



**Leticia Vidal Ozorio**

**Mapeamento e Modelagem de Riscos e Impactos  
da Indústria Eólica *Offshore* Através de uma  
Abordagem Ontológica**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientadora: Prof. Fernanda Araujo Baião Amorim  
Coorientadora: Prof. Paula Medina Maçaira Louro

Rio de Janeiro  
abril de 2025



**Leticia Vidal Ozorio**

**Mapeamento e Modelagem de Riscos e Impactos  
da Indústria Eólica *Offshore* Através de uma  
Abordagem Ontológica**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

**Prof. Fernanda Araújo Baião Amorim**

Orientadora

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Paula Medina Maçaira Louro**

Coorientadora

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Paulo Cesar Ribas**

Molde University College

**Prof. Florian Alain Yannick Pradelle**

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de abril de 2025

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Leticia Vidal Ozorio**

Graduou-se em Engenharia Mecânica pela PUC-Rio em 2018, trabalhando desde então com gestão de projetos, análise financeira e impacto social. Pesquisadora na PUC-Rio, desde a graduação com foco em transição energética e sustentabilidade. Atua no desenvolvimento de iniciativas voltadas à capacitação e empoderamento social, aliando inovação e sustentabilidade. Possui vivência acadêmica internacional e participação em cursos sobre desenvolvimento sustentável.

### Ficha Catalográfica

Ozorio, Leticia Vidal

Mapeamento e modelagem de riscos e impactos da indústria eólica *offshore* através de uma abordagem ontológica / Leticia Vidal Ozorio ; orientadora: Fernanda Araujo Baião Amorim ; coorientadora: Paula Medina Maçaira Louro. – 2025.

75 f.; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2025.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Modelagem conceitual. 3. Energia. 4. Sustentabilidade. 5. COVeR. 6. Ciclo de vida. I. Amorim, Fernanda Araujo Baião. II. Louro, Paula Medina Maçaira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer aos meus pais, Marcia e Marcos, pelo incansável apoio, amor e dedicação ao longo desses anos de existência. Ser filha de professores talvez tenha sido o que fez toda a diferença na minha trajetória. Vocês são meu alicerce e todo o esforço é para e por vocês.

Às minhas orientadoras Fernanda e Paula, que me acolheram e me incentivaram nesta empreitada. Sem a energia e conhecimento de vocês, nada seria possível. Muito obrigada por tudo.

Tive a sorte de ter ao lado minhas amigas e sócias do Projeto Fio, Marina, Olívia e Ana Luiza que, ao longo desses anos, me apoiaram, me entenderam e incentivaram diante de todas as dificuldades nesse período.

Um agradecimento especial às madrinhas do meu anjinho, Laura e Gisela, que não soltaram a minha mão nenhum segundo no caminho.

Sou eternamente grata aos meus Orixás e guias, que não me abandonaram nesta missão. O Ofá de Oxóssi é certo e aqui chegamos. Axé.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

## Resumo

Vidal Ozorio, Leticia; Araujo Baião Amorim, Fernanda; Medina Maçaira Louro, Paula. **Mapeamento e Modelagem de Riscos e Impactos da Indústria Eólica Offshore Através de uma Abordagem Ontológica.** Rio de Janeiro, 2025. 75p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A crescente demanda por fontes alternativas e sustentáveis de energia e a necessidade de mitigação de impactos ambientais têm impulsionado o desenvolvimento da indústria eólica *offshore*. No entanto, sua implementação não é isenta de riscos e impactos decorrentes, sendo necessária a compreensão e o seu gerenciamento para que medidas sejam tomadas no âmbito de mitigá-los. Com a crescente disseminação do termo “sustentabilidade”, o conceito *triple-bottom-line* (TBL) surge buscando equilibrar os interesses econômicos de uma indústria com sua responsabilidade socioambiental. Isso tornou a compreensão e identificação desses impactos mais complexas, pois, além das diferentes interpretações por parte dos *stakeholders*, alguns impactos podem assumir múltiplos papéis dependendo da perspectiva adotada. Logo, esse estudo tem como objetivo identificar através da perspectiva do TBL, os impactos ambientais, sociais e econômicos da indústria eólica *offshore*. Três abordagens metodológicas são empregadas no processo, sendo a etapa inicial uma revisão sistemática da literatura, seguida pela modelagem conceitual fundamentada em ontologias, mais precisamente a COVeR e, por último, a validação dos impactos levantados na revisão com 11 especialistas da área. A pesquisa identificou 28 impactos e os segmentou ao longo das etapas do ciclo de vida de um projeto de energia eólica *offshore*, e nas perspectivas do tripé da sustentabilidade. Os principais impactos ambientais levantados incluem a criação de recifes artificiais, mudanças na biodiversidade, poluição sonora subaquática, geração de campos eletromagnéticos e contaminação do oceano. No âmbito social e econômico, destacam-se a restrição da atividade pesqueira, o impacto sobre o turismo, a criação de empregos e os desafios na aceitação social dessas infraestruturas. As etapas do ciclo de vida mais impactadas são a de instalação e a de operação e manutenção. De todo modo, este estudo oferece uma base sólida para futuras pesquisas, especialmente no que se refere ao aprimoramento da gestão de riscos na cadeia de suprimentos e no suporte a tomadas de decisão, viabilizando o ranqueamento dos impactos mais relevantes. Além disso, os resultados podem orientar a formulação de políticas públicas e apoiar projetos incipientes que visem a transição energética e sustentabilidade, garantindo um desenvolvimento mais consciente do setor eólico *offshore*.

## Palavras Chaves

Modelagem conceitual; Energia; Sustentabilidade; COVeR; Ciclo de vida de projetos eólicos offshore.

## Abstract

Vidal Ozorio, Leticia; Araujo Baião Amorim, Fernanda (Advisor); Medina Maçaira Louro, Paula (Co-Advisor). **Mapping and Modeling the Risks and Impacts of the Offshore Wind Industry through an Ontological Approach**. Rio de Janeiro, 2025. 75p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The growing demand for alternative and sustainable energy sources, along with the need to mitigate environmental impacts, has driven the development of the offshore wind industry. However, its implementation involves inherent risks and impacts, making their understanding and management essential for effective mitigation. With the widespread use of the term "sustainability", the triple bottom line (TBL) concept has emerged, aiming to balance the economic interests of industry with its social and environmental responsibilities. This has increased the complexity of precisely understanding and identifying these impacts since, besides different interpretations from the several stakeholders involved, some of these impacts may play multiple roles in different perspectives. This study, therefore, aims to identify and provide a semantically precise model about the environmental, social, and economic impacts of the offshore wind industry from a TBL perspective. Three methodological approaches are employed: a systematic literature review, conceptual modeling based on ontologies—specifically the COVeR ontology—and validation of the identified impacts with 11 experts in the field. The research identified 28 impacts, categorized according to the life cycle stages of offshore wind projects and the TBL dimensions. Key environmental impacts include the creation of artificial reefs, changes in biodiversity, underwater noise pollution, electromagnetic field generation, and ocean contamination. Social and economic impacts include restrictions on fishing activities, effects on tourism, job creation, and challenges related to social acceptance of such infrastructure. The most impacted life cycle stages are installation and operation and maintenance. Overall, this study provides a solid foundation for future research, particularly regarding improved risk management in the supply chain of offshore wind industry and support for decision-making processes, enabling the ranking of the most relevant impacts. Additionally, the results can guide public policy and support early-stage projects aimed at energy transition and sustainability, contributing to a more conscious development of the offshore wind sector

## Keywords

Conceptual Modeling; Energy; Sustainability; COVeR; Offshore wind projects lifecycle.

## Sumário

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução.....  | 14 |
| 2. Fundamentação teórica.....   | 17 |
| 2.1 Indústria eólica offshore .....   | 17 |
| 2.2 Gestão de Riscos .....  | 18 |
| 2.3 Ontologias .....  | 19 |
| 2.4 Identificação e análise de risco, valor e impacto segundo a COVeR .....           | 20 |
| 3. Metodologia.....   | 24 |
| 3.1 Desenho metodológico.....   | 24 |
| 3.2 Revisão sistemática da literatura.....  | 25 |
| 3.3 Modelagem conceitual – COVeR.....   | 26 |
| 3.4 Avaliação e aplicabilidade dos resultados com especialistas da área offshore..... | 27 |
| 4. Resultados .....   | 29 |
| 4.1 Revisão da Literatura .....   | 29 |
| 4.1.1 Seleção de estudos .....  | 29 |
| 4.1.2 Análise descritiva e bibliométrica.....   | 31 |
| 4.1.3 Análise de conteúdo - Impactos da Indústria Eólica Offshore .....               | 33 |
| 4.2 Modelagem conceitual segundo a COVeR (Common Ontology of Value and Risk) ...      | 39 |
| 4.3 Validação com especialistas .....   | 47 |
| 5. Conclusão .....  | 55 |
| Referências .....   | 58 |

## **Lista de tabelas**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Seleção das palavras-chave.....   | 29 |
| Tabela 2 - Definição da consulta para a base Scopus.....                                       | 29 |
| Tabela 3 - Critérios de exclusão .....   | 30 |
| Tabela 4 - Levantamento de potenciais impactos na literatura.....                              | 33 |
| Tabela 5 - Detalhamento das experiências de risco para cada fator de risco. ....               | 40 |
| Tabela 6: Detalhamento das experiências de valor para cada fator de valor. ....                | 41 |
| Tabela 7 - Fatores de risco e a relação com as intenções impactadas e agentes envolvidos. .... | 45 |
| Tabela 8 - Fatores de valor e a relação com as intenções impactadas e agentes envolvidos.....  | 46 |
| Tabela 9 - Impactos levantados pelos respondentes no questionário de especialistas .....       | 49 |
| Tabela 10 - Impactos negativos identificados na RSL, COVeR e pelos especialistas.....          | 50 |
| Tabela 11 - Impactos positivos identificados na RSL, COVeR e pelos especialistas.....          | 52 |

## Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Principais etapas do ciclo de vida de um projeto eólico offshore com base na literatura: ..      | 18 |
| Figura 2 – Etapas inerentes ao gerenciamento de riscos. ....  | 19 |
| Figura 3 - Experiência de valor, suas partes e participantes. ....  | 22 |
| Figura 4 - Experiências de risco, suas partes e participantes. Adaptado de SALES et al. (2018).....         | 22 |
| Figura 5 - Desenho metodológico de pesquisa. Fonte: elaborado pela autora .....                             | 24 |
| Figura 6- Etapas de uma revisão sistemática. Adaptado de VARGAS et al (2019).....                           | 25 |
| Figura 7 - Recorte da modelagem de experiências de risco, suas partes e participantes. ....                 | 27 |
| Figura 8 - Recorte da modelagem de experiências de valor, suas partes e participantes.....                  | 27 |
| Figura 9 - Processo de seleção de artigos – Prisma. Fonte: Elaborado pela autora.....                       | 30 |
| Figura 10 - Produção científica anual na área de impactos e riscos eólicos offshore. ....                   | 31 |
| Figura 11 - Número de artigos por revistas mais relevantes. Fonte: elaborado por autora.....                | 32 |
| Figura 12 - Produção científica por país. Fonte: elaborado por autora.....                                  | 32 |
| Figura 13- Modelagem de experiência de risco de "Restrição da atividade pesqueira". ....                    | 43 |
| Figura 14 - Modelagem de experiência de risco de "Impacto na manufatura das pás eólicas. ....               | 44 |
| Figura 15 - Experiência de valor de "Geração de empregos. Fonte: Elaborado pela autora .....                | 44 |
| Figura 16 - Tempo de experiência de profissionais no setor offshore .. <b>Erro! Indicador não definido.</b> |    |
| Figura 17 - Relevância de se considerar impactos no processo de tomadas de decisão em projetos..            | 48 |
| Figura 18 - Tipos de impactos mais relevantes segundo especialistas.. ....                                  | 48 |
| Figura 19 - Relação entre impactos levantados por especialistas, COVeR e na literatura.....                 | 53 |

## **Lista de abreviações**

COVeR – *Common ontology of value and risk*

FR – Fator de risco

FV – Fator de valor

LCA - life cycle assessment (avaliação do ciclo de vida)

LCOE – Levelized cost of energy (custo nivelado de energia)

LI – Impactos levantados na literatura

ODS – Objetivo de desenvolvimento sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

OWF – Offshore wind farms (parques eólicos *offshore*)

RSL – Revisão sistemática da literatura

SI – Impacto citado por especialista

TBL – *Tripple-bottom-line* (tripé da sustentabilidade)

*“O que aprendi ao longo dessas décadas é que todos precisam despertar, porque, se durante um tempo éramos nós, os povos indígenas, que estávamos ameaçados de ruptura ou da extinção dos sentidos de nossas vidas, hoje estamos todos diante da iminência de a Terra não suportar a nossa demanda.”*

**Ailton Krenak**, *Ideias para Adiar o Fim do Mundo*.

## 1. Introdução

Atualmente, a demanda por energia elétrica tem crescido cada vez mais ao redor do mundo. Segundo a International Energy Agency (2024), a demanda cresceu 15% nos últimos 10 anos, sendo 40% deste crescimento adereçado a fontes de energia limpa. Frente a este aumento de demanda energética e à necessidade de se alinhar às metas de descarbonização, o desenvolvimento e implementação de tecnologias de energia renovável deve se dar de maneira incisiva no mundo. De acordo com Ozorio et al. (2024), este movimento está diretamente alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos em acordos globais pela ONU, principalmente o ODS7 “Energia Limpa e Acessível” (“*Affordable and Clean Energy*”)<sup>1</sup> e deve ocorrer de maneira urgente. Os ODS convocam sociedade e organizações a participarem da construção de modelos de governança comprometidos com a resolução de problemáticas complexas que envolvam as dimensões econômica, social e ambiental (DA CRUZ, 2020).

Três pilares, por sua vez, contemplados pelo conceito *triple-bottom-line* (TBL) que surge nos meados dos anos 1990, com a crescente disseminação do termo “sustentabilidade”. O TBL busca equilibrar os interesses econômicos de uma indústria com sua responsabilidade socioambiental e incentiva empresas e projetos a adotarem práticas sustentáveis que gerem valor para múltiplos *stakeholders* (ELKINGTON, 1998). Tal equilíbrio é complexo, uma vez que deve conciliar objetivos e interpretações de diferentes partes interessadas, frequentemente incompatíveis ou inconsistentes entre si.

Uma fonte de energia é considerada renovável quando é proveniente de recursos naturais, como o vento ou a luz solar, que são naturalmente reabastecidos em uma velocidade superior a de seu consumo (UNITED NATIONS, s.d.). A geração de energia renovável resulta em emissões de gases nocivos à atmosfera muito menores do que a queima de combustíveis fósseis. Diante deste cenário, a energia eólica *offshore* exerce um papel crucial na busca pela mitigação da emissão de gases do efeito estufa e na construção de uma produção de energia mais sustentável e neutra em carbono (WERNER et al., 2024a). Devido à sua disponibilidade em locais remotos e abundância global de recursos, ela se mostra uma opção promissora dentro das alternativas renováveis e a expectativa é de que mais de 300GW sejam implantados no contexto europeu até 2050 (DE LUCA PEÑA et al., 2024)

---

<sup>1</sup> <https://sdgs.un.org/goals>

Há territórios costeiros com alto potencial energético e por isso são especialmente favoráveis ao desenvolvimento de parques eólicos *offshore* (BAULAZ et al., 2023a). Contudo, são áreas com grande presença de biodiversidade, paisagens atraentes e fortes pressões antrópicas. Logo, como em qualquer estrutura marinha, há muitos desafios técnicos e ambientais na instalação de parques eólicos *offshore*, e são diversos os potenciais conflitos entre as partes interessadas neste ambiente (XU; YANG; ZHAO, 2021).

Ozorio et al. (2024) apontaram que nenhuma intervenção humana é isenta de impactos e, embora fontes de energia renovável sejam consideradas mais sustentáveis do que os combustíveis fósseis, elas ainda causam consequências de diferentes magnitudes e alcances. A implementação de usinas eólicas *offshore* tanto afeta quanto é afetada por fatores de ordem natural e socioeconômica (SHE et al., 2023a). Em projetos eólicos *offshore*, os impactos dependem de uma série de fatores, como o tipo de turbina, a localização dos parques e espécies que podem interagir com essas estruturas e a etapa do ciclo de vida da usina eólica (BAULAZ et al., 2023b). Werner et al. (2024a) afirmam que os parques eólicos se tornarão um dos principais protagonistas dos espaços marinhos nas próximas décadas, o que alimenta preocupações e gera discussões sobre possíveis conflitos espaciais com outras atividades humanas e impactos ambientais dessas estruturas nos microrganismos e ecossistemas marinhos.

Ao compreender a importância de avaliar tais impactos, se faz necessário entender sua origem. Assim, além de identificar e mensurar impactos, é fundamental gerenciar e compreender os riscos que os precedem. Inclusive, o gerenciamento de riscos e suas possíveis consequências são ferramentas indispensáveis no processo de tomada de decisão de projetos e seu respectivo sucesso (LAZAKIS; KOUGIOUMTZOGLOU, 2019). De acordo com BITARAF (2011), decisões tomadas ainda na fase inicial de desenvolvimento influenciam diretamente na segurança e integridade de um projeto durante sua operação. Nesse sentido, a gestão de riscos deve ser aplicada em todas as etapas do ciclo de vida de um projeto, beneficiando os interesses de indivíduos e entidades ao longo de sua vida útil (LAZAKIS; KOUGIOUMTZOGLOU, 2019).

Contudo, embora a discussão sobre impactos e riscos geralmente remeta a efeitos negativos para a sociedade, é importante lembrar que eventos impactantes podem ter valência positiva para determinados grupos, ou sob determinada perspectiva de análise. Em contextos complexos, como a implementação de uma estrutura eólica *offshore*, também se aplica o que

SALES et al. (2018) afirmaram em seu trabalho: o que representa risco ou impacto negativo para um grupo, pode ser valor agregado ou impacto positivo para outro. Por exemplo, a redução do desmatamento pode ser considerada um resultado positivo do ponto de vista ambiental, mas também como uma restrição que acarreta perdas econômicas.

Diante do cenário energético apresentado, da preocupação crescente quanto à sustentabilidade, e da importância de investigar conceitos como impacto e risco para então avaliá-los no contexto de projetos eólicos *offshore*, foram estabelecidos os objetivos específicos (OE) deste estudo. Eles, por sua vez, orientaram o desenho metodológico da pesquisa e estão descritos a seguir:

**OE1.** Identificar os impactos da indústria eólica *offshore*, segundo o tripé da sustentabilidade, na literatura disponível.

**OE2.** Mapear a sequência de eventos associada à indústria eólica offshore, identificando os impactos resultantes e caracterizando quais ações podem ser potencializadas ou evitadas, conforme sua valência.

Visto a importância de identificar riscos e seus consequentes impactos a fim de orientar melhor as tomadas de decisão a nível corporativo, governamental e de políticas públicas, este estudo consiste em responder as seguintes perguntas de pesquisa:

**Q1.** Quais são os principais impactos ambientais, sociais e econômicos associados à indústria eólica *offshore*, conforme identificado na literatura disponível?

**Q2.** Quais agentes e objetivos são diretamente afetados pelos impactos levantados na literatura?

**Q3.** Como a modelagem de riscos pode contribuir para a mitigação dos impactos identificados?

Esta dissertação está disposta em cinco seções, sendo a Seção 1 introdutória. A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para compreender o estudo desenvolvido, a Seção 3 indica o aparato metodológico aplicado, a Seção 4 apresenta os resultados obtidos e sua análise e a Seção 5, por fim, traz as conclusões e contribuições do presente estudo.

## 2. Fundamentação teórica

Antes de avançar para a metodologia e detalhamento dos resultados do trabalho, é importante fornecer uma fundamentação teórica que abranja termos e conceitos importantes para o entendimento da pesquisa. Primeiramente, o contexto da indústria eólica *offshore* será introduzido, seguido do conceito de gestão de riscos, da definição de ontologias e, por último um panorama sobre identificação e avaliação de riscos segundo a COVeR, abordagem ontológica aplicada a este trabalho. Tais conceitos serão abordados individualmente, apresentando suas principais teorias, de forma que sua contextualização no trabalho presente seja compreendida.

### 2.1 Indústria eólica *offshore*

Além de serem reconhecidas como fontes de energia limpa, usinas eólicas ocupam pouco espaço físico, podem produzir energia em lugares remotos e de forma abundante, uma vez que o vento é um recurso disponível em todo o planeta (LUCENA; LUCENA, 2019). Segundo Werner et al. (2024a), usinas eólicas *offshore* são instalações de turbinas eólicas no oceano e possuem diferentes tipos de fundação. O formato de tais fundações varia de acordo com informações locais importantes como a profundidade da água, o substrato do fundo do mar, o perfil das marés e a força das correntes marítimas locais.

Segundo Pereira de Azevedo (2022), os países com maior capacidade eólica *offshore* instalada são o Reino Unido, com 34,8%, seguido pela Alemanha, com 26,7% e pela China, respondendo por 21,1%. Também vale ressaltar que mais de 85% dos parques eólicos *offshore* se encontram no Mar do Norte, incluindo países como Dinamarca, Bélgica e Holanda.

Comparadas às usinas *onshore* (em terra), as usinas eólicas *offshore* possuem maior capacidade de geração de energia, devido à maior constância e intensidade dos ventos no mar (PEREIRA DE AZEVEDO, 2022). Tal aumento nos fatores de capacidade também se devem ao amadurecimento dos projetos, aumento de diâmetro da turbina e seus componentes (EPE, 2020). Na última década, houve uma diminuição considerável – mais especificamente 63% - no custo nivelado de energia (LCOE) em projetos eólicos *offshore* e grandes avanços tecnológicos no desenvolvimento de turbinas (IRENA, 2023). Além disso, com o avanço na tecnologia, os locais de desenvolvimento dos projetos eólicos têm se dado cada vez mais distantes da costa, facilitando parques em maior escala e aproveitamento de recursos de maior densidade energética (EPE, 2020).

