes dos projetos de CEO.

3.1.1 Aspectos ambientais no planejamento

A fase de planejamento consiste em todas as atividades executadas antes da instalação do empreendimento. A partir da abertura do processo de licenciamento ambiental no IBAMA, o projeto pode ser de conhecimento público e sujeito a divulgação. Isso pode gerar expectativas por parte da sociedade civil.

Após a abertura do processo de licenciamento, o IBAMA emite o termo de referência (TR) para elaboração dos estudos ambientais. Com base nesse TR o empreendedor elabora esses estudos, que envolvem uma vasta caracterização ambiental e posterior avaliação de impactos ambientais, associados à proposição de medidas de controle (monitoramento, prevenção, mitigação e compensação).

Esses estudos são protocolados no IBAMA para avaliação do órgão sobre a viabilidade do projeto. Então, o projeto e seu estudo ambiental são apresentados à sociedade através das audiências públicas. Nessa etapa, o IBAMA recolhe as considerações da sociedade sobre o projeto e delibera sobre o deferimento da licença prévia.

Embora o estudo dos impactos ambientais não seja o foco desse trabalho, é importante associar os aspectos ambientais aqui levantados aos principais impactos relacionados. A divulgação do projeto após a abertura do processo no IBAMA pode gerar expectativas na sociedade quanto aos possíveis impactos do empreendimento,

tanto negativos (aumento do custo de vida e pressão imobiliária), quanto positivos (aquecimento do setor de serviços). Neste sentido, a etapa de caracterização e elaboração do estudo ambiental pode resultar em atraso da execução do projeto, o que poderia potencializar impactos negativos associados às expectativas da sociedade e prejuízo ao empreendedor.

O quadro 3 associa as principais etapas do planejamento aos principais aspectos relacionados:

QUADRO 3 - RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À ETAPA DE PLANEJAMENTO

Atividades	Aspectos
Abertura do processo no IBAMA e divulgação do projeto	Geração de expectativa junto a sociedade
Caracterização e elaboração do estudo ambiental	Tempo de elaboração da caracterização e do estudo ambiental

FONTE: O autor (2025)

3.1.2 Aspectos ambientais na instalação

A fase de instalação consiste em todas as atividades necessárias para a construção, montagem e fixação de todos os elementos do projeto, tanto em ambiente terrestre, quanto em ambiente marinho, até a etapa de comissionamento. Algumas atividades de construção *onshore* (Instalação da linha de transmissão e de subestação elétrica terrestre) podem ocorrer em paralelo às atividades *offshore*, mas de uma forma geral, pode-se sequenciar as seguintes atividades:

1º- Transporte das fundações e das turbinas até o local de instalação;

2º- Fixação das fundações no leito marinho;

3º- Montagem das turbinas sobre as fundações;

4º- Lançamento do cabo elétrico no leito marinho e chegada em praia;

5º- Conexão do cabo elétrico aos demais elementos do projeto.

Todas estas atividades construtivas concentram a maior parte dos aspectos e impactos ambientais relacionados a um projeto de geração de energia eólica *offshore* (Petrobras, 2019). Em ambiente terrestre, a construção de uma subestação elétrica e da linha de transmissão pode causar a necessidade de suprimir vegetação, por exemplo. A chegada de praia do cabo elétrico carece da abertura de valas ou da perfuração em ambiente praial para a passagem e posicionamento desta estrutura.

Entretanto, a maioria dos aspectos ambientais durante a instalação ocorrem em meio marinho. Todas as atividades construtivas utilizam embarcações, que podem interferir na biota aquática em geral através do deslocamento e da ancoragem. O lançamento do cabo submarino atinge o leito marinho dos aerogeradores até a chegada em praia. Já a fixação das fundações no leito marinho é responsável pela geração de ruídos subaquáticos. Por fim, a conclusão da fase de instalação tem como consequência imediata a ocupação da área pelo CEO, competindo com outras atividades econômicas pelo uso do espaço.

