



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMÁTICA, USO E CONSERVAÇÃO**  
**DA BIODIVERSIDADE**

**FRANCISCA MARIANA RUFINO DE OLIVEIRA SILVA**

**OURO NEGRO, CUSTO VERDE: DERRAMAMENTOS DE ÓLEO E SEUS**  
**IMPACTOS NA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA**

**FORTALEZA**

**2025**

FRANCISCA MARIANA RUFINO DE OLIVEIRA SILVA

OURO NEGRO, CUSTO VERDE: DERRAMAMENTOS DE ÓLEO E SEUS IMPACTOS  
NA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Sistemática Uso e Conservação da Biodiversidade da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Sistemática uso e conservação da biodiversidade. Área de concentração: Prospecção e uso sustentável da biodiversidade .

Orientador: Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra

FORTALEZA

2025

FRANCISCA MARIANA RUFINO DE OLIVEIRA SILVA

OURO NEGRO, CUSTO VERDE: DERRAMAMENTOS DE ÓLEO E SEUS IMPACTOS  
NA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Sistemática Uso e Conservação da Biodiversidade da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Sistemática uso e conservação da biodiversidade. Área de concentração: Prospecção e uso sustentável da biodiversidade .

Aprovada em: 27/03/2025

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Luís Ernesto Bezerra (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Emanuele Rabelo  
Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA)

---

Prof. Dr. André Henrique B. de Oliveira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Helena Matthews-Cascon  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Natalia Beloto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S58o      Silva, Francisca Mariana Rufino de Oliveira.  
            Ouro negro, custo verde: : derramamentos de óleo e seus impactos na biodiversidade brasileira /  
Francisca Mariana Rufino de Oliveira Silva. – 2025.  
            138 f. : il. color.

            Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-  
Graduação em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade, Fortaleza, 2025.  
            Orientação: Prof. Dr. Luis Ernesto Arruda Bezerra .

            1. ODS 14. 2. ODS 15. 3. petróleo. 4. impacto ambiental . I. Título.

CDD 578.7

---

Dedico integralmente à minha amada avó Maria  
Lindalva Rufino de Sousa (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

À minha amadíssima filha, meu marido e pais por todo apoio, amor e paciência de tantas horas de minha ausência dedicadas ao estudo.

Aos meus avós (*in memoriam*) que sempre demonstraram o orgulho que minha dedicação aos estudos lhes causava.

Aos colegas de turma, professores do curso e coordenação. Obrigada pela parceria e atenção durante tanto tempo divididos juntos.

Aos meus colegas de trabalho e chefia da UNILAB pela ajuda e apoio para conseguir cumprir mais esse objetivo.

Ao meu professor orientador e banca examinadora, por toda disponibilidade e acolhimento nesse momento de finalização de percurso de estudos.

“Todo dia eu peço a Deus  
saúde pra trabalhar,  
que me dê sabedoria  
e coragem pra lutar  
e que eu perceba, sim,  
que só vem até a mim  
aquilo que eu for buscar.”

(Bráulio Bessa)