O desenvolvimento de projetos eólicos *offshore* é um processo longo e requer um planejamento efetivo por parte de todos os agentes interessados (EPE, 2020). Devido à rápida expansão do setor eólico *offshore*, a avaliação e quantificação dos riscos iminentes em cada

etapa do ciclo de vida de um projeto se tornam processos primordiais (LAZAKIS; KOUGIOUMTZOGLOU, 2019). Além disso, segundo os autores previamente mencionados, identificar riscos e suas possíveis consequências são ferramentas essenciais nos processos de tomada de decisão e seu respectivo sucesso.

A avaliação do ciclo de vida (*life cycle assessment*, LCA) é uma das metodologias mais aplicadas na mensuração de impactos ao longo das etapas de um projeto eólico *offshore* (OZORIO et al., 2024). Contudo, ainda há uma lacuna de estudos que quantifiquem os impactos em uma escala global, principalmente diante dos futuros avanços tecnológicos da indústria (LI et al., 2022).

Neste trabalho, as etapas do ciclo de vida de um projeto eólico *offshore* servirão como orientação para compreender melhor como os riscos e impactos se dão ao longo de um projeto, quais partes estão envolvidas e quais as etapas mais críticas. Para isto, com base em (OZORIO et al., 2024), definimos as etapas a serem estudadas no presente trabalho. Sua extensão e as denominações de cada etapa variam de autor para autor na literatura, e propusemos uma visão consensuada da literatura que o define como um processo de 5 etapas (OZORIO et al., 2024), sendo elas: Desenvolvimento e Consentimento; Produção e Aquisição, Instalação e Comissionamento, Operação e Manutenção, e Descomissionamento. O ciclo é ilustrado pela Figura 1:

Figura 1 - Principais etapas do ciclo de vida de um projeto eólico *offshore* com base na literatura:

Fonte: OZORIO et al (2024)

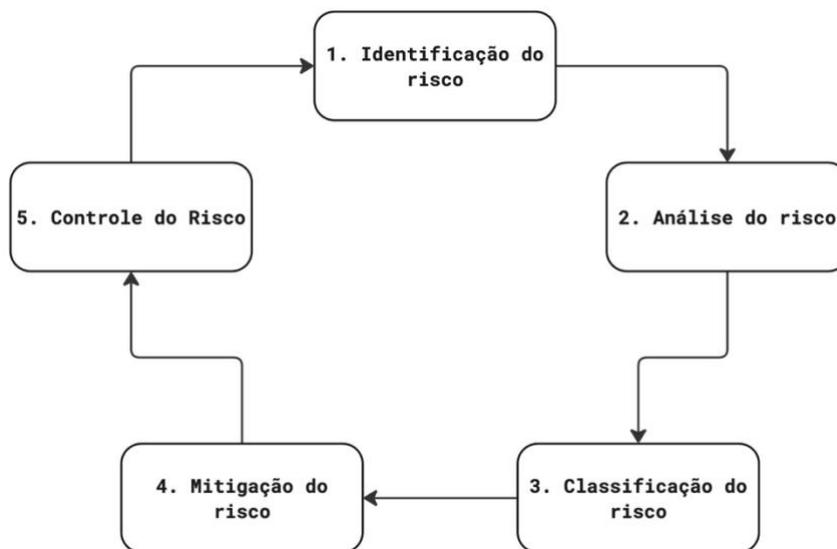


## 2.2 Gestão de Riscos

O gerenciamento de riscos é um processo que compreende cinco etapas, conforme ilustrado na Figura 2, e que se repete periodicamente ao longo das diversas fases do ciclo de vida de um projeto (FIRMENICH, 2017). De acordo com a autora, a primeira e mais crucial etapa consiste na identificação dos riscos, seguida da análise dos riscos identificados inicialmente. Em terceiro vem a etapa de classificação dos riscos, visando priorizar os riscos

identificados e avaliados. A quarta etapa compreende a mitigação dos riscos, onde se analisa quais estratégias devem ser aplicadas em cada risco identificado e priorizado, de forma que suas consequências sejam minimizadas. Por último, está o controle de riscos através do monitoramento da efetividade das estratégias de mitigação aplicadas, de modo que o plano inicial do projeto seja comparado com o seu atual estado.

Figura 2 – Etapas inerentes ao gerenciamento de riscos. Fonte: Adaptado de Fimernich (2017)



No escopo da presente pesquisa, ressalta-se que uma identificação de riscos apropriada é um pré-requisito para as etapas subsequentes e exerce um papel de análise de causa (FIRMENICH, 2017). A autora também aponta que entender a causa dos riscos é uma prática crucial para a compreensão dos seus efeitos e, conseqüentemente, para uma mitigação de riscos mais efetiva. Já a análise de riscos, por sua vez, se aproxima de uma análise de efeito, na qual o avaliador em questão é capaz de atribuir uma espécie de valor ao risco identificado. Desta forma, para este trabalho nosso foco se voltou apenas para a primeira e segunda etapas do ciclo descrito na Figura 2, Identificação e Análise do risco.

### 2.3 Ontologias

Para compreender ontologias, é fundamental primeiro que se entenda o que é uma conceituação. De acordo com Gruber (1993), conceituação é uma visão simplificada e abstrata do mundo que se deseja representar por algum propósito. Assim, qualquer base, sistema ou

nível de conhecimento está, de forma explícita ou implícita, comprometida com uma conceituação.

Gruber (1993) define Ontologia como uma especificação explícita de uma conceituação. Já Borst (1997) apresenta ontologias como representações formais de um conhecimento compartilhado dentro de um determinado domínio. Segundo o autor, dentro do contexto de sistemas de informação, ontologias definem o conjunto de conhecimentos necessários para que um sistema execute uma tarefa, contribuindo para a melhoria de seu desenvolvimento e design. Segundo Sarraipa et al. (2009) ontologias facilitam a compreensão computacional e comunicação entre pessoas e organizações. Além disso, ao definirem de forma precisa os conceitos de um determinado domínio, promovem o uso e intercâmbio de dados, informações e conhecimentos.

Ontologias surgiram no campo da filosofia e depois foram “emprestadas” para outros domínios e áreas científicas (CAO; BRYCESON; HINE, 2020). Para Guizzardi (2005), enquanto na filosofia a ontologia é o estudo da existência em um sentido amplo, na ciência da computação ela se refere ao artefato que representa, de forma estruturada, o que existe em um determinado domínio ou universo de discurso, que é a definição que adotaremos no presente estudo, em particular no domínio da gestão de riscos.

#### **2.4 Identificação e análise de risco, valor e impacto segundo a ontologia COVeR**

A análise de riscos, apesar de oferecer ferramentas e técnicas para a identificação sistemática de problemas, análise de potenciais impactos e estratégias de mitigação, é considerada uma etapa complexa em diferentes contextos (SALES et al., 2018). Além disso, apesar de “risco” ainda ser um conceito pouco claro por frequentemente colapsar diferentes noções entrelaçadas deste termo, diversas abordagens de modelagens têm sido propostas para auxiliar a análise de riscos em diversos contextos.

Sales et al. (2018) concluíram que a noção de “risco” está diretamente ligada à de “valor” (i.e., risco como uma contraposição de valor agregado) e que, portanto, avaliar riscos é um caso particular de atribuição de valor. Diante disto, os autores propuseram uma ontologia comum que engloba os conceitos de "risco" e "valor", a COVeR (*Common ontology of value and risk*), se propondo investigar as interrelações, interdependências e definições da natureza de cada conceito.

Para este trabalho, é importante que risco, valor e impacto sejam conceitos bem definidos. Sales et al. (2018) interpretam “valor” neste contexto como algo dependente de um objetivo, ou seja, algo possui valor para alguém (no caso, para um agente) quando permite que este alguém alcance seus objetivos. Isto significa também que nada é intrinsecamente valioso, e que um mesmo objeto (ex., um casaco, ou uma árvore) pode ter valor distinto para dois agentes que tenham objetivos distintos (ex., o casaco para dois viajantes, um rumo ao inverno na Noruega e outro para uma praia no Brasil; uma árvore para um ambientalista do Greenpeace ou para um analista financeiro de Manhattan). Risco, por sua vez, é baseado na definição feita pela socióloga Eugene Rosa, que afirma “risco como uma situação ou evento em que algo de valor é posto em questão e a consequência disso é incerta” (ROSA, 1998). Outros pontos em comum entre risco e valor são (i) a relação deles com impacto (segundo a COVeR, impactos são resultados decorrentes de eventos de risco ou de valor) e (ii) a noção de que a atribuição do valor ou do risco associado a alguma coisa por um agente decorre da avaliação das experiências que são habilitadas pela existência desta coisa, e no quanto o resultado de tais experiências se aproximam ou se afastam dos objetivos do agente.

Experiências de valor ou de risco formam uma cadeia de eventos possíveis que impactam os objetivos de um Agente que, por sua vez, é um participante chave do processo. Agentes definem a perspectiva a ser considerada em um julgamento pois são as entidades cujas intenções e objetivos são levados em conta. Por exemplo, obras de infraestrutura urbana como implementação de linhas de metrô ou viadutos que acarretam a remoção forçada de pessoas de baixa renda que ocupam esses locais de maneira informal, prevenindo a intenção de tais pessoas de morarem neste local. Portanto, a modelagem de riscos segundo a COVeR pressupõe que a avaliação do risco depende do objetivo de cada Agente (ou *stakeholder*) envolvido. Como dito anteriormente, isso significa que nada é intrinsecamente arriscado, mas, ao invés disso, algo é arriscado sob a perspectiva de alguém, quando há vulnerabilidades que podem prevenir o alcance do objetivo deste alguém (SALES et al., 2018).

Na COVeR, experiências de risco e de valor são geralmente decompostas em eventos menores, ilustradas nas Figuras 3 e 4, de modo que sua estrutura interna e o modo como afetam objetivos finais sejam tornados explícitos.

Neste trabalho, a COVeR foi aplicada de modo que os impactos da indústria eólica *offshore* identificados na literatura fossem detalhados e então compreendidos a partir de um modelo conceitual.



Como dito anteriormente, as figuras 3 e 4 apresentam riscos e valores a partir de uma perspectiva experiencial, na qual ambos são descritos em termos de seus eventos e suas causas. As cores no diagrama são adotadas segundo a seguinte lógica: eventos são representados em amarelo, objetos em rosa, qualidades e modos em azul, relatores em verde e situações em laranja (SALES et al., 2018).

De acordo com Sales et al. (2018), eventos gatilhos são aqueles que causam direta ou indiretamente eventos de perda ou ganho. Eventos de impacto, por sua vez, são definidos quando eles de fato concretizam um impacto (seja um ganho ou uma perda) de um agente na direção ao seu objetivo ou intenção. O Agente é a parte interessada no evento em questão e no objetivo final (conteúdo proposicional da intenção do Agente) e o resultado impactante, por sua vez, é o impacto final que atinge a intenção/objetivo em questão.

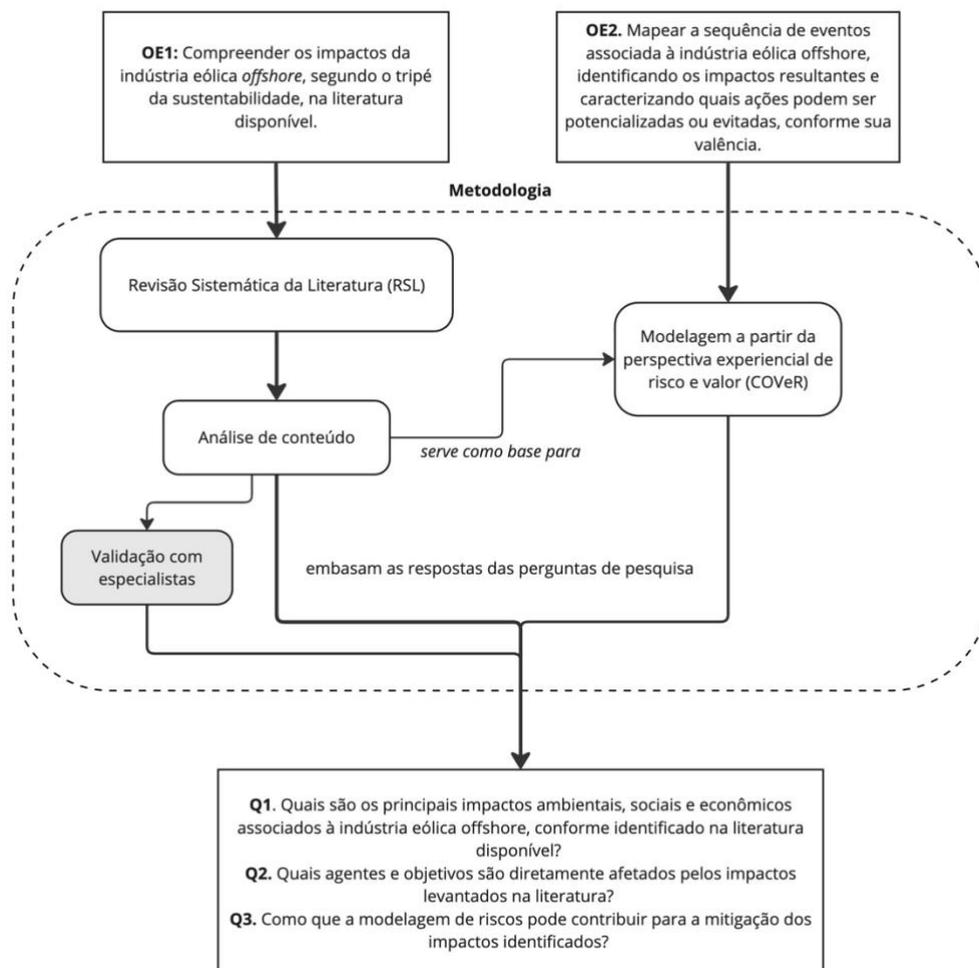
### 3. Metodologia

Este capítulo apresenta a metodologia científica adotada nesta pesquisa, fornecendo uma visão geral do desenho metodológico desenvolvido a partir dos objetivos específicos e perguntas de pesquisa. Posteriormente, cada etapa é aprofundada de acordo com a ordem em que foram desenvolvidas ao longo do estudo.

#### 3.1 Desenho metodológico

A metodologia empregada neste trabalho é orientada pelos objetivos do estudo (OE1 e OE2) e pelas perguntas de pesquisa (Q1, Q2 e Q3). Três abordagens metodológicas são empregadas no processo, sendo a etapa inicial uma revisão sistemática da literatura, seguida do desenvolvimento de uma modelagem conceitual fundamentada em ontologias, mais especificamente na COVeR e, por último, seguida pela validação dos impactos levantados na revisão com especialistas da área. Esse desenho metodológico está detalhado na Figura 5

Figura 5 - Desenho metodológico de pesquisa. Fonte: elaborado pela autora



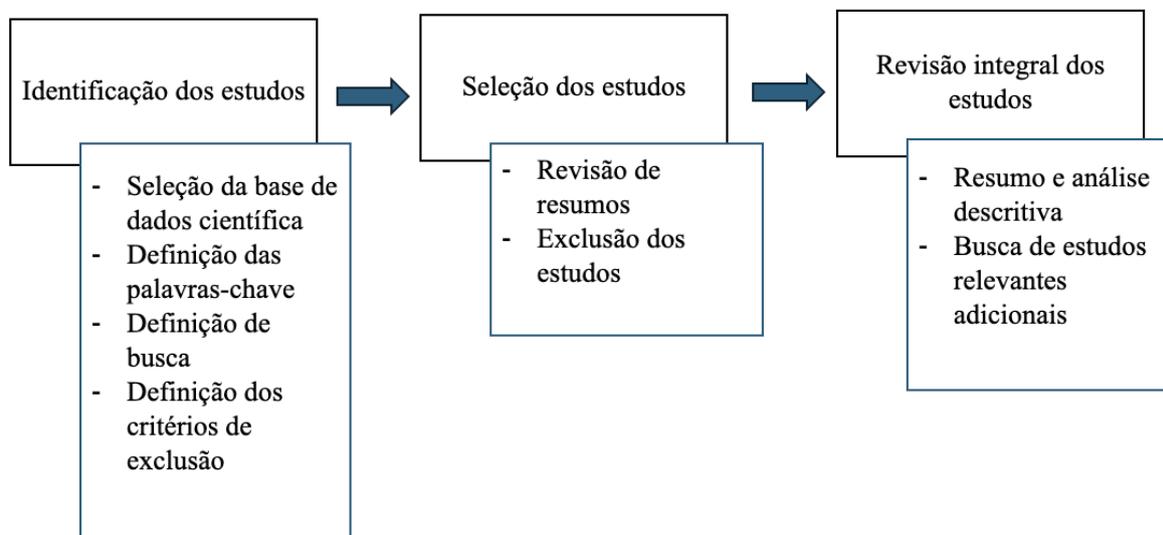
### 3.2 Revisão sistemática da literatura

A primeira etapa da metodologia empregada a esse estudo foi uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). O objetivo é compreender os riscos e impactos oriundos da indústria eólica *offshore* a partir de um primeiro levantamento e sua análise de conteúdo. O resultado de tal levantamento, posteriormente, servirá de base para a modelagem conceitual detalhada na seção 3.1.3.

Segundo Vargas et al. (2019) revisões sistemáticas servem para analisar, compreender e resumir o estado da arte da literatura sobre um dado assunto. Elas se utilizam de critérios rigorosos e bem definidos para identificar, avaliar e sintetizar a literatura, desde estudos publicados em literatura revisada até a chamada literatura cinza (THOMÉ; SCAVARDA; SCAVARDA, 2016).

Trata-se de uma metodologia objetiva e sistemática que emprega procedimentos padrões com o objetivo de responder às perguntas de pesquisa de um estudo (VARGAS et al., 2019). Uma revisão sistemática consiste em três etapas, a identificação, seleção e revisão de estudos científicos, respectivamente, e elas podem ser visualizadas na Figura 6.

Figura 6- Etapas de uma revisão sistemática. Adaptado de VARGAS et al (2019)



Conforme apresentado na Figura 6, a primeira etapa de uma revisão sistemática consiste na identificação dos estudos a serem analisados e, para isso, é necessário que se escolha uma ou mais bases de dados científicas para a procura, que as palavras-chave e o detalhamento da

busca sejam definidos, seguidas da definição dos critérios de exclusão. A seguir, a seleção dos estudos surge como a segunda etapa do processo, na qual se realiza a revisão dos resumos dos estudos levantados, seguidos da exclusão de estudos a partir da revisão previamente realizada. Por último, está a revisão integral dos estudos, cujo objetivo é coletar informações sobre os artigos levantados, sintetizando seus aspectos e características mais relevantes (VARGAS et al., 2019). Os dados mais relevantes a serem coletados durante a leitura completa dos estudos foram título, ano, autores, país, tipo de documento, viés do tripé da sustentabilidade abordado e tipo de impacto abordado.

A seção 4.1, por sua vez, apresenta o levantamento dos dados da RSL, os agrupamentos para ressaltar perspectivas dos trabalhos selecionados e o resumo dos resultados.

### **3.3 Modelagem conceitual – COVeR**

Esta etapa metodológica foi guiada pelo segundo objetivo específico (OE2) deste estudo: “Mapear a sequência de eventos associada à indústria eólica offshore, identificando os impactos resultantes e caracterizando quais ações podem ser potencializadas ou evitadas, conforme sua valência.”.

Segundo Mylopoulos (2008), “modelagem conceitual é a atividade de descrever formalmente certos aspectos do mundo físico e social ao nosso redor, com o objetivo de promover compreensão e comunicação”.

Dito isto, a COVeR foi aplicada e empregada, a partir da perspectiva experiencial, para a modelagem conceitual de riscos e valores da indústria eólica *offshore*, sendo esses dois conceitos descritos em termos de eventos e suas causas (SALES et al., 2018). Para este trabalho, a modelagem foi simplificada e apenas um recorte da modelagem da COVeR, ilustrado nas Figuras 7 e 8, foi adotado.

Figura 7 - Recorte da modelagem de experiências de risco, suas partes e participantes. Fonte: elaboração própria

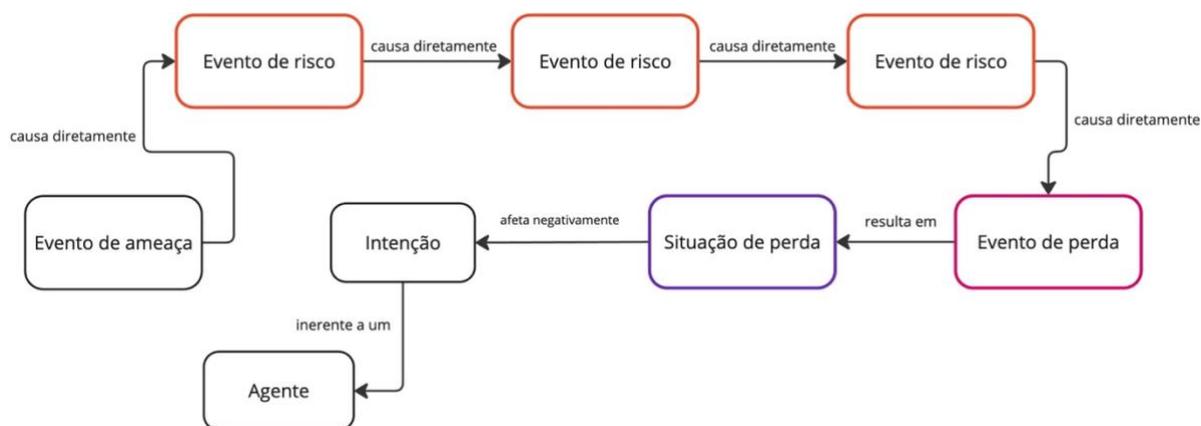


Figura 8 - Recorte da modelagem de experiências de valor, suas partes e participantes. Fonte: Elaboração própria



Segundo o recorte adotado – representado nas figuras 7 e 8 – experiências de risco e de valor são iniciadas através de um evento de ameaça e um evento gatilho, respectivamente. Tais eventos causam diretamente eventos de risco ou de valor, que podem desencadear outros eventos do mesmo tipo, causando ao final um evento de perda ou evento de impacto. Eventos de perda e de impacto resultam em uma situação de perda (nos casos de experiências de risco) e um resultado impactante (em experiências de valor). Ambos impactam uma intenção (objetivo) que é inerente a um agente (parte interessada).