O quadro 4 associa as principais etapas da instalação aos principais aspectos ambientais relacionados:

QUADRO 4 - RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À ETAPA DE INSTALAÇÃO

Atividades	Aspectos
Instalação da linha de transmissão e da subestação elétrica *onshore*	Supressão da vegetação
Chegada do cabo elétrico em praia (até a subestação *onshore*)	Abertura de valas ou perfuração em ambiente praial
Lançamento do cabo elétrico	Arrasto do cabo no leito marinho
Ancoragem das embarcações	Arrasto da âncora e da corrente
Atividades de apoio e construtivas com embarcações	Tráfego de embarcações
Fixação das fundações	Geração de ruído
	Perfuração do leito marinho
	Ocupação do espaço marinho

FONTE: O autor (2025)

3.1.3 Aspectos ambientais na operação

A fase de operação se inicia logo após o comissionamento, findada a instalação de todas as estruturas, com a conexão do cabo submarino aos aerogeradores e à subestação *onshore*. Nessa fase, a energia começa a ser produzida e transmitida.

Os principais aspectos ambientais da fase de operação são o estabelecimento de obstáculos em movimento (giro das pás) na atmosfera e a ocupação da área pelo complexo eólico *offshore* (iniciada na fase de instalação), competindo com outras atividades econômicas pelo uso do espaço. O primeiro aspecto mencionado pode oferecer um obstáculo para a avifauna e quiropterofauna. Já a segunda, corresponde ao mesmo aspecto que se inicia na fase de instalação.

O quadro 5 associa as principais etapas da operação aos principais aspectos ambientais relacionados:

QUADRO 5 - RELAÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À ETAPA DE OPERAÇÃO

Atividade	Aspectos
Funcionamento do aerogerador	Obstáculos aéreos em movimento (giro das pás)
	Ocupação do espaço marinho

FONTE: O autor (2025)

3.2 BOAS PRÁTICAS

A segunda etapa de apresentação dos resultados, de acordo com a metodologia apresentada, foi a proposição de boas práticas para os principais aspectos ambientais mapeados na etapa anterior, ao logo das fases de implementação de um CEO.

3.2.1 Boas práticas ambientais no planejamento

Os principais aspectos associados à fase de planejamento foram a geração de expectativa junto a sociedade, a partir da abertura do processo de licenciamento ambiental no IBAMA, e o tempo para elaboração da caracterização e do estudo ambiental após a emissão do TR pelo órgão ambiental.

Considerando a importância e os custos dos levantamentos em ambiente marinho de dados meteoceanográficos, geotécnicos e geofísicos, não só para a elaboração dos estudos ambientais, mas também para o planejamento dos métodos construtivos de instalação, recomenda-se como boa prática a antecipação dessas ações dentro da etapa de planejamento. Ademais, muitas informações sobre os meios físico e biótico exigidas no TR exigem a coleta de dados em pelo menos duas estações (seca e úmida).

Logo, caso o empreendedor consiga antecipar a caracterização ambiental que atenda às necessidades tanto da engenharia do empreendimento, quanto do TR do IBAMA, reduziria o tempo necessário para desenvolvimento do projeto e para a elaboração do estudo ambiental, prevenindo atraso na obtenção da licença prévia.

Em relação à potencial geração de expectativa junto à sociedade, a antecipação da elaboração de um plano de comunicação social entre as partes interessadas do empreendimento pode prevenir a propagação de informações enganosas e detratoras associadas ao projeto. Esta recomendação manteria um importante canal de comunicação ativo para a troca transparente de informações com a sociedade.

O quadro 6 associa as boas práticas recomendadas às atividades e aspectos da etapa de planejamento:

QUADRO 6 - RECOMENDAÇÕES DE BOAS PRÁTICAS AOS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS DA ETAPA DE PLANEJAMENTO

Atividades	Aspectos	Boas Práticas
Abertura do processo no IBAMA e divulgação do projeto	Geração de expectativa junto à sociedade	Antecipar a elaboração de um Plano de Comunicação Social
Caracterização e elaboração do estudo ambiental	Tempo de elaboração da caracterização e do estudo ambiental	Elaborar um planejamento adequado às condições ambientais da localização pretendida
		Antecipar a contratação de empresas especializadas nas campanhas de levantamento de dados de campo

FONTE: O autor (2025)

3.2.2 Boas práticas ambientais na instalação

Conforme observado na subseção 3.1.2, a fase de instalação concentra os aspectos ambientais mais relevantes de um CEO (Petrobras, 2019). Dependendo da quantidade de aerogeradores e das condições ambientais, essa fase pode durar até 20 meses e possui um potencial maior de alteração do ambiente em relação às fases de planejamento e operação.