## RESUMO

O petróleo e seus derivados são uma mistura complexa e de alto poder de toxicidade para os seres vivos. Não obstante, atualmente, há uma alta demanda comercial por esse produto, que se reflete no aumento da exploração de fontes primárias, instalação de maior número de refinarias e um crescente trânsito logístico. Não coincidentemente, esses são os pontos de maiores fragilidades da cadeia do petróleo no que diz respeito a intercorrências que culminam com os derramamentos e a contaminação do ambiente, causando impactos para a biodiversidade. Contudo, os dados sobre a quantidade de acidentes ocorridos no Brasil, bem como os impactos causados sobre a biodiversidade ainda são incipientes e não foram sistematizados. Assim, esta tese objetiva avaliar a problemática de desastres ambientais causados por derrames de petróleo sob dois aspectos: a análise histórica de acidentes ocorridos em território brasileiro e a avaliação ecológica do impacto desse produto sobre a biodiversidade. As metodologias utilizadas foram um estudo de revisão narrativa para o primeiro aspecto e de revisão de escopo para o segundo. As bases de dados Scielo, Science Direct, Web of Science e Scopus foram escolhidas para a pesquisa documental da revisão narrativa. Para a revisão de escopo, os bancos de estudos avaliados foram Scielo, Web of Science e Science Direct, além das plataformas Google Scholar e do Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES para a literatura cinza. Foram identificados 14 derramamentos ou aparecimento de manchas de petróleo em território brasileiro. A maioria dos eventos ocorreu nas regiões sul e sudeste (cinco eventos em ambos), seguidos pela região nordeste (quatro eventos) e pela região norte com apenas um evento. No total, estima-se um volume de aproximadamente 16 mil toneladas de petróleo ou derivados de óleo vazado no Brasil. A estrutura mais frequentemente relacionada aos desastres foram os dutos de transporte de material. Quanto aos estudos ecológicos, foram selecionados 65 trabalhos, sendo 49 artigos primários, 12 dissertações de mestrado e quatro teses de doutorado. Os estudos revelaram que os grupos mais estudados foram os invertebrados (17 trabalhos), seguidos pelas bactérias (13 trabalhos) e vertebrados (7 trabalhos). Houve maior quantidade de estudos de avaliação de comunidades (48 estudos) seguido por populações (9 estudos). Foi possível concluir que as alterações em razão da contaminação do petróleo foram reversíveis ao longo do tempo para alguns grupos taxonômicos. Ainda, mostrou-se que derrames causados em alto mar são subamostrados. Esses dados ganham relevância com a provável exploração da região conhecida como Margem Equatorial, que engloba a foz do Rio Amazonas, região de grande biodiversidade e alta sensibilidade ambiental.

**Palavras-Chave:** ODS 14; ODS 15; petróleo; impacto ambiental.



## ABSTRACT

Oil and its derivatives are a complex mixture with high toxicity to living organisms. Nevertheless, there is currently a high commercial demand for this product, which is reflected in the increased exploitation of primary sources, the installation of a larger number of refineries, and growing logistical traffic. Unsurprisingly, these are the most vulnerable points in the oil chain when it comes to incidents that result in spills and environmental contamination, causing impacts on biodiversity. However, data on the number of accidents occurring in Brazil, as well as the impacts on biodiversity, are still incipient and have not been systematized. Thus, this thesis aims to evaluate the issue of environmental disasters caused by oil spills from two perspectives: a historical analysis of accidents that occurred in Brazilian territory and an ecological assessment of the impact of this product on biodiversity. The methodologies used were a narrative review study for the first aspect and a scoping review for the second. The Scielo, Science Direct, Web of Science, and Scopus databases were chosen for the document research of the narrative review. For the scoping review, the evaluated study databases were Scielo, Web of Science, and Science Direct, as well as the platforms Google Scholar and the CAPES Theses and Dissertations Catalog for grey literature. Fourteen oil spills or oil slicks were identified in Brazilian territory. Most events occurred in the southern and southeastern regions (five events in both), followed by the northeastern region (four events) and the northern region with only one event. In total, an estimated volume of approximately 16,000 tons of oil or oil derivatives spilled in Brazil. The structure most frequently related to the disasters was the material transport pipelines. Regarding ecological studies, 65 works were selected, including 49 primary articles, 12 master's dissertations, and four doctoral theses. The studies revealed that the most studied groups were invertebrates (17 studies), followed by bacteria (13 studies) and vertebrates (7 studies). There were more studies evaluating communities (48 studies) followed by populations (9 studies). It was possible to conclude that the changes due to oil contamination were reversible over time for some taxonomic groups. Additionally, it was shown that offshore spills are under-sampled. These data become relevant with the likely exploration of the region known as the Equatorial Margin, which includes the mouth of the Amazon River, an area of great biodiversity and high environmental sensitivity.