### 3.4 Avaliação e aplicabilidade dos resultados com especialistas da área *offshore*

Um questionário online<sup>2</sup> foi elaborado a fim de consultar especialistas da área *offshore* para a validação dos impactos levantados através da revisão sistemática da literatura em um

<sup>2</sup> <https://forms.gle/uF5wgeHmGftaHoUTA>

contexto não só teórico como prático. A validação e revisão dos resultados com especialistas é essencial para que a tomada de decisões baseadas em modelos sejam confiáveis e eficazes (SHCHERBAKOV et al., 2014). O formulário teve como objetivo principal coletar percepções e opiniões sobre os impactos da indústria de energia eólica *offshore*, com foco em três dimensões do TBL: ambiental, social e econômica. O questionário foi divulgado em fóruns de energia eólica *offshore* e enviado diretamente para especialistas acadêmicos na área. Sete perguntas foram desenvolvidas e adereçadas aos respondentes. As perguntas eram:

1. O quão relevante você acha considerar os impactos na tomada de decisões para projetos eólicos *offshore*?
2. Quais tipos de impactos da indústria eólica *offshore* você conhece?
3. Você conseguiria classificar esses impactos entre ambiental, social ou econômico?
4. Dentre essas categorias, qual você considera mais relevante?
  - a. Impactos ambientais
  - b. Impactos sociais
  - c. Impactos econômicos
5. Você já considerou impactos em algum processo de tomada de decisão?
6. Abaixo estão alguns impactos associados à indústria eólica *offshore*. Selecione aqueles que você reconhece:
  - a. Criação de recifes artificiais e novos habitats;
  - b. Poluição sonora durante as fases de instalação e operação;
  - c. Restrição de atividades pesqueiras;
  - d. Diminuição da pegada de carbono;
  - e. Perturbação da biodiversidade marinha;
  - f. Impactos socioeconômicos nas comunidades pesqueiras;
  - g. Criação de campos eletromagnéticos devido aos cabos submarinos;
  - h. Outros (por favor especifique).
7. Há algum impacto importante que você acredita que deveria ser investigado ou incluído neste estudo?

O objetivo, a partir destas perguntas, é realizar uma comparação das respostas dos especialistas com os impactos identificados na literatura e modelados conceitualmente através da abordagem ontológica e, eventualmente, validar os impactos. O formulário está anexado integralmente no Apêndice 1.

## 4. Resultados e discussões

Ao longo desta seção, serão apresentados e discutidos os riscos e impactos identificados e modelados de acordo com a metodologia descrita anteriormente, de forma que as perguntas de pesquisa Q1, Q2 e Q3 sejam devidamente respondidas e seja verificado se os objetivos específicos propostos foram alcançados.

### 4.1 Revisão da Literatura

#### 4.1.1 Seleção de estudos

A revisão sistemática da literatura deste estudo teve como objetivo responder às seguintes perguntas de pesquisa (RSQs):

**RSQ1.** Quais impactos sociais, ambientais e econômicos da indústria eólica *offshore* foram tratados na literatura?

**RSQ2.** Quais são os impactos levantados por etapas do ciclo de vida da indústria eólica *offshore*?

Para a primeira etapa, a de identificação dos estudos, a plataforma Scopus foi a escolhida como a base de dados para pesquisa. Após a definição da plataforma de busca, foram estabelecidas as palavras-chave e a consulta para a pesquisa. Ambas estão disponíveis nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Seleção das palavras-chave

| Palavras relacionadas à energia | Palavras relacionadas a impactos |
|---------------------------------|----------------------------------|
| <i>Wind, offshore, energy</i>   | <i>Impact*, consequences</i>     |

Tabela 2 - Definição da consulta para a base Scopus

```
( TITLE-ABS-KEY ( wind* ) AND TITLE-ABS-KEY ( offshore ) AND TITLE-ABS-KEY ( energy ) AND TITLE-ABS-KEY ( impact* OR consequence* ) ) AND ( LIMIT-TO ( OA , "all" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cp" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ) AND ( EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Offshore Oil Well Production" ) )
```

Os critérios de exclusão que delimitaram esta revisão e possibilitaram a seleção dos estudos relevantes para estes estudos estão listados na Tabela 3.

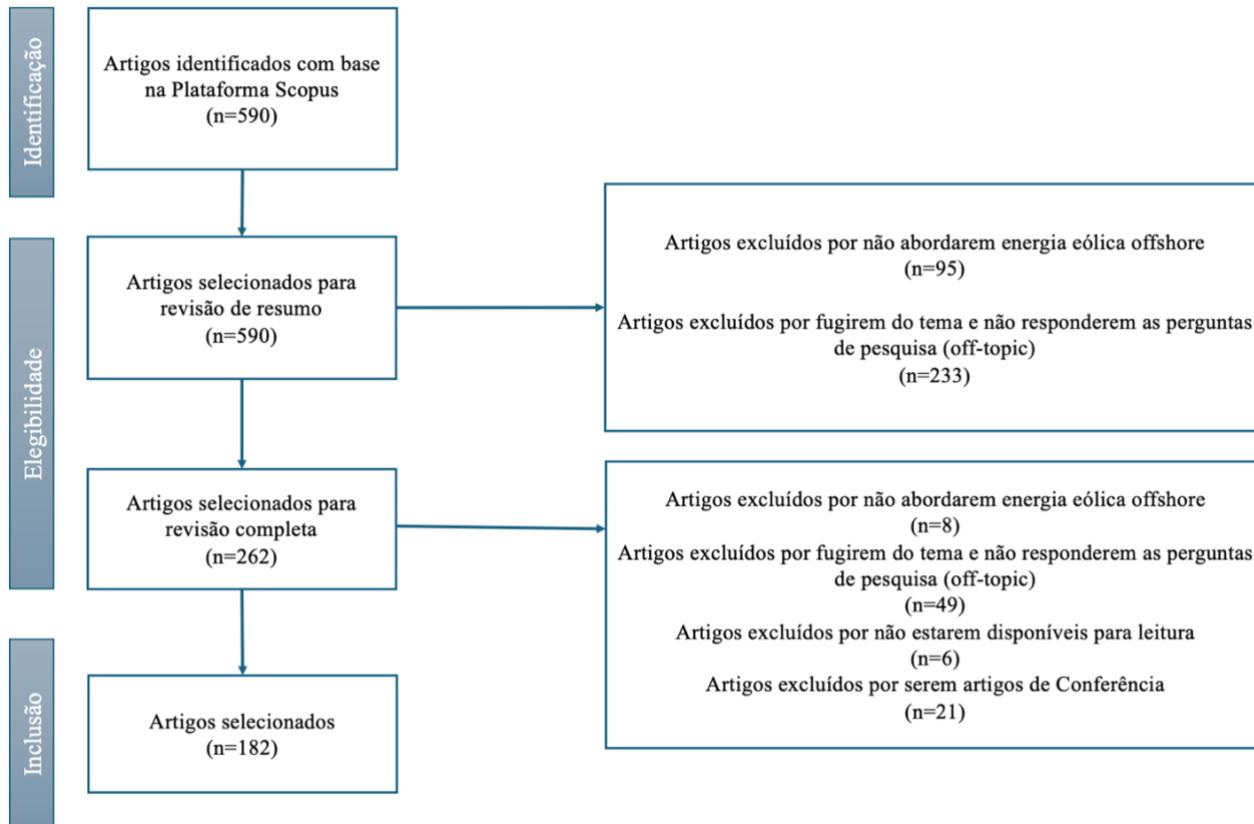
Tabela 3 - Critérios de exclusão

| Critérios de exclusão  |
|--|
| 1. Revisões de conferências.   |
| 2. Artigos não disponíveis para leitura.                                   |
| 3. Artigos que não respondam às perguntas de pesquisa ( <i>off-topic</i> ) |
| 4. Artigos que não abordam a indústria eólica <i>offshore</i>              |

Após selecionados com base na pesquisa inicial, os documentos foram exportados para uma planilha Excel de forma que os resumos pudessem ser analisados individualmente e então excluídos ou incluídos com base nos critérios previamente estabelecidos.

Inicialmente, 590 artigos foram levantados com base nas palavras-chave e nos critérios de busca na base de dados *Scopus*. Após aplicados os critérios de exclusão indicados na Tabela 3, a lista de artigos foi reduzida para 262 estudos que, por sua vez, foram selecionados para revisão completa e aplicados novamente os critérios de exclusão, resultando assim em 182 artigos selecionados para análise e validação da revisão. Vale ressaltar que os estudos levantados foram produzidos no período de 2004 a 2024. A Figura 9 ilustra o detalhamento desta revisão ao longo de suas etapas.

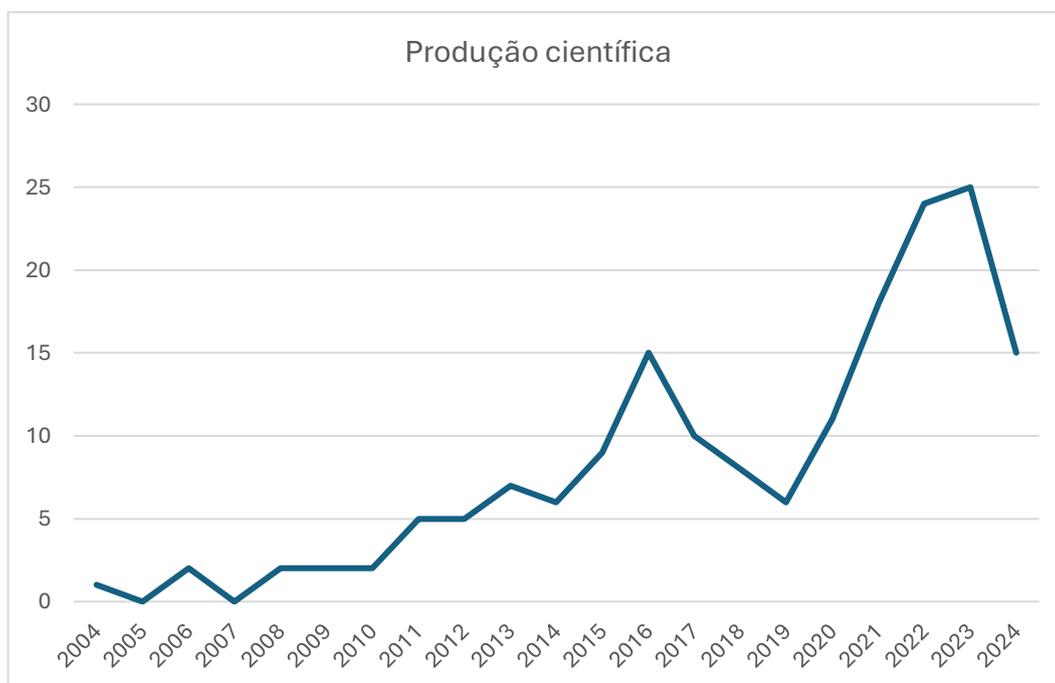
Figura 9 - Processo de seleção de artigos – Prisma. Fonte: Elaborado pela autora



#### 4.1.2 Análise descritiva e bibliométrica

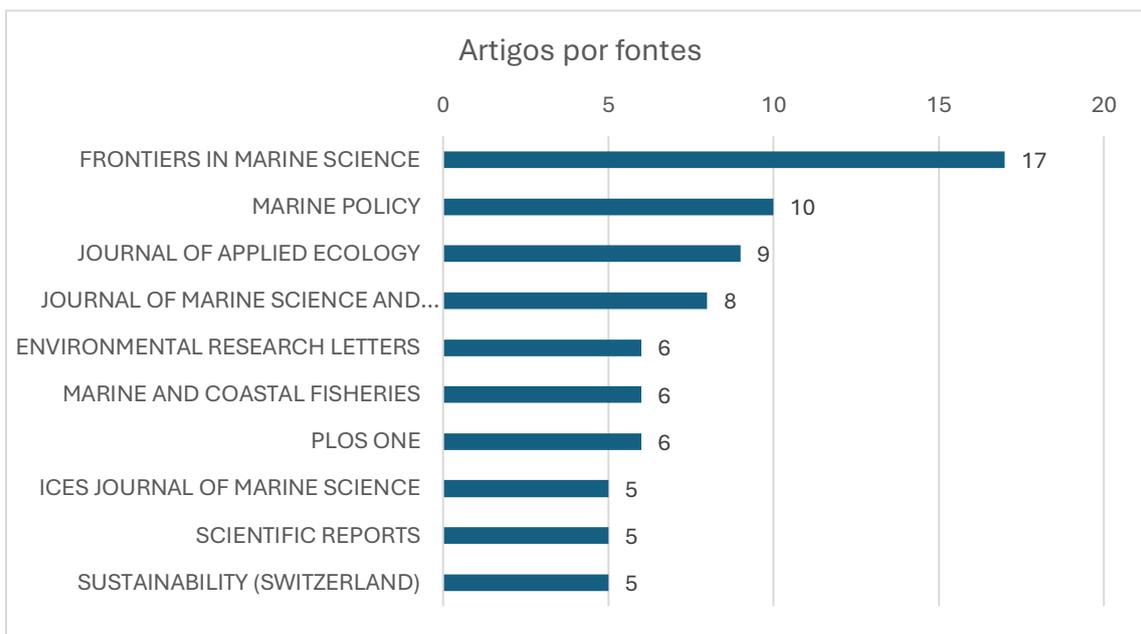
Esta seção compreende a análise descritiva e bibliométrica dos 182 artigos selecionados ao final da revisão sistemática da literatura, descrita no item 4.1.1, de modo que o panorama atual da pesquisa realizada no campo de impactos e riscos da indústria eólica *offshore* seja compreendido. Os resultados obtidos foram produzidos através de uma ferramenta bibliométrica, feita em linguagem R (ARIA E CUCCURULLO, 2017) com o aplicativo *Bibliometrix* (R CORE TEAM, 2024) e são apresentados nas Figuras 10, 11 e 12.

Figura 10 - Produção científica anual na área de impactos e riscos eólicos offshore. Fonte: elaborado pela autora



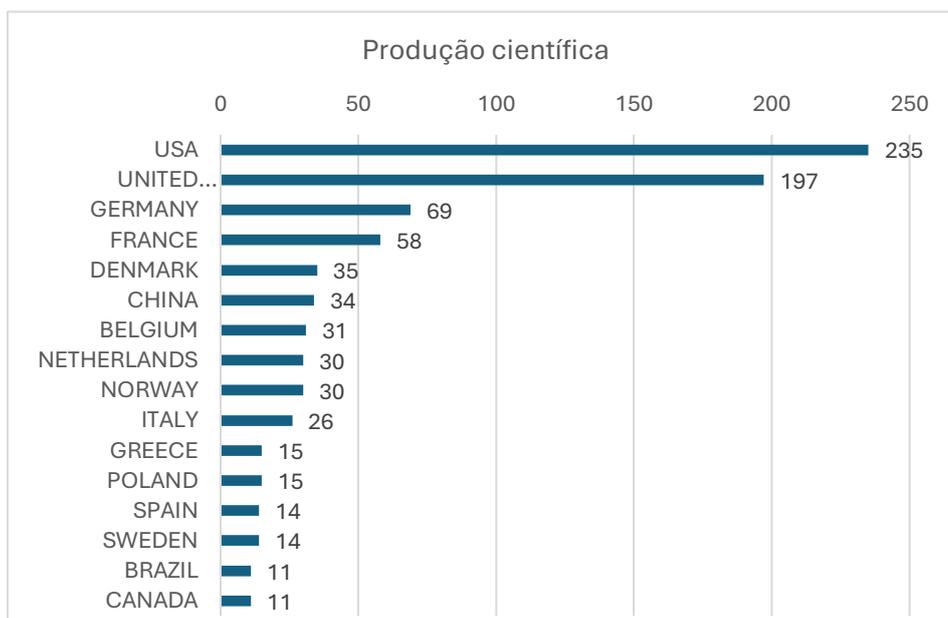
De acordo com a Figura 10, observa-se uma tendência de crescimento na produção científica nesta área de pesquisa ao longo das últimas duas décadas. O número de artigos quadruplicou entre 2014 e 2022, apesar de quedas registradas entre 2016 e 2019, e novamente entre 2023 e 2024. Ainda assim, a quantidade de estudos publicados continua significativamente superior à do período de 2004 a 2014.

Figura 11 - Número de artigos por revistas mais relevantes. Fonte: elaborado por autora



A Figura 11 sugere que a maioria da pesquisa realizada na área de impactos e riscos da indústria eólica *offshore* se dá em periódicos específicos sobre o ambiente/vida marinha. Estão em destaque as revistas “Frontiers in Marine Science” e “Marine Policy” com 17 e 10 artigos publicados, respectivamente. Também há a presença de artigos advindos de revistas voltadas para a sustentabilidade, como “Journal of Applied Ecology” com 9 artigos, “Environmental Research Letters” com 6 estudos publicados e “Sustainability” com 5 artigos.

Figura 12 - Produção científica por país. Fonte: elaborado por autora.



A partir da Figura 12, pode-se notar que a maior produção científica neste tema se encontra nos Estados Unidos da América e no Reino Unido, com 235 e 197 artigos escritos, respectivamente, seguidos por países com produções significativamente menores, como Alemanha, França, Dinamarca e China. Esta característica de produção de pesquisa coincide em parte com a capacidade instalada dos mesmos países. Contudo, é de se notar que mesmo não participando ativamente da capacidade instalada eólica *offshore*, os Estados Unidos possuem uma pesquisa expressiva e extensa na área, o que indica perspectivas para um cenário futuro de expansão da tecnologia no país e na região.

#### 4.1.3 Análise de conteúdo - Impactos da Indústria Eólica *Offshore*

O desenvolvimento de parques eólicos *offshore* (OWFs) provoca uma série de consequências para os ecossistemas marinhos, que podem ser tanto benéficas quanto prejudiciais, variando de acordo com a localização, a fase do ciclo de vida do empreendimento e a interação com outros usos do espaço marítimo. Vale destacar que, ao longo das análises, muitas fontes da literatura não indicavam a valência dos impactos nem explicitavam a etapa do projeto em que ocorriam. Tais lacunas são exploradas com maior profundidade na seção seguinte.

Com o intuito de responder a primeira pergunta de pesquisa adereçada a revisão sistemática da literatura (RSQ1), vinte e oito potenciais impactos foram levantados a partir da revisão sistemática da literatura (LI) e eles estão indicados na Tabela 4:

Tabela 4 - Levantamento de potenciais impactos na literatura

| Índice | Impacto identificado                            | Tripé da sustentabilidade |
|--------|---|---------------------------|
| LI1    | Criação de recifes artificiais e novos habitats | Ambiental                 |
| LI2    | Colisão de aves em turbinas                     | Ambiental                 |
| LI3    | Redução das emissões de CO2                     | Ambiental                 |
| LI4    | Mudança no clima local                          | Ambiental                 |
| LI5    | Ruídos subaquáticos                             | Ambiental                 |
| LI6    | Eutrofização                                    | Ambiental                 |
| LI7    | Geração de campos eletromagnéticos              | Ambiental                 |
| LI8    | Mudança na estratificação vertical das águas    | Ambiental                 |
| LI9    | Efeito esteira ( <i>wake effect</i> )           | Ambiental                 |
| LI10   | Criação de zonas de exclusão de pesca           | Ambiental                 |
| LI11   | Poluição e contaminação                         | Ambiental                 |
| LI12   | Danos ao fundo do mar - descomissionamento      | Ambiental                 |
| LI13   | Área de proteção marinha (APM)                  | Ambiental                 |

|      |  |                    |
|------|--|--------------------|
| LI14 | Diminuição da emissão de poluentes                                       | Ambiental          |
| LI15 | Aumento na segurança energética  | Ambiental          |
| LI16 | Impacto na manufatura das turbinas eólicas                               | Ambiental          |
| LI17 | Geração de resíduos ao fim do descomissionamento                         | Ambiental          |
| LI18 | Alteração na paisagem  | Social             |
| LI19 | Restrição da atividade pesqueira   | Social e econômico |
| LI20 | Prejuízo às pesquisas científicas da região                              | Social             |
| LI21 | Criação de empregos  | Social e econômico |
| LI22 | Impacto no turismo e atividades recreativas                              | Social e econômico |
| LI23 | Impacto sobre a economia local   | Econômico          |
| LI24 | Redução do número de viagens de pesca e aumento de seu custo operacional | Econômico          |
| LI25 | Coexistência e competição espacial com a pesca                           | Social e econômico |
| LI26 | Exclusão de áreas de pesca   | Social e econômico |
| LI27 | Impacto sonoro para a população local                                    | Social             |
| LI28 | Aceitação social das turbinas  | Social             |

A seguir, alguns dos impactos identificados na literatura são detalhados – a escolha foi realizada de modo subjetivo, contudo, seguindo a lógica de que tanto impactos positivos quanto negativos fossem apresentados, assim como cada aspecto do TBL fosse representado pelo menos uma vez. Esses mesmos impactos são discutidos e modelados na Seção 4.2. O detalhamento dos demais impactos é apresentado no Apêndice 2.