A construção de uma subestação elétrica *onshore* e da linha de transmissão pode causar a necessidade de suprimir vegetação, conforme citado anteriormente. Esta supressão pode ocorrer em áreas de restinga, por exemplo, uma fitofisionomia de grande importância para muitas espécies animais. O uso de imagens de satélite associado à avaliação de campo pode auxiliar na definição de um traçado para a linha de transmissão e na escolha da área para instalar a subestação em zonas antropizadas ou de menor sensibilidade ambiental, prevenindo ou limitando o impacto sobre ecossistemas costeiros.

A chegada de praia do cabo elétrico acontece a partir da abertura de valas ou da perfuração do substrato em ambiente praial. Estudos prévios de hidrodinâmica costeira e de sedimentos podem apontar a melhor metodologia construtiva na área diretamente afetada, reduzindo o impacto associado à erosão. Também devem ser considerados os tipos de ocupação associados à zona de chegada do cabo em terra, que pode utilizada como lazer, turismo e até de interesse biológico, como as áreas de desova de tartarugas.

No caso da ocupação humana para lazer e turismo, após verificada a viabilidade, devem ser adotadas estratégias de comunicação social e identificação da passagem do cabo elétrico para garantir a segurança das pessoas e compatibilizar a presença dessa estrutura com o uso antrópico no local. Em relação à desova de tartarugas, os períodos reprodutivos devem ser mapeados para cada praia, de forma que as atividades construtivas não provoquem impactos negativos sobre essas espécies de quelônios.

O tráfego intenso de embarcações pode causar estresse ou até mesmo abalroamento de mamíferos aquáticos e quelônios. Para prevenir esse impacto, recomenda-se o mapeamento das rotas de migração e dos períodos reprodutivos, buscando planejar as atividades construtivas com menor interferência sobre essas espécies. Outra medida preventiva seria a utilização de monitores de biota embarcados em pontos estratégicos durante a fase de instalação para evitar a aproximação excessiva destes animais.

A ancoragem das embarcações pode impactar na biota bentônica através do arraste da âncora e da corrente no leito marinho. Esse mesmo impacto pode ser causado pelo lançamento do cabo submarino entre a chegada em praia e a conexão com os aerogeradores. Entretanto, o maior impacto sobre essas espécies bentônicas pode acontecer na fixação das fundações no leito marinho. Caso exista na área diretamente afetada corais ou algas calcáreas, por exemplo, essas formações biológicas serão impactadas. Portanto, recomenda-se a investigação ambiental prévia do leito marinho nas áreas escolhidas, considerando a importância ecológica dessas colônias para a saúde ambiental.

A fixação das fundações também é responsável pela geração de ruídos subaquáticos. Ainda existe pouco conhecimento a respeito do efeito dos ruídos gerados dessa atividade sobre a fauna marinha, mas já foram relatadas evidências de perturbação especialmente de mamíferos aquáticos (Petrobras, 2019). Para mitigar esses efeitos negativos, recomenda-se a utilização de Sistemas de Redução de Ruídos (NRS), como a cortina de bolhas. Essas estruturas têm a capacidade de reduzir a propagação de vibração e ruído das fundações durante a atividade de estaqueamento (Vaissière *et al.*, 2014), reduzindo eventuais impactos negativos sobre espécies sensíveis.

A instalação do CEO provoca a ocupação da área pelos elementos do projeto que compete com outras atividades econômicas pelo uso do espaço. Essa ocupação pode gerar conflitos com outras atividades antrópicas, das quais se destaca a pesca. Em função da necessidade de garantir a integridade dos cabos submarinos e das embarcações, a Marinha do Brasil emitiu a Portaria DPC/DGN/MB nº 157, de 15 de janeiro de 2025 determinou que a exclusão da atividade pesqueira a uma distância de 500 metros das estruturas de um CEO. A consequência direta dessa medida será a redução da área apta para a pesca, podendo afetar o rendimento dos pescadores.

Recomenda-se negociar junto ao poder público e às comunidades pesqueiras o estabelecimento de protocolos de segurança regionais da atividade pesqueira através de estudos práticos, avaliando caso a caso os diferentes tipos de pescas, de embarcações e de uso de apetrechos. Essa medida reduziria de forma responsável a área de exclusão, assim como o impacto sobre a pesca. Adicionalmente, recomenda-se nesses casos o estabelecimento de programas de monitoramento da atividade pesqueira e de compensação da atividade pesqueira, para entender e evidenciar quantitativamente eventuais impactos nos pescadores e compensá-los de forma proporcional.