**Keywords:** SDG 14; SDG 15; oil; environmental impact.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa político do Brasil com a inclusão da Amazônia Azul, à direita do limite da plataforma continental (em azul claro) .....	17
Figura 2	Mapa ilustrando a Margem Equatorial apresentando as áreas de exploração e os poços em atividade.....	17
Figura 3	Tipos de estudos de revisão de literatura. (Baseada em UNESP, 2015) .....	24
Figura 4	Fluxograma do processo de inclusão/exclusão de artigos da revisão narrativa. ....	32
Figura 5	Linha do tempo dos acidentes da indústria do petróleo no Brasil .....	36
Figura 6	Diagrama ilustrativo das porcentagens de tipos de material derramando nos 14 eventos de acordo com informações da bibliografia selecionada.....	42
Figura 7	Categorização quanto à magnitude dos acidentes, por ordem cronológica. Não figura nessa análise os eventos que ocorreram na Baía de São Marcos (MA), o aparecimento de material na Ilha de Fernando de Noronha (PE), o derramamento no Córrego Cururu em Manaus/AM e o acidente com a embarcação no litoral de Santa Catarina (SC) .....	45
Figura 8	Distribuição geográfica dos acidentes no Brasil, estados com maiores frequências reportadas em estudo apresentam círculos maiores. Na legenda podemos verificar os anos dos acidentes ou aparecimento de manchas. Quanto ao aparecimento de mancha no litoral brasileiro em 2019/2020 optou – se para melhor visualização uniformizar as cores dos círculos e localizar em cada um dos estados citados nos artigos que trataram desse tema .....	47
Figura 9	Ilustração das relações de co-ocorrência de acordo com as palavras-chaves determinadas pelos autores dos estudos selecionados. Programa VOSviewer version 1.6.20.....	48
Figura 10	Fluxograma do processo de inclusão e exclusão de artigos da revisão de escopo. Conforme o modelo PRISMA ScR (Tricco <i>et al.</i> , 2018) .....	73
Figura 11	Representação esquemática de organismos avaliados dos estudos selecionados .....	83

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	A) Quantificação dos artigos selecionados por ano. B) Tempo entre o derrame e a primeira publicação relacionada.....	43
Gráfico 2	A) Quantificação dos acidentes reportados na bibliografia. Os valores são apresentados em Litros de material, respeitando a indicação da metodologia as cores correspondem aos três tipos de instalações envolvidas nos acidentes. Não figura nessa análise os eventos que ocorreram na Baía de São Marcos no Maranhão e nem o aparecimento de material na Ilha de Fernando de Noronha e o derramamento no Córrego Cururu em Manaus/ AM. B) Comparativo das porcentagens de ocorrência das duas instalações de maiores frequências de acidentes: dutos e embarcações.....	44
Gráfico 3	Distribuição dos trabalhos selecionados entre os anos de 1994 e 2024.....	82
Gráfico 4	Porcentagem de artigos científicos, tese e dissertações selecionados para a revisão de escopo.....	83
Gráfico 5	Variáveis ecológicas utilizadas nos estudos selecionados para a revisão.....	84
Gráfico 6	Porcentagem de estudos selecionados em cenário real e simulações.....	85
Gráfico 7	Ilustração da distribuição temporal dos estudos em desastres reais.....	86
Gráfico 8	Ilustração da distribuição temporal dos estudos em casos de simulação de desastres <i>in situ</i> ou em micro ou mesocosmo .....	86

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Check-list de revisão narrativa proposto pelo artigo Liu <i>et al.</i> (2022) .....	28
Quadro 2	Critérios de inclusão e exclusão para a seleção dos artigos. ....	29
Quadro 3	Informações bibliográficas básicas dos artigos primários selecionados pelos critérios apresentados para as análises históricas.....	33
Quadro 4	Check-list protocolo PRISMA para revisão de escopo (Tricco <i>et al.</i> , 2018). ....	66
Quadro 5	Termos de pesquisa e conectores booleanos usados para as bases de dados: Scielo, Web of Science e Catálogo de teses e dissertações da CAPES .....	69
Quadro 6	Critérios de inclusão e exclusão para a seleção dos artigos .....	70
Quadro 7	Informações bibliográficas básicas dos trabalhos selecionados pelos critérios apresentados para as análises da biodiversidade .....	74
Quadro 8	Informações bibliográficas, tipo de organismos e principais conclusões dos artigos primários de avaliação dos eventos reais.....	87
Quadro 9	Informações bibliográficas, tipo de organismos, tempo de experimento e principais conclusões dos artigos primários de avaliação de derrames simulados <i>in situ</i> , estudos de mesocosmo e microcosmo.....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Categorização dos volumes de derrames baseado em (ITOPF, 2022) com contribuições da autora. ....	30
Tabela 2	Lista de palavras-chave, ocorrência, força do link e cluster agrupado .....	49