### **LI1. Criação de recifes artificiais e novos habitats**

A literatura se divide entre apontar que a criação de recifes artificiais e novos habitats é um impacto positivo ou negativo. Baulaz et al. (2023a) descrevem o efeito de recifes artificiais, em outras palavras, como o resultado de uma mudança de substratos moles em substratos duros, e considera tal efeito como uma das perturbações mais importantes a um ecossistema. Coolen et al. (2022a) afirmam que as turbinas eólicas atuam como recifes artificiais, aumentando a biomassa e atraindo predadores móveis, o que modifica os processos ecológicos e a organização trófica local.

1. Alteração na cadeia alimentar marinha – Segundo Adgé et al. (2024) há aumento de substratos duros pelos organismos bentônicos; aumento dos grupos de peixes - trazendo benefícios a certos predadores da cadeia alimentar. Novos habitats são introduzidos e com isso novas espécies são adicionadas à cadeia alimentar.
2. Alteração na estrutura populacional marinha – A construção e operação de turbinas eólicas *offshore* altera significativamente os habitats marinhos, afetando a distribuição, abundância e estrutura populacional das espécies (METHRATTA; LIPSKY;

BOUCHER, 2023). Essas alterações podem ter impactos a longo prazo na ecologia dos recursos pesqueiros. A infraestrutura dos parques pode criar habitats artificiais, como recifes artificiais, que podem atrair algumas espécies, mas também expulsar outras, resultando em mudanças na biodiversidade local (KULKARNI; EDWARDS, 2022). Segundo Serpetti et al. (2021), a presença de turbinas eólicas e fazendas de salmão atrai predadores de topo, como focas, gadoídes e aves marinhas, devido ao aumento de biomassa nas proximidades das instalações.

## **LI2. Colisão de aves em turbinas**

A instalação de turbinas *offshore* cria barreiras físicas que podem alterar o comportamento migratório das aves, resultando em uma mudança forçada de seus habitats (BRADARIĆ et al., 2024). A presença das turbinas também pode alterar variáveis ambientais que influenciam na migração das espécies, como vento e pressão atmosférica. Além do fato da presença de turbinas eólicas no oceano provocarem a morte instantânea de aves devido à colisão contra as pás eólicas (WEISER et al., 2024).

## **LI16. Impacto na manufatura das turbinas eólicas**

Segundo Chipindula et al. (2018b), a questão desta etapa do ciclo de vida – manufatura das turbinas eólicas - consiste na demanda energética por quilograma de material necessário para os componentes fabricados. Os autores estimam que o consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub> de turbinas eólicas *offshore* seja o dobro de turbinas eólicas *onshore*. Os componentes responsáveis pelo alto consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub> na etapa de manufatura das turbinas são as torres, fundações e pás (JÚNIOR; MEDEIROS; DOS SANTOS ALMEIDA, 2023). Além disso, os autores afirmam em seu estudo que a construção de um parque eólico resulta em uma quantidade significativa de resíduos de materiais compósitos que, posteriormente, necessitam ser tratados.

## **LI18. Alteração na paisagem**

A instalação de turbinas eólicas *offshore* pode afetar negativamente a paisagem costeira, gerando resistência entre as comunidades locais (IWATA; KYOI; USHIFUSA, 2023). O estudo mostrou que a população valoriza a distância das turbinas em relação à costa, indicando uma preferência por turbinas mais distantes que não interfiram na vista. Osman et al. (2023) afirmam que embora o impacto visual seja mais relevante para parques eólicos *onshore*, ele

também é abordado no contexto *offshore*, especialmente em regiões costeiras turísticas onde as turbinas podem afetar a paisagem.

### **LI19. Restrição da atividade pesqueira**

Nie et al. (2024) e Brunbauer et al. (2023) relatam o impacto e efeitos socioeconômicos em comunidades costeiras vulneráveis que dependem da atividade da pesca e turismo. Segundo Willis-Norton et al. (2024b), os efeitos ecológicos somados ao impedimento de atividades de pesca geram impactos econômicos, sociais e culturais nas comunidades de pescadores em questão. São impactos que vão desde a diminuição de renda dos pescadores até mudanças no mercado de empresas que apoiam tais atividades na costa.

### **LI21. Criação de empregos**

Segundo Laskowicz (2021), a criação de empregos é um dos impactos positivos que fazendas eólicas *offshore* promovem. A geração de empregos e de receita não acontece apenas na etapa da fabricação de componentes (HATTAM; HOOPER; PAPATHANASOPOULOU, 2017). Outras etapas do ciclo de vida são beneficiadas pela geração de empregos como as de construção, operação e manutenção de fazendas eólicas *offshore*. Os autores também afirmam que aproximadamente 30% dos empregos criados acontecem na etapa de construção e instalação, 25% no planejamento e desenvolvimento, 18% em serviços de apoio, 16% em operação e manutenção e 10% em fabricação. Além disso, Laskowicz (2021) também argumentam que o surgimento de novos empregos aumenta a demanda por bens e serviços locais, movimentando assim a economia local e impulsionando atividades econômicas locais.

### **LI22. Impacto no turismo e atividades recreativas**

A visão sobre o impacto de turbinas eólicas *offshore* no turismo local e atividades recreativas ainda divide opiniões. Estudos como o de Voltaire et al. (2017) abordam o impacto de parques eólicos *offshore* sobre atividades recreativas e turismo sob um viés negativo, alegando que a presença de turbinas eólicas próximas à costa resulta no deslocamento de turistas para praias sem parques eólicos, resultando em um impacto econômico negativo para a região, uma vez que as áreas próximas às turbinas podem sofrer quedas nas receitas do turismo, impactando a economia local e a geração de empregos. Em relação aos parques eólicos, a pesquisa também afirma que, quanto mais distantes da costa, maior a aceitação dos turistas e conseqüentemente menor o impacto negativo sobre as atividades turísticas. Já Smith et al. (2018) reconhecem a presunção de que projetos eólicos ameacem o turismo através dos

consequentes impactos visuais e conflitos de utilização de recursos, contudo também aborda o viés positivo, alegando que parques eólicos podem agir como um trunfo para a indústria do turismo. Ambos os estudos consultados afirmam que turistas preferem o parque eólico mais afastado da costa. O estudo de Smith et al. (2018), contudo, discute o fato de usinas eólicas se tornarem a atração turística em si, aumentando a demanda de empresas operadoras de passeios de barco, por exemplo, sendo assim um estímulo à economia local e um impacto positivo econômico. As experiências, sejam negativas ou positivas, variam de local para local e de acordo com o perfil do grupo de turistas, que por sua vez, é bastante heterogêneo.

### **LI23. Impacto sobre a economia local**

É possível analisar o impacto de parques eólicos *offshore* sobre a economia local em que são instalados a partir de diversas perspectivas. A sua presença traz benefícios à economia local através do estímulo ao desenvolvimento de empreendimentos como hotéis e restaurantes que abrangem as equipes que trabalham diretamente nessa indústria (CRONIN; CUMMINS; WOLSZTYNSKI, 2021). Smith et al. (2018) também reforçam a ideia de que parques eólicos funcionam como atrações turísticas, estimulando assim o turismo local e toda a cadeia que o envolve. Já autores como Rydin et al. (2018) dão foco na criação de empregos locais, porém com a ressalva de que a cadeia de suprimentos desta indústria ainda é incipiente, o que limita a capacidade de produzir novos empregos. Além disso, também é importante considerar os impactos negativos sobre atividades locais como a pesca e o turismo, uma vez que a operação de parques eólicos pode restringir áreas de pesca e causar alterações visuais na paisagem, afastando turistas. Logo, nota-se que este tópico está diretamente relacionado aos tópicos 21, 22, 25 e 26.

#### **4.1.4 Etapas do ciclo de vida e seus impactos**

Esta subseção pretende responder a segunda pergunta de pesquisa adereçada à revisão sistemática da literatura (RSQ2), de modo que os impactos levantados sejam compreendidos de acordo com a etapa do ciclo de vida, apresentado na Figura 1, à qual pertencem.

#### **Instalação**

Segundo Creane et al. (2023), a etapa de instalação de uma usina eólica é uma etapa crítica para a alteração em habitats marinhos, como bancos de areia, devido a sua influência direta na alteração da propagação de ondas, padrão dos fluxos de fluidos, e a circulação de

sedimentos. Essas alterações afetam diretamente o caráter sensível dos ambientes marinhos que estão ao redor, sobretudo quando se leva em conta de que bancos de areia são muito importantes para habitats bentônicos. Contudo, é importante considerar que esses impactos podem ser tanto negativos quanto positivos, dependendo diretamente do local geográfico em que essas instalações se encontram, do tipo e tamanho da usina instalada e o volume e natureza do substrato dragado pelas atividades de instalação.

Baulaz et al. (2023b) afirmam que na fase de construção e instalação há alteração no fluxo de matéria orgânica e detritos devido à alteração dos bentos ao redor das turbinas. Também existe um considerável impacto nesta etapa, uma vez que a atividade de escavação e esmagamento do substrato causam mortalidade da endofauna e perda de habitats essenciais.

De acordo com Huang et al. (2023) há três tipos de ruídos relevantes na atividade de instalação de uma usina eólica, sendo eles ruído de martelamento, de vibração e de perfuração. O primeiro, por sua vez, afeta diretamente a vida de mamíferos marinhos, desde danos auditivos até mudanças comportamentais, pelo fato de serem ruídos percebido em até 2 quilômetros de distância da fonte.

Desalegn et al. (2023) afirmam que segundo a avaliação do ciclo de vida (LCA) das turbinas *offshore*, embora a pegada de carbono seja maior na fase de construção, ela é amortizada ao longo da vida útil das turbinas devido à sua alta eficiência na geração de eletricidade.

### **Operação e manutenção**

Segundo Baulaz et al. (2023b), o estudo dos impactos derivados desta etapa é mais complexo. Trata-se de impactos que ocorrem em um raio de até cem metros das turbinas eólicas, sendo as aves organismos consideravelmente impactados pela operação de um parque eólico.

Além dos impactos causados a aves, quando turbinas eólicas operam, elas emitem ruídos subaquáticos que podem alcançar quilômetros de distância a partir de sua fonte sonora Cresci et al. (2023). A intensidade destes ruídos aumenta de acordo com o tamanho das turbinas e da velocidade dos ventos. Mais uma vez, há grandes lacunas no conhecimento sobre as respostas dos animais marinhos ao som e à vibração causados pelas turbinas em operação. Os efeitos da exposição ao ruído emitido pelas turbinas eólicas *offshore* podem ser particularmente relevantes durante as fases iniciais de dispersão da vida, pois estas contribuem para determinar o sucesso do recrutamento, o tamanho da população e a distribuição dos adultos. Qualquer

influência que o ruído operacional das turbinas eólicas *offshore* possa ter sobre a ecologia da dispersão larval pode ter possíveis efeitos em nível populacional nas fases posteriores.

### **Descomissionamento**

O impacto mais mencionado durante o descomissionamento é a geração e direcionamento de resíduos. As pás eólicas, por serem compostas por fibras de vidro ou compósitos de carbono, são os componentes mais complexos de reaproveitar ou reciclar (TOTA-MAHARAJ; MCMAHON, 2021). Além disso, a quantidade de resíduos a serem tratados depende de fatores como o tamanho do parque eólico, distância da costa e profundidade da instalação. No entanto, segundo Baulaz et al. (2023b) os impactos nesta etapa ainda são pouco documentados, embora se acredite que sejam semelhantes aos efeitos registrados na fase de construção, já que todas as fundações devem ser removidas.

### **4.2 Modelagem conceitual segundo a COVeR (*Common Ontology of Value and Risk*)**

Inicialmente, é importante destacar que as perguntas de pesquisa e, portanto, o encaminhamento das palavras-chave e a busca de pesquisa da revisão sistemática da literatura, foram intencionalmente direcionadas ao termo "impacto". Esta escolha foi feita de forma estratégica, com o objetivo de, a partir da identificação dos impactos ambientais, sociais e econômicos, percorrer o caminho inverso, alcançando suas origens e resgatando os conceitos de risco e valor envolvidos no processo. Assim, foi possível compreender precisamente e então identificar e modelar as etapas críticas de cada impacto identificado.

Desta forma, para esta etapa da metodologia, os impactos levantados na literatura e apresentados na Tabela 4, apresentada na seção 4.3.1, foram nomeados como fatores de risco ou de valor inerentes à indústria que, por sua vez, resultam em eventos impactantes ou de perda, dependendo se negativos ou positivos. Dos vinte e oito impactos levantados na seção anterior, vinte e quatro foram utilizados como ponto de partida para a modelagem conceitual de risco e valores, uma vez que a modelagem revelou que os 4 restantes eram equivalentes semanticamente a outros fatores já modelados, pois participam da mesma experiência de valor ou risco.

A partir dos impactos visíveis na Tabela 2, foi possível desenhar, para cada um, uma experiência de valor (caso o impacto fosse positivo) ou de risco (caso o impacto fosse negativo).

As tabelas 5 e 6, apresentam alguns exemplos de experiência de risco ou valor, detalhados por meio de seus respectivos eventos, em forma textual e fazendo referência aos conceitos da COVeR entre colchetes (ex.: [Agente] e “[Evento de Risco]”). Os exemplos são discutidos nesta seção, e as demais modelagens estão disponíveis no Apêndice 3.

A modelagem de cada experiência foi conduzida de forma que, para cada impacto levantado na literatura, fossem inicialmente identificados os agentes afetados por ele e quais de seus objetivos eram particularmente impactados. Em seguida, o material obtido na RSL foi analisado detalhadamente, com o intuito de compreender a sequência de eventos que culminaria, de forma concreta, em uma situação na qual este objetivo era afetado.

Adicionalmente, a cada fator é atribuída a etapa do ciclo de vida em que ocorre, bem como o aspecto do tripé da sustentabilidade que é impactado. Os fatores de risco (FR) e fatores de valor (FV) estão apresentados nas tabelas 5 e 6, respectivamente, de acordo com os impactos identificados na literatura (LI) aos quais correspondem.

Tabela 5 - Detalhamento das experiências de risco para cada fator de risco. Fonte: elaboração própria

| Índice      | Etapa do ciclo de vida             | Tripé da sustentabilidade | Fator de risco                   | Experiência de risco   |
|-------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| FR1 (LI2)   | Operação e Manutenção              | Ambiental                 | Colisão de aves em turbinas      | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] Operação das turbinas eólicas no oceano (causa diretamente)<br>[Evento de risco] colisão de aves nas pás das turbinas (causa diretamente)<br>[Evento de perda] morte instantânea das aves devido a colisão (resulta em)<br>[Situação de perda] perda de biodiversidade (afeta negativamente)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS15  |
| FR10 (LI18) | Instalação e Operação e Manutenção | Social                    | Alteração na paisagem            | [Agente] População local<br>[Evento de ameaça] instalação e operação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] alteração na paisagem (causa diretamente)<br>[Evento de perda] desaprovação por parte das comunidades costeiras (resulta em)<br>[Situação de perda] falta de aceitação social das turbinas (afeta negativamente)<br>[Intenção] bem-estar da comunidade local   |
| FR11 (LI19) | Instalação e Operação e Manutenção | Social e econômica        | Restrição da atividade pesqueira | [Agente] População pesqueira local<br>[Evento de ameaça] instalação e operação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] <b>coexistência e competição espacial com a pesca</b> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] criação de áreas inacessíveis (causa diretamente)<br>[Evento de risco] <b>exclusão de áreas de pesca</b> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] restrição da atividade pesqueira (resulta em)<br>[Evento de perda] <b>redução de viagens de pesca e aumento de custos</b> |

|              |                                    |                    |  |   |
|--------------|------------------------------------|--------------------|--|---|
|              |                                    |                    |  | <p><b>operacionais</b> (resulta em)</p> <p>[Situação de perda] perda de receita para pescadores locais (afeta negativamente)</p> <p>[Intenção] economia pesqueira local</p>   |
| FR13<br>FR14 | Instalação e Operação e Manutenção | Social e econômica | <p>Impacto no turismo e atividades recreativas</p> <p>Impacto sobre a economia local</p> | <p>[Agente] População local</p> <p>[Evento de ameaça] instalação e operação de turbinas eólicas offshore (causa diretamente)</p> <p>[Evento de risco] <b>alteração na paisagem</b> (causa diretamente)</p> <p>[Evento de risco] desencorajamento da visitação de turistas (causa diretamente)</p> <p>[Evento de perda] impacto no turismo e atividades recreativas (resulta em)</p> <p>[Evento de perda] impacto na economia local (resulta em)</p> <p>[Situação de perda] diminuição de receita de turismo (afeta negativamente)</p> <p>[Intenção] desenvolvimento econômico local</p> |
| FR15 (LI16)  | Produção e aquisição               | Ambiental          | Impacto na manufatura das pás eólicas  | <p>[Agente] Agência reguladora</p> <p>[Evento de ameaça] manufatura das pás eólicas (causa diretamente)</p> <p>[Evento de risco] consumo de fibra de vidro e resina epóxi (causa diretamente)</p> <p>[Evento de risco] alto consumo de água (causa diretamente)</p> <p>[Evento de risco] alto consumo de energia (causa diretamente)</p> <p>[Evento de perda] alta pegada de carbono (resulta em)</p> <p>[Situação de perda] maior emissão de gases nocivos durante todo o ciclo de vida (afeta negativamente)</p> <p>[Intenção] Produção e consumo sustentáveis - ligada a ODS12</p>   |

Tabela 6: Detalhamento das experiências de valor para cada fator de valor. Fonte: elaboração própria

| Índice                                   | Etapa do ciclo de vida  | Tripé da sustentabilidade                     | Fator de valor   | Experiência de valor  |
|--|---|---|--|---|
| <p>           FV1<br/>(LI1)         </p> | <p>           Instalação e Operação e Manutenção         </p> | <p>           Ambiental         </p>          | <p>           Criação de recifes artificiais e novos habitats         </p> | <p>[Agente] Agência reguladora</p> <p>[Evento Gatilho] Instalação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)</p> <p>[Evento de valor] Criação de recifes artificiais e novos habitats (causa diretamente)</p> <p>[Evento de valor] aumento de substratos duros pelos organismos bentônicos (causa diretamente)</p> <p>[Evento de impacto] novas espécies são introduzidas à cadeia alimentar (resulta em)</p> <p>[Resultado impactante] aumento da diversidade de espécies marinhas ao redor da turbina (impacta)</p> <p>[Intenção] preservação da vida marinha - alinhado à ODS14: "Conservar e promover o uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável"</p> |
| <p>           FV2<br/>(LI1)         </p> | <p>           Instalação e Operação e Manutenção         </p> | <p>           Ambiental e Social         </p> | <p>           Criação de recifes artificiais e novos habitats         </p> | <p>[Agente] população pesqueira</p> <p>[Evento Gatilho] Instalação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)</p> <p>[Evento de valor] Criação de recifes artificiais e novos habitats (causa diretamente)</p> <p>[Evento de valor] peixes e outros organismos colonizam tais áreas (causa diretamente)</p> <p>[Evento de valor] mudança na distribuição (causa diretamente)</p> <p>[Evento de valor] áreas se tornam local de abrigo, alimentação e reprodução (causa diretamente)</p>  |

|            |   |                    |                     |  |
|------------|---|--------------------|---------------------|--|
|            |   |                    |                     | [Evento de impacto] atração de outras espécies de peixes e mudança na sua distribuição (resulta em)<br>[Resultado impactante] mudanças na distribuição de peixes para a pesca (impacta)<br>[Intenção] atividade pesqueira na área de operação das usinas   |
| FV6 (LI21) | Instalação e construção e Operação e manutenção | Social e econômica | Geração de empregos | (Agente) População local / municípios locais<br>[Evento gatilho] construção e operação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de valor] necessidade por mão de obra (resulta em)<br>[Evento de impacto] geração de empregos (acarreta/causa)<br>[Resultado impactante] aumento no PIB e na taxa de empregabilidade (impacta)<br>[Intenção] desenvolvimento econômico local |

As tabelas 5 e 6 evidenciam que cada fator de risco ou valor identificado está associado a uma série de eventos interrelacionados, destacando a natureza interdependente desses impactos. Essa relação reforça a ideia de que nenhum impacto ocorre de forma isolada, mas como parte de um fluxo de eventos. Esse entendimento possibilita uma identificação mais precisa e antecipada dos possíveis impactos que podem emergir como consequência dos eventos de risco, permitindo direcionar esforços de forma mais eficaz para a mitigação dessas consequências.

A maioria dos impactos ocorre nas etapas de instalação, operação e manutenção. Isso destaca a importância de ações preventivas e contínuas durante essas fases para mitigar os possíveis impactos negativos. Também vale ressaltar que os três pilares da sustentabilidade são aplicados aos fatores de risco e de valor indicados nas Tabelas 5 e 6, ou seja, os impactos da indústria eólica *offshore* vão além da esfera ambiental, afetando diretamente a comunidades locais e a economia.