O quadro 7 associa as boas práticas recomendadas às atividades e aspectos da etapa de instalação:

QUADRO 7 - RECOMENDAÇÕES DE BOAS PRÁTICAS AOS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS DA ETAPA DE INSTALAÇÃO

Atividades	Aspectos	Boas Práticas
Instalação da linha de transmissão e da subestação elétrica *onshore*	Supressão da vegetação	Escolher áreas antropizadas ou com menor sensibilidade ambiental

(Continua)

(Continuação)

Atividades	Aspectos	Boas Práticas
Chegada do cabo elétrico em praia (até a subestação *onshore*)	Abertura de valas ou perfuração em ambiente praial	Verificar a viabilidade e compatibilidade com os usos antrópicos na área
		Elaborar plano de comunicação social com a identificação da passagem do cabo
		Verificar as áreas e períodos reprodutivos de quelônios
		Não desenvolver atividades construtivas em ambiente praial dentro do período de desova de quelônios
Atividades de apoio e construtivas com embarcações	Tráfego de embarcações	Mapear rotas e períodos de críticos de mamíferos aquáticos e quelônios
		Planejar as atividades construtivas fora de rotas e períodos de críticos de mamíferos aquáticos e quelônios
		Utilizar monitor de biota embarcado para prevenir a aproximação excessiva das embarcações
Ancoragem das embarcações	Arrasto da âncora e da corrente no leito marinho	Realizar investigação ambiental prévia do leito marinho
		Elaborar plano de ancoragem
Lançamento do cabo elétrico	Arrasto do cabo no leito marinho	Realizar investigação ambiental prévia do leito marinho
Fixação das fundações	Perfuração do leito marinho	Realizar investigação ambiental prévia do leito marinho
	Geração de ruído	Instalar sistemas de redução de ruídos nesta etapa da instalação
	Ocupação do espaço marinho	Desenvolver protocolos de segurança regionais da atividade pesqueira, para redução da área de exclusão da pesca
		Elaborar programas de monitoramento e de compensação da atividade pesqueira

FONTE: O autor (2025)

3.2.3 Boas práticas ambientais na operação

Conforme mencionado na subseção 3.1.3, os principais aspectos ambientais da fase de operação são o estabelecimento de obstáculos em movimento (giro das pás) na atmosfera e a ocupação de uma vasta área pelo complexo eólico *offshore*, iniciada na fase de instalação.

O movimento das pás do aerogerador promove um obstáculo natural para aves marinhas e migratórias, podendo causar a morte de indivíduos ao se chocarem com essas estruturas. Da mesma forma, morcegos podem ser atraídos e atingidos ou interceptados em rotas migratórias. Nestes casos, recomenda-se o monitoramento prévio das rotas migratórias dessas espécies e a instalação de dispositivos de detecção e desligamento das turbinas quando houver aproximação de aves ou morcegos. Estes dispositivos já são comercializados e utilizados em complexos eólicos *onshore* e em alguns *offshore* no exterior (Vasconcelos *et al.*, 2019).

Em relação ao aspecto da ocupação da área pelo complexo eólico *offshore*, as recomendações são as mesmas descritas para a fase de instalação.

O quadro 8 associa as boas práticas recomendadas às atividades e aspectos da etapa de operação:

QUADRO 8 - RECOMENDAÇÕES DE BOAS PRÁTICAS AOS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS DA ETAPA DE OPERAÇÃO

Atividade	Aspectos	Boas Práticas
Funcionamento do aerogerador	Obstáculos aéreos em movimento (giro das pás)	Monitoramento prévio das rotas migratórias
		Instalar dispositivos de detecção e desligamento das turbinas quando houver aproximação de aves ou morcegos
	Ocupação do espaço marinho	Desenvolver protocolos de segurança regionais da atividade pesqueira, para redução da área de exclusão da pesca
		Elaborar programas de monitoramento e de compensação da atividade pesqueira

FONTE: O autor (2025)

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho buscou associar os principais aspectos ambientais relacionados à implementação de um CEO a boas práticas identificadas através da revisão bibliográfica sobre o assunto.