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIRM	Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
ITOPF	International Tanker Owner Pollution Federation Limited
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
MMA	Ministério do Meio Ambiente
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
UPGN	Unidades de Processamento de Gás Natural

## LISTA DE SÍMBOLOS

bb1	Barril
l	Litro
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
ton	Toneladas
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Resumo .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Objetivos específicos</i> .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Materiais e métodos .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>32</b>
<b>3.6</b>	<b>Discussão .....</b>	<b>50</b>
<b>3.7</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Resumo .....</b>	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>64</b>
<b>4.3.1</b>	<b><i>Objetivos específicos</i> .....</b>	<b>64</b>
<b>4.4</b>	<b>Materiais e métodos.....</b>	<b>65</b>
<b>4.5</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>72</b>
<b>4.6</b>	<b>Discussão .....</b>	<b>104</b>
<b>4.7</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE A - CHECK-LIST PARA REVISÕES NARRATIVAS</b>	
	<b>PREENCHIDA .....</b>	<b>132</b>
	<b>APÊNDICE B - CHECK-LIST PRISMA PARA REVISÕES DE</b>	
	<b>ESCOPO PREENCHIDA .....</b>	<b>134</b>



## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A pretensão desse trabalho foi reunir o conhecimento sobre derrames de petróleo ocorridos no território brasileiro e avaliar os impactos desses acidentes sobre a biodiversidade local, avançando no conhecimento sobre como a indústria do petróleo como um todo, em suas diferentes atividades, pode afetar as populações, comunidades e ecossistemas. Os objetivos e metodologias das investigações de cada estudo que foram analisados nem sempre foram coincidentes, mas todos acabaram sendo aglutinados sob o aspecto geográfico dos eventos.

O alcance da presente contribuição tem suas especificidades: as bases de dados investigadas, os termos utilizados e critérios elencados foram pensados para que gerassem resultados mais abrangentes possíveis sem perder a replicabilidade além do recorte temporal da pesquisa.

O processo foi longo, repleto de tentativas infrutíferas outras não, mas o norte ilustrado pela metodologia foi a melhor métrica para apoiar todos os julgamentos que permearam sair de um assustador conjunto de 3590 artigos para um valor final de 94 estudos primários que serviram como resultados de pesquisa divididos em dois capítulos.

Esses artigos escolhidos foram utilizados para visualizar os padrões que emergem dos derrames e identificar as lacunas dos processos de estudos científicos sobre os efeitos ecológicos decorrentes dos derramamentos.

Desse conjunto inicial de material obtido das bases de dados escolhidas deixou claro dois conjuntos de dados que conversavam entre si e mostravam um encadeamento de aprofundamento das investigações sobre o tema. O primeiro aspecto foi de caráter mais histórico dos desastres, onde os estudos resgataram fragmentos de informações que se conectam para contar os registros dos acidentes. O segundo aspecto relaciona-se às investigações do impacto ecológico que os derrames causaram a biodiversidade do local do desastre.

Assim, o corpo do trabalho se divide em duas formas de tecer revisões em pesquisa científica: revisão narrativa e revisão de escopo. Todo o esforço desses dois capítulos é gerar um aprofundamento gradual sobre o assunto abordado e um encadeamento que pretende provocar ao leitor dessas páginas um aporte de informações que o ajude a sedimentar um pouco mais o seu pensamento crítico sobre o assunto geral: acidentes de petróleo e sua implicação ecológica na biodiversidade brasileira.

## 2 INTRODUÇÃO GERAL

A zona costeira brasileira, de cerca de 8,5 mil km de comprimento e de largura variável (Coelho *et al.*, 2021), é a área onde se localizam os centros urbanos mais populosos do país, além de ser recordada por mais de 400 município de 17 estados brasileiros (MMA, 2021).