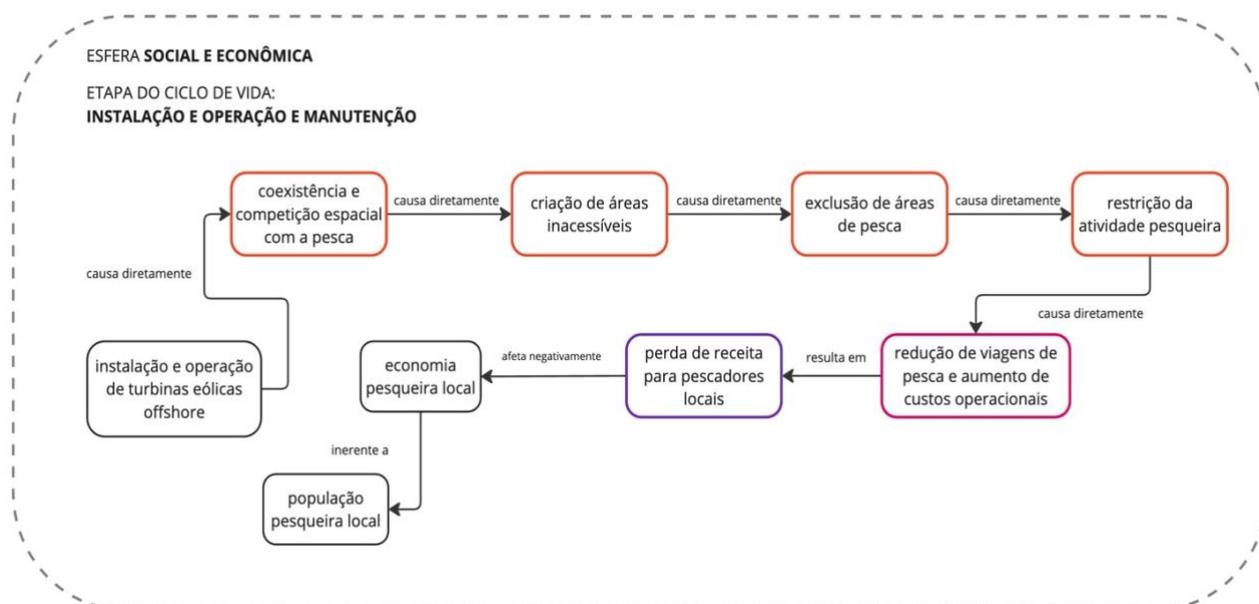
Um ponto interessante a ser destacado é observado no início da Tabela 6, especificamente nos fatores de valor FV1 e FV2, relacionados à "Criação de recifes artificiais e novos habitats". Esses fatores que, a princípio, são iguais, podem resultar em duas experiências de valor distintas, cada uma gerando resultados impactantes positivos únicos que afetam diferentes agentes (como Agências Reguladoras em uma experiência e população pesqueira local em outra) e suas intenções inerentes. Essa diferenciação evidencia como um mesmo fator pode desencadear múltiplos desdobramentos, dependendo do contexto e dos agentes envolvidos.

Outro ponto relevante é que há fatores de risco e de valor que participam das modelagens de outros fatores, porém como eventos intrínsecos à experiência. Um exemplo é o

FR10 "Alteração na paisagem", que contribui como evento de risco na modelagem experiencial de dois fatores: FR13 "Impacto no turismo e atividades recreativas" e FR14 "Impacto sobre a economia local". Esses dois fatores de risco (FR13 e FR14), por sua vez, resultam em uma mesma situação de perda "Diminuição de receita de turismo".

Para ilustrar as experiências de risco e valor modeladas e apresentadas nas Tabelas 5 e 6, selecionamos dois fatores de risco (FR11 e FR15) e um fator de valor (FV6), abrangendo diferentes dimensões do tripé da sustentabilidade e distintas etapas do ciclo de vida de um projeto eólico. Eles são ilustrados através das Figuras 13, 14 e 15.

Figura 13- Modelagem de experiência de risco de "Restrição da atividade pesqueira". Fonte: elaborado pela autora



A Figura 13 representa um caso particular no qual os impactos LI24 (Redução do número de viagens de pesca e aumento de seu custo operacional), LI25 (Coexistência e competição espacial com a pesca) e LI26 (Exclusão de áreas de pesca), ao serem modelados com base na COVeR, se configuram como eventos de risco e evento de perda, respectivamente, do impacto LI19, no caso, fator de risco FR11 (Restrição da atividade pesqueira). Essa experiência de risco se dá na esfera social e econômica e compreende as etapas de instalação e operação de parques eólicos.

A Figura 14 ilustra a experiência de risco do FR15 “Impacto na manufatura das pás eólicas”. O processo ocorre na etapa de produção e aquisição do ciclo de vida de um projeto eólico e afeta diretamente a esfera ambiental. Sua situação de perda, ou seja, impacto final de cunho negativo se opõem ao que a ODS12 “Produção e consumo sustentáveis” propõe.

Figura 14 - Modelagem de experiência de risco de "Impacto na manufatura das pás eólicas". Fonte: elaborado pela autora

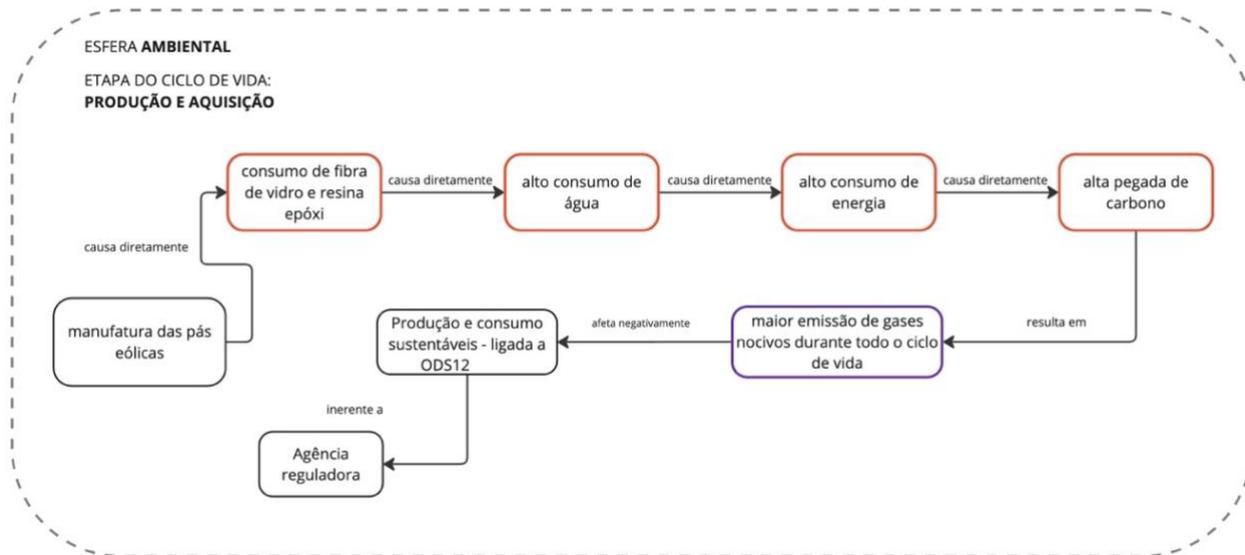
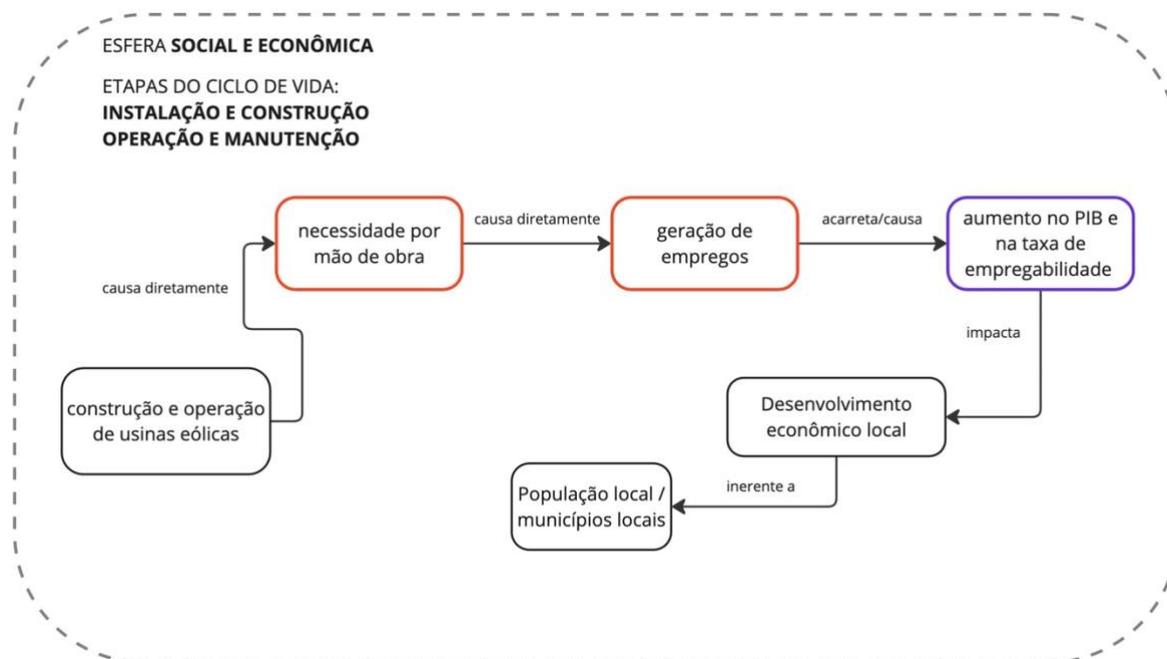


Figura 15 - Experiência de valor de "Geração de empregos. Fonte: Elaborado pela autora



A Figura 15, por sua vez, ilustra a experiência de valor, ou seja, um processo positivo atribuído à indústria eólica *offshore*. Trata-se de uma cadeia de eventos que atuam na esfera social e econômica e ocorrem em duas etapas do ciclo de vida de um projeto eólico *offshore*: o

de instalação e construção e de operação e manutenção. Seu evento de impacto “aumento no PIB e na taxa de empregabilidade” afeta positivamente o desenvolvimento econômico local e está diretamente atrelado ao FV6, também LI21 (“Geração de empregos”).

As tabelas 7 e 8 apresentam uma versão compactada das tabelas 5 e 6, com o objetivo de destacar e relacionar diretamente cada fator de risco ou de valor à sua respectiva situação de perda ou resultado impactante, bem como às intenções e agentes envolvidos. Nestas tabelas optamos por apresentar todos os fatores de risco e de valor modelados.

Tabela 7 - Fatores de risco e a relação com as intenções impactadas e agentes envolvidos. Fonte: elaboração própria

| <b>Índice</b> | <b>Tripé da sustentabilidade</b> | <b>Fator de risco</b>                        | <b>Situação de perda</b>  | <b>Intenção</b>                                      | <b>Agente</b>                      |
|---------------|----------------------------------|--|---|--|------------------------------------|
| FR1           | Ambiental                        | Colisão de aves em turbinas                  | Perda de biodiversidade   | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS15 | Agência reguladora                 |
| FR2           | Ambiental                        | Mudança no clima local                       | Aumento de precipitação local e mudança no clima da superfície do mar       | ODS13 - ação contra mudança global do clima          | Agência reguladora                 |
| FR3           | Ambiental                        | Ruídos subaquáticos                          | Mudanças comportamentais em animais marinhos                                | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                 |
| FR4           | Ambiental                        | Eutrofização                                 | Morte de peixes e outros organismos vivos locais                            | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                 |
| FR5           | Ambiental                        | Geração de campos eletromagnéticos           | Alteração na biodiversidade   | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                 |
| FR6           | Ambiental                        | Mudança na estratificação vertical das águas | Impactos na qualidade da água e morfologia costeira ao longo do tempo       | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                 |
| FR7           | Ambiental e Econômica            | Efeito esteira                               | Menor produção de energia cinética  | Eficiência energética                                | Concessionária/ Empresa de energia |
| FR8           | Ambiental                        | Poluição e contaminação das águas            | Poluição e contaminação da água com metais pesados                          | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                 |
| FR9           | Ambiental                        | Danos ao fundo do mar                        | Perda de biodiversidade local   | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                 |
| FR10          | Social                           | Alteração na paisagem                        | Falta de aceitação social das turbinas                                      | Bem-estar da comunidade local                        | População local                    |
| FR11          | Social e econômica               | Restrição da atividade pesqueira             | Perda de receita para pescadores locais                                     | Economia pesqueira local                             | População pesqueira local          |
| FR12          | Social                           | Prejuízo às pesquisas                        | Comprometimento da representatividade e eficácia dos resultados da pesquisa | Amostragem e Design Estatístico                      | comunidade científica              |

|              |                    |   |   |  |                    |
|--------------|--------------------|---|---|--|--------------------|
|              |                    | científicas da região   |   |  |                    |
| FR13<br>FR14 | Social e econômica | Impacto no turismo e atividades recreativas<br><br>Impacto sobre a economia local | Diminuição de receita de turismo  | Desenvolvimento econômico local                  | População local    |
| FR15         | Ambiental          | Impacto na manufatura das pás eólicas   | Maior emissão de gases nocivos durante todo o ciclo de vida               | Produção e consumo sustentáveis - ligada a ODS12 | Agência reguladora |
| FR16         | Ambiental          | Geração de resíduos ao fim do descomissionamento                                  | Baixo nível de reciclagem devido às propriedades dos materiais envolvidos | Produção e consumo sustentáveis - ligada a ODS12 | Agência reguladora |
| FR17         | Social             | Impacto sonoro para a população local   | Falta de aceitação social das turbinas                                    | Bem-estar da comunidade local                    | População local    |

Tabela 8 - Fatores de valor e a relação com as intenções impactadas e agentes envolvidos. Fonte: elaboração própria.

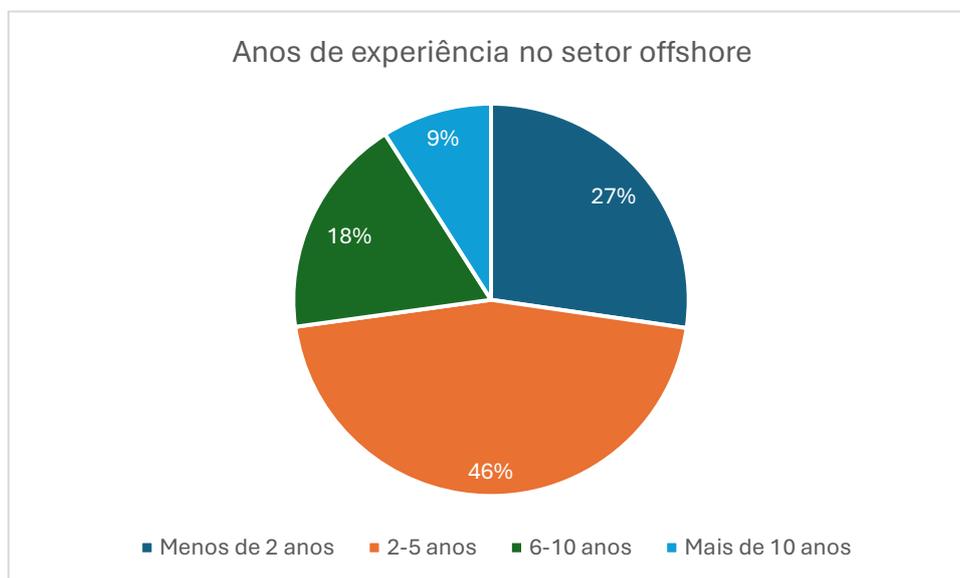
| Índice | Tripé da sustentabilidade     | Fator de valor                                  | Resultado impactante  | Intenção   | Agente                            |
|--------|-------------------------------|---|---|--|-----------------------------------|
| FV1    | Ambiental                     | Criação de recifes artificiais e novos habitats | Aumento da diversidade de espécies marinhas ao redor da turbina | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                |
| FV2    | Ambiental e Social            | Criação de recifes artificiais e novos habitats | Mudanças na distribuição de peixes para a pesca                 | Atividade pesqueira na área de operação das usinas   | População pesqueira               |
| FV3    | Ambiental                     | Redução de emissões de CO2                      | Menos impacto ambiental e poluição                              | Ação contra a mudança global do clima ODS13          | Agência reguladora                |
| FV4    | Ambiental, social e econômica | Criação de zonas de exclusão de pesca           | Criação de refúgios ecológicos em áreas antes super exploradas  | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                |
| FV5    | Ambiental                     | Criação de área de proteção marinha             | Aumento da biodiversidade local                                 | Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 | Agência reguladora                |
| FV6    | Social e econômica            | Geração de empregos                             | Aumento no PIB e na taxa de empregabilidade                     | Desenvolvimento econômico local                      | População local/municípios locais |
| FV7    | Ambiental                     | Diminuição da emissão de poluentes              | Diminuição da emissão de poluentes                              | Energia acessível e limpa - ODS 7                    | Agência reguladora                |
| FV8    | Ambiental, social e econômica | Aumento na segurança energética                 | Autossuficiência energética                                     | Energia acessível e limpa - ODS 7                    | Sociedade civil                   |

As tabelas 7 e 8 apresentam uma visão geral dos fatores de risco e valor associados à energia eólica *offshore*, com foco nos seus impactos, intenções e agentes envolvidos. Segundo a Tabela 7, os agentes mais afetados são as agências reguladoras, seguidas pela população local. Também é possível notar que a maioria dos fatores está ligada a impactos ambientais, como a preservação da biodiversidade e a qualidade e preservação da água. Já em relação às intenções associadas aos impactos, a mais recorrente foi a atrelada à ODS 14 – Preservação da vida na água, destacando-se como uma métrica orientadora para o desenvolvimento de medidas de mitigação futuras.

### 4.3 Validação com especialistas

Onze respondentes, entre profissionais e acadêmicos da área *offshore*, responderam ao questionário de validação dos impactos levantados na literatura presente na revisão sistemática. A partir da Figura 16 é possível identificar o tempo de experiência dos profissionais na área de estudo.

Figura 16 - Tempo de experiência de profissionais no setor offshore. Fonte: elaborado pela autora



Conforme visto na Figura 16, 46% dos respondentes possuem experiência na área entre dois e cinco anos, 18% entre seis e dez anos, 9% há mais de 10 anos, e 27% por menos de dois anos. Quando questionados se já consideraram em algum momento impactos no processo de tomada de decisão em projetos eólicos *offshore*, todos os especialistas responderam que sim.

Isso reforça a relevância do presente estudo e da necessidade de avaliar esses impactos para orientar políticas e planejamentos estratégicos.

Figura 16 - Relevância de se considerar impactos no processo de tomadas de decisão em projetos eólicos offshore. Fonte: elaborado pela autora.

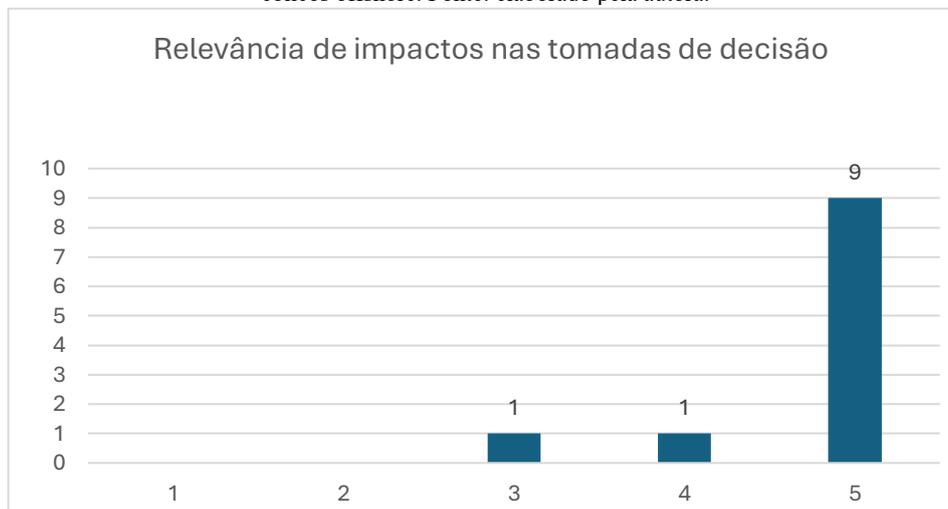
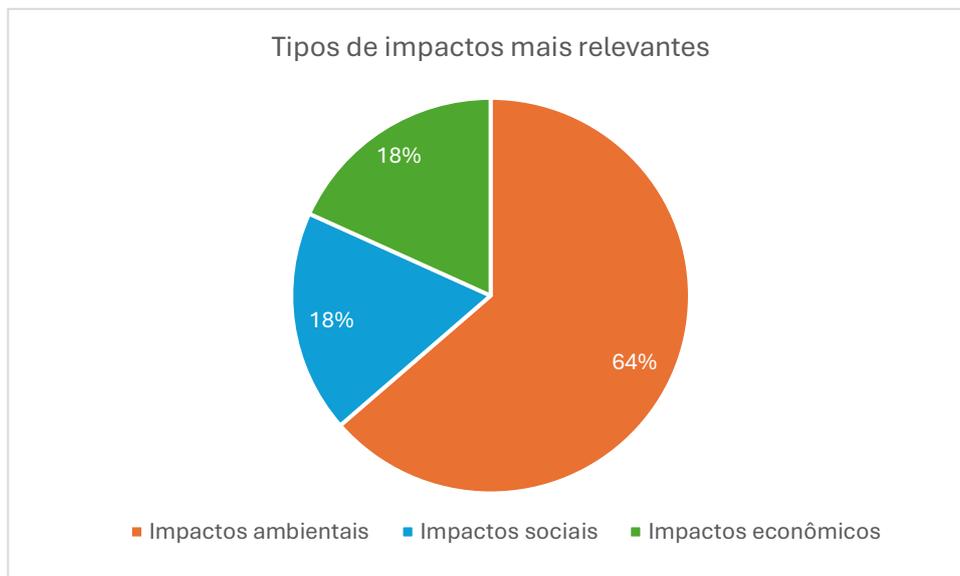


Figura 17 - Tipos de impactos mais relevantes segundo especialistas. Fonte: elaboração própria da autora.



A Figura 17 apresenta, numa escala de 1 a 5, a percepção dos especialistas sobre a relevância dos impactos no processo de tomada de decisão. De acordo com o gráfico, 81,8% dos respondentes atribuem a máxima importância a esses impactos na condução de projetos. A Figura 18 indica que 64% dos especialistas consideram os impactos ambientais a principal preocupação em projetos eólicos *offshore*. Já os impactos sociais e econômicos são apontados como prioritários por 18% dos respondentes cada.