Os resultados gerados colaboram para a proposição de ações de monitoramento, prevenção, mitigação e compensação dos impactos associados aos aspectos ambientais levantados para aplicação em futuros projetos desta tipologia no Brasil. Podemos concluir deste estudo que muitas boas práticas podem ser aproveitadas da gestão e licenciamento ambiental dos empreendimentos da indústria de O&G e dos CEOs já implantados no exterior. Outras ações podem ser adaptadas e desenvolvidas, considerando o contexto nacional. Como exemplo, os programas de monitoramento e compensação da atividade pesqueira executados pela indústria *offshore* no país.

Considerando todas as recomendações deste trabalho, destacou-se o planejamento adequado de todas as ações de caracterização ambiental e das atividades construtivas. Dentre os estudos de caracterização, a investigação prévia do leito marinho, que é capaz de prevenir alguns dos impactos ambientais mais relevantes da fase de instalação de CEOs, apresentou maior número de associações com os aspectos ambientais levantados neste trabalho.

Por fim, serão necessários mais estudos com essa temática para o desenvolvimento das boas práticas ambientais em CEOs no Brasil. Estes estudos podem ser desenvolvidos através da revisão acadêmica, assim como esse trabalho, mas também através de experimentações práticas nos projetos pilotos de geração de energia eólica *offshore* que estão em planejamento no país.

REFERÊNCIAS

ASGARPOUR, M. Assembly, transportation, installation and commissioning of offshore wind farms. **Offshore Wind Farms**: Technologies, Design and Operation, p. 527-541, 2016. (Woodhead Publishing Series in Energy, n. 92). Disponível em: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100779-2.00017-9. Acesso em: 03 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria DPC/DGN/MB Nº 157, de 15 de janeiro de 2025**. Altera as Normas da Autoridade Marítima para Obras, Dragagens, Pesquisa e Lavra de Minerais Sob, Sobre e às Margens das Águas Jurisdicionais Brasileiras - NORMAM-11/DPC (1ª Revisão) para as Normas da Autoridade Marítima para Obras e Atividades Afins em Águas sob Jurisdição Brasileira - NORMAM-303/DPC. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jan. de 2025.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Publicada no DOU no 247, de 22 de dezembro de 1997, Seção 1, páginas 30841-30843. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237.htm. Acesso em: 2 ago. 2025.

COX, M. C. A. R.; NOGUEIRA M, J. **Avaliação de impacto de eólicas *offshore* no Brasil**. Revista Tempo do Mundo, n. 32, p. 319-341, 31 ago. 2023.

DOLAN, S. L.; HEATH, G. A. **Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Utility-Scale Wind Power**. Journal of Industrial Ecology, v.16, p. 136-154, 2012.

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

LUZ, C. D. *et al.* **Avaliação dos impactos ambientais em parques eólicos *offshore* e onshore utilizando a matriz de Leopold**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v.55, n.2, p. 206-225, jun. 2020.

GWEC - Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2024**, 2025. Disponível em: https://img.saurenergy.com/2024/05/gwr-2024_digital-version_final-1-compressed.pdf. Acesso em: 03 ago. 2025.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Ibama lança Termo de Referência padrão para Complexos de Eólica *Offshore*. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br. Acesso em: 03 ago. 2025.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Guia de Avaliação de Impacto Ambiental**: Relação Causal de Referência de Petróleo e Gás - Produção. Disponível em: 20230504_Guia_de_AIA_Relacao_Causal_Petroleo_e_Gas_Producao.pdf. Acesso em: 05 ago. 2025.

PETROBRAS. **Planta piloto de geração eólica *offshore* na Bacia Potiguar**: Estudo Ambiental – 2019. [*s.l.*]. Disponível em: http://licenciamento.ibama.gov.br. Acesso em 06 ago. 2025.

SENAI. **Usina Eólica *Offshore* – Sítio de testes de aerogeradores**: Estudo Ambiental – 2019. [*s.l.*]. Disponível em: http://licenciamento.ibama.gov.br. Acesso em 06 ago. 2025.

VAISSIÈRE, A. *et al.* **Biodiversity offsets for offshore wind farm projects**: The current situation in Europe. Marine Policy, v. 48, p. 172-183, mar. 2014.

VASCONCELOS, R. M. *et al.* **Mapeamento de modelos decisórios ambientais aplicados na Europa para empreendimentos eólicos *offshore***. out. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore. Acesso em: 08 ago. 2025.