Além dos grandes centros populacionais, esse ambiente desempenha várias funções e serviços ecossistêmicos fundamentais para a manutenção biológica. Por estar grande parte inserido na zona tropical, o litoral brasileiro é reconhecido por sua alta biodiversidade e pela presença de hotspots globais para manutenção de grupos de seres vivos como: elasmobrânquios (Coelho *et al.*, 2021), crustáceos decápodos (Santana *et al.*, 2018) e outros, além da maior ocorrência latitudinal de banco de rodolitos em uma faixa da plataforma continental entre o estado do Pará e Rio de Janeiro (Amado-Filho e Pereira-Filho, 2012; Vale, 2022). Muitas atividades econômicas também se desenvolvem nessa área como o turismo, a pesca e a exploração petrolífera.

A exploração de petróleo talvez seja a atividade de maior apelo comercial e grande potencial poluidor reconhecido. Dados atualizados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) colocam a venda de óleo bruto de petróleo ou de minerais como o principal produto da pauta de exportações brasileiras do ano de 2024 (18,26%), ultrapassando as exportações de soja (5,44%) da indústria agropecuária e açúcar e melaços (6,37%) da indústria de transformação (SECEX, 2025).

Em 2019 foram adicionados à jurisdição brasileira da plataforma continental uma extensão à margem sul do território marinho de 170.000 km<sup>2</sup>. Essa é a primeira parte de um projeto brasileiro de expansão da área marítima nacional denominada de Amazônia Azul. Dessa forma, se aprovado todas as etapas em análise e preparação junto aos órgãos internacionais o Brasil terá cerca de 5.7 milhões de km<sup>2</sup> de área sob sua jurisdição (Marinha, 2023). A Figura 1 que se segue apresenta o mapa da projeção da área da Amazônia Azul.

A Margem Equatorial Brasileira fica localizada no norte do litoral brasileiro, se estendendo entre os estados do Amapá até Rio Grande do Norte. Esta área tem grande potencial petrolífero e já está em parte sendo explorada, com cerca de 700 poços já perfurados (PETROBRAS, 2025). A Figura 2 apresenta a área da Margem Equatorial ilustrando os blocos atuais de exploração e identificação dos poços perfurados (PETROBRAS, 2025)



**Figura 1:** Mapa político do Brasil com a inclusão da Amazônia Azul, à direita do limite da plataforma continental (em azul claro).



**Figura 2:** Mapa ilustrando a Margem Equatorial apresentando as áreas de exploração e os poços em atividade.

O primeiro registro de um poço de sondagem de petróleo no Brasil segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2015) foi no ano 1892 na cidade de Bofete no interior de São Paulo, sem resultados animadores. Só em 1913 em Lobato no Recôncavo Baiano (BA) as sondagens trouxeram provas definitivas de reservas petrolíferas brasileiras passíveis de utilização (ANP, 2015). Em paralelo ao processo de investigação de reservas energéticas no território brasileiro, o mercado nacional já registrava significativa demanda por produtos petrolíferos para o custeio da crescente industrialização nacional.

Assim, historicamente, foi na zona costeira brasileira e a zona econômica exclusiva (ZEE) que se instalou e se desenvolveu grande parte das estruturas da cadeia da exploração petroleira: Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN), terminais aquaviários, oleodutos e gasodutos, refinarias etc. (MMA, 2015).

Desde 2021 o Brasil se destaca como o 9º maior produtor mundial de petróleo. Em 2023 subiu para a 8ª posição segundo o relatório do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP, 2025). São 16 bacias produtoras (4 são áreas marítimas e 12 terrestres), onde as Bacias de Santos e Campos, na região sudeste, respondem por um pouco mais de 97% da produção de petróleo do país (Painel Dinâmico de Produção de Petróleo e Gás Natural ANP mês: novembro de 2024). Apenas o estado do Rio de Janeiro, que possui duas bacias produtoras (Campos e Santos), respondeu pela produção 89.262.806 barris de petróleo no mês de novembro de 2024 (Painel Dinâmico de Produção de Petróleo e Gás Natural ANP mês: novembro de 2024).