Os participantes também foram questionados: "Quais tipos de impactos da indústria eólica *offshore* você tem conhecimento?" As respostas foram organizadas e estão apresentadas na Tabela 9, a seguir.

Tabela 9 - Impactos levantados pelos respondentes no questionário de especialistas

| <b>Índice</b> | <b>Aspecto TBL</b> | <b>Impactos levantados pelos especialistas</b>                           |
|---------------|--------------------|--|
| SI1           | Ambiental          | Impactos no bioma local  |
| SI2           | Ambiental          | Emissões reduzidas de CO2  |
| SI3           | Ambiental          | Ruídos subaquáticos  |
| SI4           | Ambiental          | Impactos em aves e morcegos (colisão com turbinas)                       |
| SI5           | Ambiental          | Dano ao fundo do mar/corais  |
| SI6           | Ambiental          | Distúrbios na biodiversidade marinha                                     |
| SI7           | Ambiental          | Pegada de carbono na fabricação e instalação de equipamentos             |
| SI8           | Ambiental          | Impactos na vida oceânica  |
| SI9           | Social/econômico   | Alteração na paisagem  |
| SI10          | Social/econômico   | Criação de empregos  |
| SI11          | Social/econômico   | Impacto nas comunidades pesqueiras                                       |
| SI12          | Social             | Impacto visual (ex.: áreas turísticas)                                   |
| SI13          | Social             | Ruídos para populações próximas  |
| SI14          | Econômico          | Competição com a indústria pesqueira                                     |
| SI15          | Social             | Aceitação social em diferentes contextos (ex.: industrial vs. turístico) |
| SI16          | Econômico          | Desenvolvimento tecnológico  |
| SI17          | Ambiental          | Diversificação da matriz energética                                      |
| SI18          | Ambiental          | Produção adicional de eletricidade renovável                             |
| SI19          | Ambiental          | Potencial para produzir produtos de baixo carbono                        |
| SI20          | Econômico          | Aumento da atividade econômica na cadeia de suprimentos                  |
| SI21          | Econômico          | Dificuldade de implementação devido a custos elevados                    |
| SI22          | Social/econômico   | Segurança no abastecimento energético                                    |

Vinte e dois impactos foram levantados segundo os especialistas. Ao aprofundarmos sobre eles, é possível notar que eles atuam nas três esferas abordadas neste trabalho, sendo elas ambiental, social e econômica.

De acordo com a Tabela 9, diversos impactos levantados pelos especialistas são abrangentes, podendo ser tanto de caráter positivo quanto negativo, dependendo do contexto inserido. Impactos como "SI1 – Impacto no bioma local" ou "SI11 – Impactos na vida pesqueira" necessitam de um contexto para determinar se possuem valência positiva ou negativa. Um exemplo disto é o fato de, conforme visto na seção de modelagem, o fator de valor e ao mesmo tempo evento de risco "Criação de zonas de exclusão de pesca" poder, simultaneamente, resultar em refúgios ecológicos (positivo no âmbito ambiental) e na perda de receita para pescadores locais (negativo no âmbito social e econômico)

Essas nuances evidenciam a relevância de abordagens ontológicas para a modelagem de eventos de risco e valor, pois permitem a análise de como diferentes impactos interagem e se conectam, mais uma vez dando a entender que nada acontece de forma isolada e de que um mesmo evento pode ser negativo para um agente e positivo para outro, dependendo de suas intenções.

Além de analisar separadamente os impactos segundo especialistas de acordo com os aspectos do tripé da sustentabilidade, é importante compará-las com os impactos identificados e levantados na literatura através da revisão sistemática e os modelados pela COVeR. As tabelas 10 e 11 fornecem essa comparação:

Tabela 10 - Impactos negativos identificados na RSL, COVeR e pelos especialistas. Fonte: elaboração própria da autora.

| <b>Impactos negativos levantados na literatura</b> | <b>Impactos negativos segundo a COVeR</b>                           | <b>Impactos segundo especialistas</b>                    |
|--|---|--|
| LI2 - Colisão de aves em turbinas                  | LS1 - Perda de biodiversidade                                       | SI4 - Impactos em aves e morcegos (colisão com turbinas) |
| LI4 -Mudança no clima local                        | LS2 - Aumento de precipitação local e no clima da superfície do mar | SI8 - Impactos na vida oceânica                          |
| LI5 - Ruídos subaquáticos                          | LS3 - Mudanças comportamentais em animais marinhos                  | SI3 - Ruídos subaquáticos                                |
| LI6 - Eutrofização                                 | LS4 - Morte de peixes e outros organismos vivos locais              | SI6 - Distúrbios na biodiversidade marinha               |
| LI7 - Geração de campos eletromagnéticos           | LS5 - Alteração na biodiversidade                                   | SI1 - Impactos no bioma local                            |

|  |  |   |
|--|--|---|
| LI8 - Mudança na estratificação vertical das águas                             | LS6 - Impactos na qualidade da água e morfologia costeira ao longo do tempo        | SI8 - Impactos na vida oceânica   |
| LI9 - Efeito barreira ( <i>wave effect</i> )                                   | LS7 - Menor produção de energia cinética   | -   |
| LI11 - Poluição e contaminação   | LS8 - Poluição e contaminação da água com metais pesados                           | SI8 - Impactos na vida oceânica   |
| LI12 - Danos ao fundo do mar - descomissionamento                              | LS9 - Perda de biodiversidade local  | SI5 - Dano ao fundo do mar/corais   |
| LI16 - Impacto na manufatura das pás eólicas                                   | LS10 - Maior emissão de gases nocivos durante todo o ciclo de vida                 | SI7 - Pegada de carbono na fabricação e instalação de equipamentos              |
| LI17 - Geração de resíduos ao fim do descomissionamento                        | LS11 - Baixo nível de reciclagem devido às propriedades dos materiais envolvidos   | -   |
| LI18 - Alteração na paisagem   | LS12 - Falta de aceitação social das turbinas                                      | SI12 - Impacto visual (ex.: áreas turísticas)                                   |
|  |  | SI9 - Alteração na paisagem   |
|  |  | SI15 - Aceitação social em diferentes contextos (ex.: industrial vs. turístico) |
| LI19 - Restrição da atividade pesqueira  | LS13 - Perda de receita para pescadores locais                                     | SI11 - Impacto nas comunidades pesqueiras                                       |
| LI20 - Prejuízo às pesquisas científicas da região                             | LS14 - Comprometimento da representatividade e eficácia dos resultados da pesquisa | -   |
| L22 - Impacto no turismo e atividades recreativas                              | LS15 - Diminuição de receita de turismo  | -   |
| LI23 - Impacto sobre a economia local  | LS15 - Diminuição de receita de turismo  | -   |
| LI24- Redução do número de viagens de pesca e aumento de seu custo operacional | LS13 - Perda de receita para pescadores locais                                     | SI14 - Competição com a indústria pesqueira                                     |
|  |  | SI11 - Impacto nas comunidades pesqueiras                                       |
| LI25 - Coexistência e competição espacial com a pesca                          | LS13 - Perda de receita para pescadores locais                                     | SI14 - Competição com a indústria pesqueira                                     |
|  |  | SI11 - Impacto nas comunidades pesqueiras                                       |

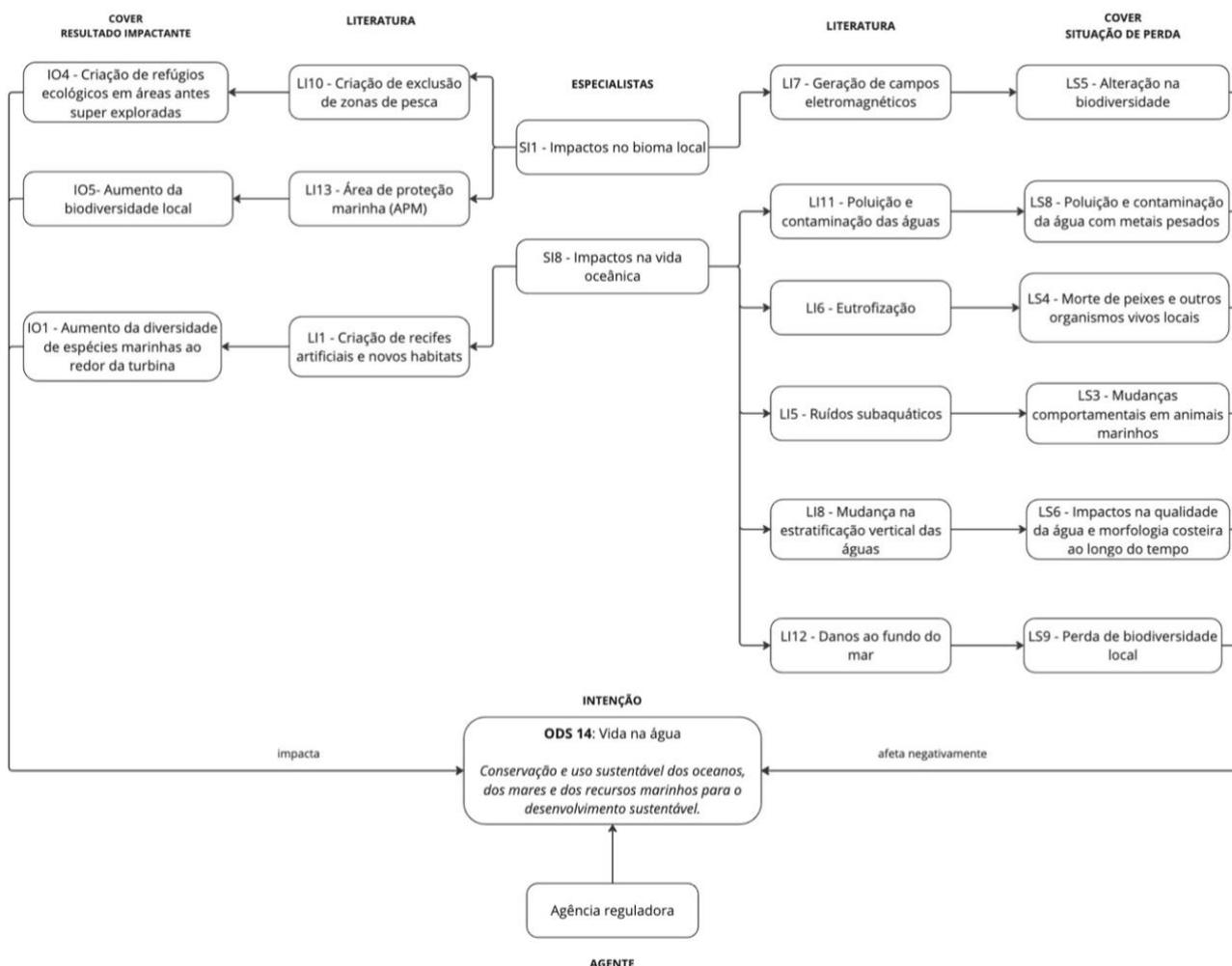
|  |  |   |
|--|--|---|
| LI26 - Exclusão de áreas de pesca            | LS13 - Perda de receita para pescadores locais | SI14 - Competição com a indústria pesqueira                                     |
|  |  | SI11 - Impacto nas comunidades pesqueiras                                       |
| LI27 - Impacto sonoro para a população local | LS12 - Falta de aceitação social das turbinas  | SI13 - Ruídos para populações próximas  |
|  |  | SI15 - Aceitação social em diferentes contextos (ex.: industrial vs. turístico) |
| -  | -  | SI21 - Dificuldade de implementação devido a custos elevados                    |

Tabela 11 - Impactos positivos identificados na RSL, COVeR e pelos especialistas. Fonte: elaboração própria.

| <b>Impactos positivos levantados na literatura</b>    | <b>Impactos positivos segundo a COVeR</b>                             | <b>Impactos segundo especialistas</b>                          |
|---|---|--|
| LI1 - Criação de recifes artificiais e novos habitats | IO1 - Aumento da diversidade de espécies marinhas ao redor da turbina | SI8 - Impactos na vida oceânica                                |
| LI1 - Criação de recifes artificiais e novos habitats | IO2 - Mudanças na distribuição de peixes para a pesca                 | SI11 - Impacto nas comunidades pesqueiras                      |
| LI3 - Redução das emissões de CO2                     | IO3 - Menos impacto ambiental e poluição                              | SI2 - Emissões reduzidas de CO2                                |
| LI10 - Criação de zonas de exclusão de pesca          | IO4 - Criação de refúgios ecológicos em áreas antes super exploradas  | SI1 - Impactos no bioma local                                  |
| LI13 - Área de proteção marinha (APM)                 | IO5- Aumento da biodiversidade local                                  | SI1 - Impactos no bioma local                                  |
| LI14 - Diminuição da emissão de poluentes             | IO6 - Diminuição da emissão de poluentes                              | SI19 - Potencial para produzir produtos de baixo carbono       |
| LI15 - Aumento na segurança energética                | IO7 - Autossuficiência energética                                     | SI17 - Diversificação da matriz energética                     |
|   |   | SI18 - Produção adicional de eletricidade renovável            |
|   |   | SI22 - Segurança no abastecimento energético                   |
| LI21 - Criação de empregos                            | IO8 - Aumento no PIB e na taxa de empregabilidade                     | SI10 - Criação de empregos                                     |
|   |   | SI20 - Aumento da atividade econômica na cadeia de suprimentos |
| -   | -   | SI16 - Desenvolvimento tecnológico                             |

O primeiro aspecto possível de identificar a partir da análise das Tabelas 10 e 11 é o fato de múltiplos impactos levantados por especialistas (SI) se vincularem a um único impacto identificado na literatura (LI) e modelado pela COVeR (LS ou IO). Como é o exemplo do impacto levantado na literatura LI18 - Alteração na paisagem, que está ligado à situação de perda LS12 – Falta de aceitação social das turbinas e que, por sua vez, estão ligados a três impactos trazidos por especialistas, sendo eles: SI12 - Impacto visual, SI9 - Alteração na paisagem e SI15 - Aceitação social em diferentes contextos. Isso evidencia que um só impacto pode ser referenciado de diversas formas, ressaltando a importância das ontologias na definição dos termos que este trabalho se propôs a definir: risco, valor e impacto.

Figura 18 - Relação entre impactos levantados por especialistas, modelados pela COVeR e identificados na literatura. Fonte: elaboração própria da autora.



Também é possível observar que diversos impactos levantados por especialistas se repetem ao longo das Tabelas 10 e 11. Isto indica que eles foram apresentados de maneira mais

abrangente, podendo então se desmembrar em outros impactos, o que permite análises mais complexas e que assumam valências tanto positivas quanto negativas. Para ilustrar essa relação, o diagrama representado na Figura 19 detalha como um impacto trazido por um especialista pode se relacionar a outros impactos previamente identificados e modelados e, por sua vez, vinculados a uma única intenção e um único agente, desenvolvido conforme a abordagem da COVeR.

O diagrama representado pela Figura 19 enfatiza que a instalação e operação de usinas eólicas *offshore* pode tanto resultar em impactos ambientais positivos quanto negativos. Também é possível analisar que um mesmo impacto mencionado por especialistas, como por exemplo "SI8 – Impactos na vida oceânica" pode se desmembrar em diversos impactos, sendo um deles positivo, como o IO1 “Aumento da diversidade de espécies” e outros cinco negativos, que resultam em perda de biodiversidade local, mudanças comportamentais, afetando, assim como o impacto positivo, a ODS 14, que busca promover a conservação e o uso sustentável dos oceanos e recursos marinhos.

Ou seja, a partir de um único impacto levantado por especialistas, é possível desmembrá-lo em seis impactos que, previamente, foram detalhados como experiências de risco ou de valor. Esse detalhamento é crucial para que os impactos e os riscos ou valores relacionados a eles sejam gerenciados ao longo de sua cadeia de eventos e possam ser mitigados em etapas iniciais, garantindo que o projeto esteja alinhado com os princípios da sustentabilidade.

## 5. Conclusão

O primeiro objetivo que este trabalho se propôs a alcançar foi identificar e levantar os impactos da indústria eólica *offshore* na literatura e relacioná-los com os fatores do tripé da sustentabilidade - ambientais, econômicos e sociais - e às etapas do ciclo de vida do projeto em que ocorrem. A partir desse objetivo, também foi possível responder à primeira pergunta de pesquisa adereçada **“Q1. Quais são os principais impactos ambientais, sociais e econômicos associados à indústria eólica *offshore*, conforme identificado na literatura disponível?”**. A princípio, vinte e oito impactos foram identificados, sendo dezessete deles ambientais e os onze restantes divididos entre sociais e econômicos. Os principais impactos ambientais levantados incluem a criação de recifes artificiais, mudanças na biodiversidade, poluição sonora subaquática, geração de campos eletromagnéticos e contaminação do oceano. No âmbito social e econômico, destacam-se a restrição da atividade pesqueira, o impacto sobre o turismo, a criação de empregos e os desafios na aceitação social dessas infraestruturas. Também vale ressaltar que a maioria dos impactos da indústria eólica *offshore* ocorre nas etapas de instalação e de operação e manutenção.

O segundo objetivo do estudo foi alcançado através de uma modelagem conceitual baseada em ontologias, mais precisamente a COVeR, que representou as sequências de eventos associadas à indústria eólica *offshore*, identificando precisamente os impactos resultantes e caracterizando quais ações podem ser potencializadas ou evitadas, conforme sua valência., a partir da compreensão dos conceitos de risco e valor. Para isso, realizou-se uma análise sistemática dos impactos identificados na literatura, modelando suas experiências de eventos e permitindo a identificação detalhada das partes interessadas (agentes) e seus objetivos afetados (intenção).

A partir do levantamento da literatura e da modelagem conceitual baseada em ontologias, foi possível responder à segunda pergunta de pesquisa **“Q2. Quais agentes e objetivos são diretamente afetados pelos impactos levantados na literatura?”**, concluindo que os agentes mais afetados pelos impactos identificados são agências reguladoras e a comunidade local em que as turbinas são instaladas e o objetivo (intenção) mais afetado envolve a preservação da vida em água, contemplada pela ODS14 (Vida na água). Desta forma, é relevante ressaltar que, mesmo atendendo ao ODS 7 (Energia limpa e acessível para todos), há fatores de risco em projetos eólicos *offshore* que afetam outros objetivos de

desenvolvimento sustentável, como o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), ODS 14 (Vida na água) e ODS 15 (Vida terrestre).

Respondendo à terceira pergunta de pesquisa “**Q3. Como a modelagem de riscos pode contribuir para a mitigação dos impactos identificados?**”, este estudo argumenta que a identificação precisa dos impactos e seus respectivos fatores de risco ou de valor para então compreender os eventos decorrentes deles é crucial para uma ação efetiva de mitigação de impactos negativos. Tanto a análise de conteúdo realizada na primeira etapa metodológica (RSL) quanto o questionário aplicado a especialistas indicaram impactos pertinentes à indústria, porém ainda assim com interpretações abrangentes e ambíguas em relação às suas valências e partes afetadas. A vantagem de uma modelagem de riscos baseada em ontologias é que, além dela considerar sua valência, ela permite a compreensão de todos os componentes e etapas presentes numa experiência de risco, bem como a investigação de suas interrelações. Isso contribui para uma identificação mais precisa e antecipada dos possíveis impactos que podem emergir, permitindo que as etapas subsequentes na gestão de riscos sejam direcionadas de forma mais objetiva e eficiente.

Contudo, como o estudo se restringe às etapas de identificação e compreensão dos impactos decorrentes de riscos e valores da atividade eólica *offshore*, uma sugestão para estudos futuros é, a partir da base conceitual construída, criar indicadores de modo que tanto os riscos quanto os seus impactos sejam analisados quantitativamente e priorizados. Assim, a partir dos diferentes graus de severidade dentro do contexto de um projeto, ações de mitigação podem ser desenhadas.

Outra limitação do presente estudo está no fato da literatura levantada a partir da revisão sistemática ser majoritariamente produzida no Norte Global. Portanto, é importante nos atentarmos ao fato de que em outras localizações, talvez haja riscos, valores e impactos novos e distintos que precisem ser identificados e analisados conforme o contexto em que estão. Contudo, mesmo havendo possíveis diferenças, este estudo contribui tecnicamente para o desenvolvimento de projetos eólicos *offshore* em regiões que ainda não dispõem desta tecnologia e que estudam sua viabilidade (ambiental, social e econômica).

De todo modo, este estudo contribui no âmbito científico oferecendo uma base sólida para futuras pesquisas, especialmente no que se refere ao aprimoramento da gestão de riscos na cadeia de suprimentos e no suporte a tomadas de decisão, viabilizando o ranqueamento dos

impactos, riscos e valores mais relevantes. Além disso, os resultados obtidos podem orientar a formulação de políticas públicas e apoiar projetos incipientes que visem a transição energética e sustentabilidade, garantindo um desenvolvimento mais consciente do setor eólico *offshore*.

## Referências

ADGÉ, M., LOBRY, J., TESSIER, A. & PLANES, S. Modeling the impact of floating offshore wind turbines on marine food webs in the Gulf of Lion, France. *Frontiers in Marine Science*, v. 11, p. 1379331, 2024. DOI: 10.3389/fmars.2024.1379331 Acesso em: 14 maio 2025.

AJMI, Souha; BOUTET, Martial; BENNIS, Anne-Claire; DAUVIN, Jean-Claude. Influence of the turbulent wake downstream offshore wind turbines on larval dispersal: development of a new Lagrangian-Eulerian model. *The 8th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS Congress 2022*, p. 1-11. Disponível em: <https://proceedings.eccomas.org/eccomas2022/>. Acesso em: 19 maio 2025.

AKHTAR, N., GEYER, B. & SCHRUM, Corinna. Impacts of accelerating deployment of offshore windfarms on near-surface climate. *Scientific reports*, v. 12, n. 1, p. 18307, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22868-9> Acesso em: 14 maio 2025.

AKHTAR, Naveed; GEYER, Beate; SCHRUM, Corinna. Larger wind turbines as a solution to reduce environmental impacts. *Scientific reports*, v. 14, n. 1, p. 6608, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56731-w> Acesso em: 14 maio 2025.

AMPONSAH, N. Y., TROLDBORG, M., KINGTON, B., AALDERS, I. & HOUGH, R. L. Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 39, p. 461-475, 2014.

Aria, M. and Cuccurullo, C. (2017) Bibliometrix: An R-tool for Comprehensive Science Mapping Analysis. *Journal of Informetrics*, 11, 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

BAULAZ, Y., MOUCHET, M., NIQUIL, N. & LASRAM, F. B. R. An integrated conceptual model to characterize the effects of offshore wind farms on ecosystem services. *Ecosystem Services*, v. 60, p. 101513, 2023a.

BITARAF, Saminehsadat. Risk assessment and decision support applicable to oil field development plants. 2011. Dissertação (Mestrado em International Project Management) – Chalmers University of Technology, Department of Product and Production Development, Division of Production System, Göteborg, 2011.

BORST, W. N. Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse. Tese (Doutorado) – University of Twente, Centre for Telematics and Information Technology (CTIT), Enschede, 1997.

BRADARIĆ, M., KRANSTAUBER, B., BOUTEN, W. & SHAMOUN-BARANES, J. Forecasting nocturnal bird migration for dynamic aeroconservation: The value of short-term datasets. *Journal of Applied Ecology*, v. 61, n. 6, p. 1147-1158, 2024.

BRUNBAUER, M., PRESS, K. M., WILLIAMS, K. A., DRESSES, B. K. GULKA, J. & LAMPMAN, G. Effective Stakeholder Engagement for Offshore Wind Energy Development: The State of New York's Fisheries and Environmental Technical Working Groups. *Marine and Coastal Fisheries*, v. 15, n. 2, p. e210236, 2023

BUONOCORE, J. J., LUCKOW, P., FISHER, J., KEMPTON, W. & LEVY, J. I. Health and climate benefits of offshore wind facilities in the Mid-Atlantic United States. *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 7, p. 074019, 2016.

CAO, S.; BRYCESON, K.; HINE, D. Improving supply chain risk visibility and communication with a multi-view risk ontology. *Supply Chain Forum: An International Journal*, v. 21, n. 1, p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1717990>. Acesso em: 14 maio 2025.

CHIPINDULA, Jesuina; BOTLAGUDURU, Venkata Sai Vamsi; DU, Hongbo; KOMMALAPATI, Raghava Rao; HUQUE, Ziaul. Life cycle environmental impact of onshore and offshore wind farms in Texas. *Sustainability*, v. 10, n. 6, p. 2022, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10062022>. Acesso em: 14 maio 2025.

CHRISTIANSEN, N., CARPENTER, J. R., DAEWEL, U., SUZUKI, N. & SCHRUM, C. The large-scale impact of anthropogenic mixing by offshore wind turbine foundations in the shallow North Sea. *Frontiers in Marine Science*, v. 10, p. 1178330, 2023.

COOLEN, J. W. P., VANAVERBEKE, J., DANNHEIM, J., GARCIA, C., BIRCHENOUGH, S. N. R., KRONE, R. & BEERMANN, J. Generalized changes of benthic communities after construction of wind farms in the southern North Sea. *Journal of Environmental Management*, v. 315, p. 115173, 2022.

CREANE, Shauna; O'SHEA, Michael; COUGHLAN, Mark; MURPHY, Jimmy. Morphological modelling to investigate the role of external sediment sources and wind and wave-induced flow on sand bank sustainability: an Arklow Bank case study. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 11, n. 10, p. 2027, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse11102027>. Acesso em: 14 maio 2025.

CRESCI, A., ZHANG, G., DURIF, C. M. F., LARSEN, T., SHEMA, S., SKIFTEVISK, A. B. & BROWMAN, H. I. Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae are attracted by low-frequency noise simulating that of operating offshore wind farms. *Communications Biology*, v. 6, n. 1, p. 353, 2023.

CRONIN, Yvonne; CUMMINS, Valerie; WOLSZTYNSKI, Eric. Public perception of offshore wind farms in Ireland. *Marine Policy*, v. 134, p. 104814, 2021.

DA CRUZ, Fabrício Nascimento. Gestão da Sustentabilidade e Gestão de Projetos: caminhos para integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) na política das organizações. *Revista Interdisciplinar de Gestão Social*, v. 9, n. 3, 2020.

PENA, L. V. L. P., TAELEMAN, S. E., BAS, B., STAES, J., MERTENS, J., CLAVREUL, J., PRÉAT, N. & DEWULF, J. Monetized (socio-) environmental handprint and footprint of an offshore windfarm in the Belgian Continental Shelf: An assessment of local, regional and global impacts. *Applied Energy*, v. 353, p. 122123, 2024.

DESALEGN, B., GEBEYEHU, D., TAMRAT, B., TADIWOSE, T. & LATA, A. Onshore versus offshore wind power trends and recent study practices in modeling of wind turbines' life-cycle impact assessments. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 17, p. 100691, 2023.

ELKINGTON, John. Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. *Environmental quality management*, v. 8, n. 1, p. 37-51, 1998.

BRASIL, EPE Energia Eólica Offshore. *Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima*. Empresa de Pesquisa Energética, p. 1-140, 2020.

ESTABROOK, B., TIELENS, J. T., RAHAMAN, A., PONIRAKIS, D. W., CLARK, C. W. & RICE, A. N. Dynamic spatiotemporal acoustic occurrence of North Atlantic right whales in the offshore Rhode Island and Massachusetts Wind Energy Areas. *Endangered Species Research*, v. 49, p. 115-133, 2022.

FIRMENICH, Jennifer. Customisable framework for project risk management. *Construction Innovation*, v. 17, n. 1, p. 68-89, 2017.

FROLOVA, Marina; PÉREZ-PÉREZ, Belén; HERRERO-LUQUE, Daniel. Diverse responses of coastal communities to offshore wind farming development in Southern Spain. *Moravian Geographical Reports*, v. 30, n. 4, p. 324-339, 2022.

GRUBER, Thomas R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, v. 5, n. 2, p. 199-220, 1993.

GUIZZARDI, G. *Ontological foundations for structural conceptual models*. Tese (Doutorado) – University of Twente, Telematica Instituut / Centre for Telematics and Information Technology (CTIT), Enschede, 2005.

HATTAM, C.; HOOPER, T.; PAPATHANASOPOULOU, E. A well-being framework for impact evaluation: the case of the UK offshore wind industry. *Marine Policy*, v. 78, p. 122–131, 2017.

HÉLÈNE, B., MARJOLAINE, F., CHIRSTELLE, L. G. & FLOC'H, P. L. Vulnerability and spatial competition: The case of fisheries and offshore wind projects. *Ecological Economics*, v. 197, p. 107454, 2022.

HOOPER, Tara; HATTAM, Caroline; AUSTEN, Melanie. Recreational use of offshore wind farms: Experiences and opinions of sea anglers in the UK. *Marine Policy*, v. 78, p. 55-60, 2017.

HUANG, L., XU, X. M., YANG, L. L., HUANG, S. Q., ZHANG, X. H. & ZHOU, Y. L. Underwater noise characteristics of offshore exploratory drilling and its impact on marine mammals. *Frontiers in Marine Science*, v. 10, p. 1097701, 2023.

IEA, P. *World energy outlook 2022*. Paris, France: International Energy Agency (IEA), 2022.

**IRENA**. *Renewable power generation costs in 2022*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2023. ISBN 978-92-9260-544-5. Disponível em: <https://www.irena.org/publications>

IWATA, Kengo; KYOI, Shinsuke; USHIFUSA, Yoshiaki. Public attitudes of offshore wind energy in Japan: An empirical study using choice experiments. *Cleaner Energy Systems*, v. 4, p. 100052, 2023.

JENKINS, Jamie; MALHO, Maria; HYYTIÄINEN, Kari. Regionally extended shared socioeconomic pathways for the offshore wind industry in Finland. *Energy, Ecology and Environment*, v. 7, n. 6, p. 533-545, 2022.

JHAN, Hao-Tang; LEE, Hsin-Ta; TING, Kuo-Huan. The potential compatibility of designating offshore wind farms within wider marine protected areas—conservation of the Chinese white dolphin regarding fishers' perception. *Fishes*, v. 7, n. 4, p. 195, 2022.

JIANG, Zhiyu. Installation of offshore wind turbines: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 139, p. 110576, 2021.

KERMAGORET, Charlene; LEVREL, Harold; CARLIER, Antoine. The impact and compensation of offshore wind farm development: analysing the institutional discourse from a French case study. *Scottish Geographical Journal*, v. 130, n. 3, p. 188-206, 2014.

KNOPPER, Loren D.; OLLSON, Christopher A. Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environmental health*, v. 10, p. 1-10, 2011.

KULKARNI, Siddharth Suhas; EDWARDS, David John. A bibliometric review on the implications of renewable offshore marine energy development on marine species. *Aquaculture and Fisheries*, v. 7, n. 2, p. 211-222, 2022.

LASKOWICZ, Tomasz. The perception of polish business stakeholders of the local economic impact of maritime spatial planning promoting the development of offshore wind energy. *Sustainability*, v. 13, n. 12, p. 6755, 2021.

LAZAKIS, Iraklis; KOUGIOUMTZOGLOU, Maria A. Assessing offshore wind turbine reliability and availability. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, v. 233, n. 1, p. 267-282, 2019.

LI, C., MOGOLLÓN, J. M., TUKKER, A. & STEUBING, B. Environmental impacts of global offshore wind energy development until 2040. *Environmental Science & Technology*, v. 56, n. 16, p. 11567-11577, 2022.

LUCENA, Juliana de Almeida Yanaguizawa; LUCENA, Klayton Ângelo Azevedo. Wind energy in Brazil: an overview and perspectives under the triple bottom line. *Clean Energy*, v. 3, n. 2, p. 69–84, jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ce/zkz001>. Acesso em: 14 maio 2025.

METHRATTA, Elizabeth T.; LIPSKY, Andrew; BOUCHER, Jason M. Offshore wind project-level monitoring in the Northeast US continental shelf ecosystem: evaluating the potential to mitigate impacts to long-term scientific surveys. *Frontiers in Marine Science*, v. 10, p. 1214949, 2023.

MYLOPOULOS, John. Conceptual modelling and Telos. Conceptual modelling, databases, and CASE: An integrated view of information system development, p. 49-68, 1992.

NIE, X., MA, H., CHEN, S., LI, K., YU, Z., WANG, H. & WEI, Z. Offshore Wind Farms and Tourism Development Relationship to Energy Distribution Justice for the Beibu Gulf, China. *Land*, v. 13, n. 5, p. 678, 2024.

OSMAN, Ahmed I.; CHEN, Lin; YANG, Mingyu; MSIGWA, Goodluck; FARGHALI, Mohamed; FAWZY, Samer; ROONEY, David W.; YAP, Pow-Seng. Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 21, p. 741–764, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01532-8>. Acesso em: 14 maio 2025.

OZORIO, L. V., HOMMA, K., FERREIRA, L., BAIÃO, F., RIBAS, P.. Estado da Arte da Indústria Eólica Offshore: Uma Análise Abrangente do Ciclo de Vida e suas Implicações Socioambientais e Econômicas. *Anais do XLIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP 2024)*, Porto Alegre, pp. 1-15. DOI: 10.14488/enegep2024\_tn\_st\_419\_2062\_47811

PEREIRA DE AZEVEDO, Sylvester Stallone. *Avaliação do potencial eólico offshore na costa brasileira*. 2022. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2022. ROSA, Eugene A. Metatheoretical foundations for post-normal risk. *Journal of risk research*, v. 1, n. 1, p. 15-44, 1998.

RAMOS JÚNIOR, M. J.; MEDEIROS, D. L.; ALMEIDA, E. S. *Blade manufacturing for onshore and offshore wind farms: the energy and environmental performance for a case study in Brazil*. *Gestão & Produção*, v. 30, e12122, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e12122>.

RYDIN, Yvonne; NATARAJAN, Lucy; LEE, Maria; LOCK, Simon. Local voices on renewable energy projects: the performative role of the regulatory process for major offshore infrastructure in England and Wales. *Local Environment*, v. 23, n. 5, p. 565–581, 2018.

SALES, Tiago Prince; BAIÃO, Fernanda; GUIZZARDI, Giancarlo; ALMEIDA, João Paulo A.; GUARINO, Nicola; MYLOPOULOS, John. The common ontology of value and risk. In: *Conceptual Modeling: 37th International Conference, ER 2018, Xi'an, China, October 22–25, 2018, Proceedings 37*. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 121–135.

SARRAIPA et al. 4th International IEEE Conference Intelligent Systems. [s.l.]: John Wiley, 2009.

SCHELD, Andrew M.; BECKENSTEINER, Jennifer; MUNROE, Daphne M.; POWELL, Eric N.; BORSETTI, Sarah; HOFMANN, Eileen E.; KLINCK, John M. The Atlantic surfclam fishery and offshore wind energy development: 2. Assessing economic impacts. *ICES Journal of Marine Science*, v. 79, n. 6, p. 1801–1814, 2022.

SERPETTI, Natalia; BENJAMINS, Steven; BRAIN, Stevie; COLLU, Maurizio; HARVEY, Bethany J.; HEYMANS, Johanna J.; HUGHES, Adam D.; RISCH, Denise; ROSINSKI, Sophia; WAGGITT, James J.; WILSON, Ben. Modeling small scale impacts of multi-purpose

platforms: an ecosystem approach. *Frontiers in Marine Science*, v. 8, p. 694013, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.694013>. Acesso em: 14 maio 2025.

SHCHERBAKOV, Maxim; SHCHERBAKOVA, Nataliya; BREBELS, Adriaan; JANOVSKY, Timur; KAMAEV, Valery. Lean data science research life cycle: a concept for data analysis software development. In: *Knowledge-Based Software Engineering: 11th Joint Conference, JCKBSE 2014, Volgograd, Russia, September 17–20, 2014. Proceedings 11*. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 708–716.

SHE, Jun; BLAUW, Anouk; LAAKSO, Lauri; MOURRE, Baptiste; SCHULZ-STELLENFLETH, Johannes; WEHDE, Henning. Fit-for-purpose information for offshore wind farming applications—Part I: identification of needs and solutions. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 11, p. 1630, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse11081630>. Acesso em: 14 maio 2025.

SMITH, Hollie; SMYTHE, Tiffany; MOORE, Amelia; BIDWELL, David; McCANN, Jen. The social dynamics of turbine tourism and recreation: introducing a mixed-method approach to the study of the first US offshore wind farm. *Energy Research & Social Science*, v. 45, p. 307–317, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.020>. Acesso em: 14 maio 2025.

SMYTH, Katie; CHRISTIE, Nikki; BURDON, Daryl; ATKINS, Jonathan P.; BARNES, Richard; ELLIOTT, Michael. Renewables-to-reefs? – Decommissioning options for the offshore wind power industry. *Marine Pollution Bulletin*, v. 90, n. 1–2, p. 247–258, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.045>. Acesso em: 14 maio 2025.

THOMÉ, Antônio Márcio Tavares; SCAVARDA, Luiz Felipe; SCAVARDA, Annibal José. Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, v. 27, n. 5, p. 408-420, 2016.

TOTA-MAHARAJ, Kiran; MCMAHON, Alexander. Resource and waste quantification scenarios for wind turbine decommissioning in the United Kingdom. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, v. 3, n. 2, p. 117-144, 2021.

UNITED NATIONS. What is renewable energy? United Nations, s.d. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>. Acesso em: 15 maio 2025

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. Renewable energy explained. U.S. Energy Information Administration. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>. Acesso em: 15 maio 2025.

VARGAS, Soraida Aguilar; ESTEVE, Gheisa Roberta Telles; MAÇAIRA, Paula Medina; BASTOS, Bruno Quaresma; OLIVEIRA, Fernando Luiz Cyrino; SOUZA, Reinaldo Castro. Wind power generation: a review and a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, v. 218, p. 850–870, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.271>. Acesso em: 14 maio 2025.

VOLTAIRE, Louinord; LOUREIRO, Maria L.; KNUDSEN, Camilla; NUNES, Paulo A.L.D. The impact of offshore wind farms on beach recreation demand: policy intake from an economic study on the Catalan coast. *Marine Policy*, v. 81, p. 116–123, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.03.010>. Acesso em: 14 maio 2025.

WEISER, Emily L.; OVERTON, Cory T.; DOUGLAS, David C.; CASAZZA, Michael L.; FLINT, Paul L. Geese migrating over the Pacific Ocean select altitudes coinciding with offshore wind turbine blades. *Journal of Applied Ecology*, v. 61, n. 5, p. 951–962, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14512>. Acesso em: 15 maio 2025.

WERNER, Karl M.; HASLOB, Holger; REICHEL, Anna F.; GIMPEL, Antje; STELZENMÜLLER, Vanessa. Offshore wind farm foundations as artificial reefs: the devil is in the detail. *Fisheries Research*, v. 272, p. 106937, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106937>. Acesso em: 15 maio 2025.

WILLIS-NORTON, Ellen; MANGIN, Tracey; SCHROEDER, Donna M.; CABRAL, Reniel B.; GAINES, Steven D. A synthesis of socioeconomic and sociocultural indicators for assessing the impacts of offshore renewable energy on fishery participants and fishing communities. *Marine Policy*, v. 161, p. 106013, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.106013>. Acesso em: 15 maio 2025.

XU, Yan; YANG, Kun; ZHAO, Guohao. The influencing factors and hierarchical relationships of offshore wind power industry in China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 37, p. 52329–52344, 2021.

YUAN, Weiyu; FENG, Jing-Chun; ZHANG, Si; SUN, Liwei; CAI, Yanpeng; YANG, Zhifeng; SHENG, Songwei. Floating wind power in deep-sea area: life cycle assessment of environmental impacts. *Advances in Applied Energy*, v. 9, p. 100122, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100122>. Acesso em: 15 maio 2025.

# Apêndice 1

19/05/2025, 13:25

Understanding wind offshore industry impacts

## Understanding wind offshore industry impacts

\* Indica uma pergunta obrigatória

---

1. The information provided in this questionnaire will be treated with the utmost confidentiality and used exclusively for academic purposes. By proceeding with the completion of this questionnaire, you agree to participate in the research and authorize the use of the information provided for the purposes described above. \*

*Marcar apenas uma oval.*

Yes

No

### Personal and professional details

2. First name \*

---

3. Last name \*

---

4. Company/Institution \*

---

5. Job title \*

---

## Apêndice 2

Análise de conteúdo do restante dos impactos identificados na literatura através da RSL:

### LI3. Redução das emissões de CO<sub>2</sub>

Segundo Desalegn et al. (2023) turbinas eólicas *offshore* possuem uma pegada de carbono relativamente maior em comparação com as turbinas *onshore*, especialmente devido ao uso intensivo de materiais como aço, concreto, fibra de vidro e metais raros como neodímio e disprósio. No entanto, mesmo com essa pegada de carbono, a energia eólica *offshore* ainda é significativamente menos poluente em comparação com fontes de energia convencionais, como carvão e gás natural.

### LI4. Mudança no clima local

A diminuição da velocidade do vento e o aumento da energia cinética ao redor das turbinas pode acarretar a redução da umidade específica local e leve aumento na temperatura do parque eólico (AKHTAR; GEYER; SCHRUM, 2024).

### LI5. Ruídos subaquáticos

Segundo Huang et al. (2023) a etapa de construção de uma usina eólica *offshore* produz ruídos subaquáticos, gerando impacto sobre mamíferos marinhos: danos auditivos e mudanças comportamentais nos animais. Osman et al. (2023) afirmam que ruídos subaquáticos podem afetar a comunicação e os padrões de movimentação de cetáceos e outros organismos marinhos. Esse impacto é particularmente relevante durante as fases de construção, quando o nível de ruído é mais elevado. Estabrook et al. (2022) afirmam que o ruído submarino gerado durante a construção e operação das turbinas eólicas pode reduzir o espaço de comunicação das baleias, interferindo na sua capacidade de se comunicar e se localizar, o que é crítico para sua sobrevivência. Já segundo CRESCI et al. (2023), ao operarem, as turbinas eólicas produzem ruídos subaquáticos que podem alcançar distâncias de quilômetros a partir da fonte sonora. A intensidade do ruído aumenta com a velocidade do vento e o tamanho das turbinas. Contudo, ainda existem grandes lacunas no nosso conhecimento sobre as respostas dos animais marinhos ao som e à vibração causados pelas turbinas em operação.

### LI6. Eutrofização

Yuan et al. (2023) abordam o processo de eutrofização resultante da presença de atividade eólica *offshore*. A eutrofização é um processo no qual nutrientes, principalmente os compostos por nitrogênio e fósforo, são liberados em excesso na água, resultando em um crescimento acelerado de algas e outras plantas aquáticas. Este desequilíbrio, por sua vez, pode acarretar a diminuição do oxigênio da água e, conseqüentemente, na morte de organismos marinhos.

A atividade eólica *offshore* contribui para a eutrofização da água principalmente por conta do cobre presente nos cabos submarinos, que ao serem liberados na água ao fim do seu ciclo de vida, aceleram o processo de eutrofização. Uma das possíveis mitigações sugeridas pelos autores (YUAN et al., 2023) é o investimento no processo de reciclagem desses cabos, antes que eles cheguem a liberar estes compostos no mar.

### **LI7. Geração de campos eletromagnéticos**

Campos eletromagnéticos gerados pelos cabos submarinos podem interferir no comportamento de espécies sensíveis, como tubarões e enguias, afetando sua navegação e padrões migratórios (KULKARNI; EDWARDS, 2022).