Em 2023, o Brasil ocupou a 15ª posição no ranking mundial de países com as maiores reservas provadas de petróleo, que são as reservas viáveis comercialmente, operacionalmente e passíveis de regulamentação jurídica dos locais de ocorrência (Anuário da Agência Nacional do Petróleo - ANP, 2024). Também em 2023, as exportações brasileiras de petróleo aumentaram 18,5%, alcançando 581,9 milhões de barris. A receita gerada foi 0,1% maior que em 2022, fixando-se em pouco mais de US\$ 42,6 bilhões (Anuário da Agência Nacional do Petróleo - ANP, 2024).

O forte apelo comercial tem grande peso na balança de decisões onde o meio ambiente é o contrapeso dessa avaliação. Por exemplo, na mesma margem continental de grande potencial explorador localiza-se na foz do maior ecossistema estuarino do mundo, o Rio Amazonas. Ademais, recentemente foi identificado uma área de relevante interesse ecológico que são os recifes mesofóticos, área de grande importância para a desova, reprodução, alimentação de espécies de relevância ecológica e comercial (Vale, 2022).

Sabendo do peso que acarreta toda a cadeia de exploração, existem exemplos de grandes desastres experimentados nas etapas determinantes desde a exploração marítima

(Exxon Valdez – Barron *et al.*, 2020) terrestre (a exploração no Delta do Niger – Nigéria - Onuoha *et al.*, 2023), transporte de material (Hebei Spirit – Barron *et al.*, 2020) e refino (Refinaria de Manaus – REMAN - Couceiro *et al.*, 2006)

Desastres ligados a indústria de exploração do petróleo e beneficiamento tem diferentes nuances, desde o tipo de material, quantidade, tipo de estrutura, local de ocorrência e forma de limpeza das áreas (CETESBa, 2025).

Quanto a qualidade, cada óleo formado possui características físico-químicas distintas, dessa forma, fica impossível indicar uma proporção e composição que sirva para todo óleo. Essa característica é uma vantagem bastante explorada em estudos de geoquímica forense, pois não existem dois óleos idênticos; dessa forma tornando mais fácil rastrear sua origem, refino etc. (CETESBb, 2025; Martins *et al.*, 2024).

Os compostos orgânicos do petróleo com maior relevância pelas interações nocivas com a biota são: os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA), o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX). Esses compostos são bioacumuladores e podem desencadear efeitos carcinogênico (Bertoldi *et al.*, 2024).

Os HPA podem ter origem em processos pirogênicos, petrogênicos e biogênicos. Esse grupo de compostos possui mais de 2000 constituintes (Ju *et al.*, 2022). A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) elaborou uma Ficha de Informação Toxicológica (FIT) baseada nos compostos citados em normas e legislações brasileira e na lista da Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) que orienta os principais HPA para monitoramento biológico: acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, flouranteno, pireno, benzo[a]antraceno, criseno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, indeno[1,2,3-c, d]pireno, dibenzo[a,h]antraceno e benzo[g,h,i]perileno Benzo(e)pireno, Benzo(j)fluoranteno (CETESB – FIT 2022)

Bolden *et al.* (2017), em uma revisão de escopo, avaliaram estudos com os 16 compostos citados pela USA EPA. As populações selecionadas eram fêmeas de várias espécies: humano, roedor, peixe, inseto, anelídeo, equinoderma, crustáceo e molusco. A revisão analisou a influência dos compostos HPA na saúde reprodutiva de fêmeas daquelas espécies. Aspectos como fertilidade e viabilidade fetal foram os que mostraram resultados promissores para uma avaliação sistemática criteriosa (Bolden *et al.*, 2017).

Quanto aos BTEX, por terem boa solubilidade em água, acarretam um grave perigo para os organismos aquáticos pois podem absorver através de pele, brânquias, ingestão direta de água e alimento contaminado (CETESBc, 2025). Khaled *et al.* (2022) demonstrou que a exposição crônica de BTEX causavam alterações histopatológicas severas em testículos de

machos da sanguessugas de água doce *Erpobdella johanssoni*. As alterações apresentadas foram tanto de natureza morfofuncional como alterações genéticas com a fragmentação do DNA das células testiculares (Khaled *et al.*, 2022).