### **LI8. Mudança na estratificação vertical das águas (LI8)**

De acordo com CHRISTIANSEN et al. (2023), as fundações das turbinas eólicas *offshore* induzem mudanças significativas na estratificação vertical das águas, afetando a distribuição de nutrientes e outros processos biogeoquímicos essenciais para a manutenção do ecossistema marinho. Além disso, ocorrem alterações na velocidade das correntes e na circulação de grandes massas de água, o que pode impactar as dinâmicas costeiras e sedimentares, bem como influenciar a produção primária e secundária dos organismos marinhos.

Já Ajmi et al. (2022) destacam que a turbulência gerada a jusante das fundações das turbinas tem um efeito direto sobre o movimento vertical e a dispersão das larvas no ambiente marinho. As fundações podem atuar tanto como barreiras físicas quanto como pontos de dispersão para as larvas, alterando potencialmente a distribuição de espécies bentônicas e a estrutura das comunidades no fundo do mar.

Por sua vez, She et al. (2023b) mencionam que os parques eólicos *offshore* influenciam também a dinâmica do transporte de sedimentos e os fluxos de calor e momentum entre o

oceano e a atmosfera. As turbinas alteram o fluxo de vento e as correntes oceânicas, modificando processos físicos, como a turbulência e a estratificação vertical. Essas mudanças podem ter impactos duradouros na qualidade da água e na morfologia costeira, promovendo alterações nas características do ambiente marinho ao longo do tempo.

### **LI9. Efeito esteira (*wake effect*)**

O efeito esteira, também conhecido como *wake effect* se trata de um fenômeno físico que acontece a jusante das turbinas eólicas instaladas no oceano. A velocidade do vento sobre o mar chega a ser 25% maior do que a em terra (AKHTAR; GEYER; SCHRUM, 2024). Os autores também afirmam que os parques eólicos são geralmente agrupados no mar de forma que os recursos eólicos sejam mais bem aproveitados e os custos operacionais e de infraestrutura minimizados. Contudo, o mesmo agrupamento de turbinas resulta na geração de esteiras de vento que, por sua vez, são áreas aonde a velocidade do vento é reduzida e há mais turbulência. O efeito esteira tem o poder de diminuir a eficiência energética das turbinas, uma vez que diminui potencialmente a velocidade do vento e pode chegar até a mudar a direção do vento próximo às turbinas. Além disso, há evidências de que a presença de esteiras de vento também pode modificar o microclima local. A dimensão das turbinas e a forma como elas se agrupam no mar afetam o seu desempenho, resultando em uma redução do fator de capacidade de produção em 20%, que por sua vez acarreta maiores custos de produção, menor eficiência energética e, conseqüentemente, perdas econômicas (AKHTAR; GEYER; SCHRUM, 2022).

### **LI10. Criação de zonas de exclusão de pesca**

De acordo com Coolen et al. (2022b), a exclusão da pesca de arrasto nas áreas circundantes dos parques eólicos *offshore* exerce um impacto significativo nas comunidades bentônicas, resultando em mudanças na sua composição. A ausência dessa atividade permite uma redução substancial nas perturbações físicas causadas pela pesca de arrasto, favorecendo a recuperação da biodiversidade local e promovendo um aumento na biomassa das espécies bentônicas. Esse efeito restaurador nas comunidades bentônicas é particularmente relevante, já que as áreas de exclusão atuam como refúgios ecológicos, possibilitando a regeneração de habitats anteriormente afetados pela pesca intensa. She et al. (2023b) também mencionam que os parques eólicos *offshore* têm o potencial de impactar habitats ecológicos ao servirem como novos habitats artificiais, conectando ecossistemas anteriormente separados. Isso inclui a

criação de zonas de exclusão de pesca ao redor das turbinas, o que pode permitir a regeneração de algumas espécies e promover a biodiversidade local.

### **LI11. Poluição e contaminação**

Segundo She et al. (2023b), a emissão de metais pesados devido aos sistemas anticorrosivos presentes em estruturas como fundações e cabos é um fator importante para a poluição e contaminação da água no local em que tais estruturas operam. Metais como alumínio, zinco e cádmio são liberados ao longo do tempo, podendo se acumular em sedimentos e habitats marinhos, afetando os ecossistemas locais.

### **LI12. Danos ao fundo do mar**

Os danos ao fundo do mar que ocorrem na etapa do descomissionamento estão diretamente relacionados a um fenômeno que ocorre na etapa de instalação das turbinas no oceano: a criação de recifes artificiais. Segundo Smyth et al. (2015), durante a etapa de instalação o meio marinho muda e atinge um novo equilíbrio. Ao descomissionar as plataformas, uma nova perturbação é imposta a este mesmo meio que se adaptou ao longo da vida útil do parque eólico, o que causa um novo estresse no ambiente e afeta a biota local. Desta forma, a remoção completa da plataforma e da usina eólica podem ser mais prejudiciais ao meio ambiente do que a remoção parcial, que ainda deixa algumas partes no local.

### **LI13. Área de proteção marinha**

As áreas de proteção marinha (MPA) são consideradas como as ferramentas mais eficazes para garantir a estabilidade e resiliência de ambientes e biotas marinhas (JHAN; LEE; TING, 2022). Sendo assim, a presença de parques eólicos serve como mecanismo para amenizar os conflitos entre pesca e conservação marinha. Além de proporcionar o efeito de recifes artificiais, promovendo a manutenção da biodiversidade local, quando inseridos em áreas de proteção marinha, parques eólicos *offshore* restringem a atividade pesqueira, intensificando a preservação da biodiversidade local.

### **LI14. Diminuição da emissão de poluentes**

Segundo CHIPINDULA et al. (2018a) e BUONOCORE et al. (2016), parques eólicos são uma alternativa eficaz na redução de emissões de gases poluentes e de efeito estufa. Além disso, as energias renováveis contribuem para a mitigação das mudanças climáticas e

promovem benefícios à saúde pública, pois diminuem a poluição do ar gerada por usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis, melhorando a qualidade do ar. Contudo, ainda assim, CHIPINDULA et al. (2018a) afirmam que ser importante se atentar aos subprocessos da etapa de fabricação, onde há maior emissão de CO<sub>2</sub> devido ao consumo de recursos naturais e de energia oriunda de combustíveis fósseis. Além do CO<sub>2</sub>, gases como dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio são produzidos principalmente na etapa da produção de aço, que é bastante utilizado em turbinas eólicas. Contudo, a quantidade que é liberada na indústria eólica *offshore* ainda assim é significativamente menor do que a oriunda de fontes fósseis. Outro fator importante que os autores reiteram é de que turbinas maiores tendem a emitir menos gases poluentes.

### **LI15. Aumento na segurança energética**

Um dos impactos positivos que a indústria eólica *offshore* promove é servir de fonte de energia para a comunidade local na qual está inserida (KERMAGORET; LEVREL; CARLIER, 2014). O estudo em questão argumenta que a produção de energia elétrica proveniente de parque eólicos auxilia na superação da dependência energética da região em outras fontes. Respondentes de pesquisas também enxergam o funcionamento de parques eólicos *offshore* como um caminho para menos dependência energética em outras fontes e outros países (CRONIN; CUMMINS; WOLSZTYNSKI, 2021).

### **LI17. Geração de resíduos ao fim do descomissionamento**

A maioria dos resíduos produzidos por uma turbina eólica *offshore* são o aço e o ferro, devido à sua participação na composição das fundações (TOTA-MAHARAJ; MCMAHON, 2021). Contudo, o componente em que há menor reaproveitamento de material ou potencial de reciclagem são as pás eólicas, uma vez que são compostas principalmente de fibra de vidro ou compósitos de carbono. Como se trata de materiais em que a reciclabilidade é baixa, as pás trazem o maior problema de tratamento de resíduos da indústria eólica. Além disso, a quantidade de resíduos e seu consequente impacto varia de acordo com o tamanho da turbina e a distância da costa e profundidade que ela é instalada (TOTA-MAHARAJ; MCMAHON, 2021).

### **LI20. Prejuízo às pesquisas científicas da região**

A presença de usinas eólicas *offshore* cria áreas inacessíveis, muda habitats e, conseqüentemente, afeta a coleta de dados importantes para a atividade pesqueira. O

deslocamento de áreas de amostragem devido à presença de infraestrutura eólica pode comprometer a representatividade e a eficácia dos métodos de pesquisa existentes, como o design estatístico das pesquisas (METHRATTA; LIPSKY; BOUCHER, 2023).

#### **LI24. Redução no número de viagens de pesca e aumento em seus custos operacionais**

Segundo SCHELD et al. (2022) devido à necessidade de deslocamento para outras áreas de pesca devido às restrições impostas pelos parques eólicos, houve um aumento nos custos de operação, especialmente em termos de combustível e tempo gasto no mar. A mudança das áreas de pesca, deixando portos mais longe da atividade acarreta um maior custo em transporte.

#### **LI25. Coexistência e competição espacial com a pesca**

A competição pelo espaço marítimo pode resultar em perda de receita para pescadores artesanais, especialmente para aqueles com menor capacidade de se deslocar para áreas mais distantes de fazendas eólicas *offshore* (HÉLÈNE et al., 2022). Segundo WILLIS-NORTON et al. (2024b), a maneira pela qual os pescadores são impedidos de acessarem certas áreas de pesca dependem diretamente de fatores estruturais como a configuração e disposição das turbinas, a estrutura delas e a disposição dos cabos (que podem vir a emaranhar com as redes de pesca). A coexistência entre turbinas e áreas de pesca pode ser tanto algo positivo como negativo. Positivo pois a área do parque eólico pode ser considerada como área de proteção marinha, gerando aumento de espécies super exploradas e subsídios para larvas, o que gera impactos positivos para a pesca. Negativos pois a instalação destes parques pode causar o deslocamento da atividade pesqueira para áreas improdutivas mais distantes do porto.

#### **LI26. Exclusão de áreas de pesca**

Há diferentes percepções de pescadores, tanto comerciais quanto recreativos, advindos de diferentes áreas do Reino Unido (HOOPER; HATTAM; AUSTEN, 2017). Contudo, a generalização de experiências é limitada, uma vez que há diversas percepções para uma amostragem relativamente pequena de respostas da pesquisa.

Os pescadores marítimos consideram usinas eólicas *offshore* como algo positivo, uma vez que, ao criarem recifes artificiais e novos habitats marinhos, funcionam como um recurso de pesca e afastam a pesca comercial, trazendo benefícios para a pesca recreativa (HOOPER; HATTAM; AUSTEN, 2017). No entanto, WERNER et al. (2024b) afirmam que há uma forte discussão se os parques eólicos devem ser abertos para a pesca comercial ou se devem ser mantidos como locais de preservação marinha.

### **LI27. Impacto sonoro para a população local**

Apesar de apontado como um impacto decorrente da operação de usinas eólicas *offshore* no trabalho de (JENKINS; MALHO; HYYTIÄINEN, 2022) os autores apenas citam e não se aprofundam sobre esse efeito. O que se sabe é que, apesar de menos nocivo à população local do que em usinas eólicas *onshore*, devido à maior distância do litoral, os ruídos sonoros decorrentes das atividades eólicas *offshore* ainda assim podem causar desconforto. Contudo, com a tendência de parques cada vez mais distantes da costa, é natural que esse impacto seja cada vez menos relevante (KNOPPER; OLLSON, 2011).

### **LI28. Aceitação social das turbinas**

A instalação e operação de parques eólicos *offshore* pode estimular conflitos e oposição de comunidades costeiras que, por sua vez, possuem valores socioculturais atrelados ao mar, que é de grande importância econômica para essas populações (FROLOVA; PÉREZ-PÉREZ; HERRERO-LUQUE, 2022). Muitas comunidades, principalmente em zonas rurais da costa, ainda dependem diretamente da pesca, do turismo e da agricultura e, por conta disso, desenvolveram resiliência para adaptarem-se e enfrentarem as eventuais mudanças na costa ao longo dos anos e dos avanços da tecnologia. A não aceitação social dos parques eólicos está relacionada à percepção de alteração da paisagem marinha e às dúvidas sobre os benefícios que as cidades costeiras receberão com a instalação dessas tecnologias. A pesquisa de CRONIN et al. (2021) é, por sua vez, direcionada para um público mais abrangente, adquirindo assim resultados diferentes dos autores previamente citados. Para o público entrevistado, há grande aceitação da instalação de parques eólicos na área estudada (Irlanda), e isto se deve principalmente à criação de empregos atrelado a essa indústria. Além disso, o público também é a favor devido ao fato da energia eólica auxiliar a redução de emissões de carbono do país, ser uma energia limpa e diminuir a dependência na aquisição de energia estrangeira. Logo, pode-se concluir que a aceitação social das turbinas depende de público para público e de acordo com os contextos sociais e culturais deles. De todo modo, a realização do planejamento do espaço marinho sem considerar atores locais e suas particularidades sociais e culturais realça o sentimento de desaprovação da operação dos parques eólicos pois afasta a população local do poder de tomada de decisão (FROLOVA; PÉREZ-PÉREZ; HERRERO-LUQUE, 2022).

## Apêndice 3

Tabela A1: Detalhamento das experiências de risco para cada fator de risco. Fonte: elaboração própria

| Índice    | Etapa do ciclo de vida             | Tripé da sustentabilidade | Fator de risco                               | Experiência de risco   |
|-----------|------------------------------------|---------------------------|--|--|
| FR2 (LI4) | Operação e Manutenção              | Ambiental                 | Mudança no clima local                       | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] operação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] aumento da energia cinética diminuição da velocidade do vento ao redor das turbinas (causa diretamente)<br>[Evento de perda] afeta o transporte de calor local (resulta em)<br>[Situação de perda] aumento de precipitação local e mudança no clima da superfície do mar (afeta negativamente)<br>[Intenção] ODS13 - ação contra mudança global do clima   |
| FR3 (LI5) | Instalação                         | Ambiental                 | Ruídos subaquáticos                          | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] instalação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] barulho durante a fase do bate estaca (causa diretamente)<br>[Evento de perda] danos auditivos e dificuldade de comunicação entre animais da mesma espécie (resulta em)<br>[Situação de perda] mudanças comportamentais em animais marinhos (afeta negativamente)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 (vida na água)  |
| FR4 (LI6) | Instalação e Operação e Manutenção | Ambiental                 | Eutrofização                                 | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] instalação e operação de cabos submarinos para a transmissão de energia (causa diretamente)<br>[Evento de risco] liberação de cobre para a água (causa diretamente)<br>[Evento de perda] processo de eutrofização - falta de oxigênio na água (resulta em)<br>[Situação de perda] morte de peixes e outros organismos vivos locais (afeta negativamente)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 (vida na água)   |
| FR5 (LI7) | Instalação e Operação e Manutenção | Ambiental                 | Geração de campos eletromagnéticos           | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] instalação e operação de cabos submarinos para a transmissão de energia (causa diretamente)<br>[Evento de risco] geração de campos eletromagnéticos (causa diretamente)<br>[Evento de perda] interferência nos comportamentos de migração e orientação de espécies marinhas devido aos campos eletromagnéticos (resulta em)<br>[Situação de perda] alteração na biodiversidade (afeta negativamente)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 (vida na água) |
| FR6 (LI8) | Instalação e Operação e Manutenção | Ambiental                 | Mudança na estratificação vertical das águas | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] instalação e operação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] modificação do fluxo de vento e de corrente (causa diretamente)<br>[Evento de perda] alteração de processos físicos como a turbulência e a estratificação vertical dos oceanos (resulta em)<br>[Situação de perda] impactos na qualidade da água e morfologia costeira  |

|                |                                    |                       |  |  |
|----------------|------------------------------------|-----------------------|--|--|
|                |                                    |                       |  | ao longo do tempo (afeta negativamente)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 (vida na água)  |
| FR7<br>(LI9)   | Operação e Manutenção              | Ambiental e Econômica | Efeito esteira                                   | [Agente] Concessionária/Empresa de energia<br>[Evento de ameaça] operação das turbinas eólicas (causa diretamente)<br>[Evento de risco] diminuição da velocidade do vento próximo às turbinas (causa diretamente)<br>[Evento de perda] maior turbulência próximo às turbinas (resulta em)<br>[Situação de perda] menor produção de energia cinética (afeta negativamente)<br>[Intenção] eficiência energética  |
| FR8<br>(LI11)  | Instalação e Operação e Manutenção | Ambiental             | Poluição e contaminação das águas                | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] instalação e operação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] presença de cabos e fundações com anticorrosivos (causa diretamente)<br>[Evento de perda] liberação de poluentes como alumínio, zinco e cádmio (resulta em)<br>[Situação de perda] poluição e contaminação da água com metais pesados (afeta negativamente)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 (vida na água) |
| FR9<br>(LI12)  | Descomissionamento                 | Ambiental             | Danos ao fundo do mar                            | (Agente) Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] descomissionamento total (causa diretamente)<br>[Evento de risco] remoção completa das estruturas (causa diretamente)<br>[Evento de perda] impacto nos habitats marinhos (resulta em)<br>[Situação de perda] perda de biodiversidade local (afeta negativamente)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14  |
| FR10<br>(LI18) | Instalação e Operação e Manutenção | Social                | Alteração na paisagem                            | [Agente] População local<br>[Evento de ameaça] instalação e operação de turbinas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] alteração na paisagem (causa diretamente)<br>[Evento de perda] desaprovação por parte das comunidades costeiras (resulta em)<br>[Situação de perda] falta de aceitação social das turbinas (afeta negativamente)<br>[Intenção] bem-estar da comunidade local   |
| FR16<br>(LI17) | Descomissionamento                 | Ambiental             | Geração de resíduos ao fim do descomissionamento | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento de ameaça] descomissionamento de plataformas eólicas <i>offshore</i> (causa diretamente)<br>[Evento de risco] geração de resíduos (causa diretamente)<br>[Evento de perda] dificuldade na reciclagem por conta dos materiais envolvidos (resulta em)<br>[Situação de perda] baixo nível de reciclagem devido às propriedades dos materiais envolvidos (afeta negativamente)<br>[Intenção] Produção e consumo sustentáveis - ligada a ODS12                  |
| FR17<br>(LI27) | Operação e Manutenção              | Social                | Impacto sonoro para a população local            | [Agente] População local<br>[Evento de ameaça] operação de pás eólicas (causa diretamente)<br>[Evento de risco] passagem do ar pelas pás eólicas (causa diretamente)<br>[Evento de risco] ruídos aerodinâmicos (causa diretamente)<br>[Evento de perda] impacto sonoro para a população local (resulta em)<br>[Situação de perda] falta de aceitação social das turbinas (afeta negativamente)<br>[Intenção] bem-estar da comunidade local   |

Tabela A2: Detalhamento das experiências de valor para cada fator de valor. Fonte: elaboração própria

| Índice     | Etapa do ciclo de vida             | Tripé da sustentabilidade     | Fator de valor                        | Experiência de valor   |
|------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| FV3 (LI3)  | Operação e Manutenção              | Ambiental                     | Redução de emissões de CO2            | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento gatilho] Operação das turbinas eólicas no oceano (causa diretamente)<br>[Evento de valor] geração de eletricidade com emissões de carbono extremamente baixas (resulta em)<br>[Evento de impacto] baixa pegada de carbono (acarreta/causa)<br>[Resultado impactante] menos impacto ambiental e poluição (impacta)<br>[Intenção] Ação contra a mudança global do clima ODS13   |
| FV4 (LI10) | Instalação e Operação e Manutenção | Ambiental, social e econômica | Criação de zonas de exclusão de pesca | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento gatilho] Instalação e operação de turbinas eólicas offshore (causa diretamente)<br>[Evento de valor] criação de zonas de exclusão de pesca ao redor da turbina (causa diretamente)<br>[Evento de valor] exclusão da atividade de pesca nas regiões circundantes dos parques eólicos (causa diretamente)<br>[Evento de valor] redução das perturbações causadas pela pesca (causa diretamente)<br>[Evento de valor] mudança na composição das comunidades bentônicas (causa diretamente)<br>[Evento de impacto] regeneração de habitats bentônicos (resulta em)<br>[Resultado impactante] criação de refúgios ecológicos em áreas antes super exploradas (impacta)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 (vida na água) |
| FV5 (LI13) | Instalação e Operação e Manutenção | Ambiental                     | Criação de área de proteção marinha   | [Agente] Agência reguladora<br>[Evento gatilho] instalação e operação de turbinas eólicas offshore (causa diretamente)<br>[Evento de valor] restrição total ou parcial da pesca próxima às turbinas (resulta em)<br>[Evento de impacto] "Efeito reserva" - Área de proteção marinha (acarreta/causa)<br>[Resultado impactante] aumento da biodiversidade local (impacta)<br>[Intenção] Preservação da biodiversidade - alinhada com a ODS14 (vida na água)   |
| FV7 (LI14) | Operação e Manutenção              | Ambiental                     | Diminuição da emissão de poluentes    | (Agente) Agência reguladora<br>[Evento gatilho] operação de turbinas eólicas (causa diretamente)<br>[Evento de valor] geração de energia cinética (resulta em)<br>[Evento de impacto] geração de energia elétrica com menor pegada de carbono (acarreta/causa)<br>[Resultado impactante] diminuição da emissão de poluentes (impacta)<br>[Intenção] energia acessível e limpa - ODS 7  |
| FV8 (LI15) | Operação e Manutenção              | Ambiental, social e econômica | Aumento na segurança energética       | (Agente) Sociedade civil<br>[Evento gatilho] operação de turbinas eólicas (causa diretamente)<br>[Evento de valor] geração de energia elétrica limpa (resulta em)<br>[Evento de impacto] redução da necessidade de consumo de combustíveis fósseis (acarreta/causa)<br>[Resultado impactante] autossuficiência energética (impacta)<br>[Intenção] energia acessível e limpa - ODS 7  |