Parece claro que um produto tão essencial para o dia a dia de pessoas, indústrias e nações possui um grande volume de estudo de vários aspectos dos mais diversos campos de conhecimento. Assim, estudos de revisão são importantes porque procuram analisar e avaliar de forma metodológica o assunto em destaque (Canuto e Oliveira, 2020), servindo como um bom aliado em processos de tomada de decisão.

Grant e Booth (2009) fizeram um levantamento de estudos de revisão identificando 14 tipos, desde as mais criteriosas como as meta-análise e revisões sistemáticas onde há a obrigatoriedade de avaliação de qualidade dos trabalhos incluídos, até as revisões de critérios menos rigorosos ou diversos, mas igualmente importantes para a avaliação do campo de pesquisa proposto, como por exemplo as narrativas e revisões críticas (Grant e Booth, 2009).

A gênese dos estudos de revisão está muito relacionada com a área da saúde e com a metodologia de aprendizagem denominada Prática Baseada em Evidência (PBE). Esta prática tem por princípio o uso criterioso e explícito da melhor e mais atual evidência de pesquisa na tomada de decisão sobre o cuidado do paciente (Sampaio e Mancini, 2007).

Com o tempo outros campos de pesquisa adotaram os princípios dessa metodologia para subsidiar à prática profissional e proposições nas suas áreas de atuação. Pois os estudos produzidos potencializam à crítica, o desenvolvimento metodológico e teórico da própria ciência (Canuto e Oliveira, 2020).

Nos capítulos que seguem serão apresentadas duas formas de revisão para atender os objetivos proposto por cada etapa. Dessa forma, o objetivo geral dessa tese é entender os desastres de petróleo no território brasileiro sob a ótica histórico-científica (capítulo 1) e sob a perspectiva ecológica (capítulo 2).



### 3 CAPÍTULO 1

## IMPACTOS DOS DERRAMES DE PETRÓLEO NO BRASIL: REVISÃO NARRATIVA DE ESTUDOS E CASOS

### 3.1 Resumo

Derrames de óleo são uma das maiores ameaças a biodiversidade e aos ecossistemas. Vários são os exemplos de grandes acidentes que causaram verdadeiros desastres ambientais. O Brasil está entre os maiores produtores mundiais, e vários acidentes, com graves danos à biodiversidade, já foram reportados. Contudo, desconhece-se um estudo que reúna todos os acidentes já ocorridos no Brasil cujas informações tenham embasamento científico. Assim, este estudo objetiva compilar as informações geradas pelas pesquisas científicas em torno dos acidentes ou surgimento de manchas de petróleo e seus derivados no Brasil. Para tanto, foi realizado um levantamento nas bases de dados bibliográficas SCOPUS, SCIENCE DIRECT, SCIELO e WEB OF SCIENCE utilizando a ferramenta de “Busca em Bases”. Os termos de pesquisa e os operadores booleanos nos locais de busca foram: “*oil spill*” OR “*crude oil*” OR “*petroleum*” AND “*brazil*”. Na busca da base de dados SCIELO os termos foram traduzidos para o português. Apenas estudos primários foram selecionados de acordo com critérios estabelecidos e seguindo o protocolo para as revisões narrativas. Foram selecionados 39 artigos, os quais reportam 14 eventos de derrame de petróleo ocorridos entre os anos de 1983 e 2021. A maioria dos eventos ocorreu nas regiões sul e sudeste (cinco eventos em ambos), seguidos pela região nordeste (quatro eventos) e pela região norte com apenas um evento. No total, estima-se um volume de aproximadamente 16 mil toneladas de petróleo ou derivados de óleo vazado no Brasil. O evento de maior volume e amplitude geográfica foi o derrame de 2019-2021, com um total estimado de cinco mil toneladas de óleo que atingiu os estados de Maranhão até Rio de Janeiro provavelmente originário de embarcações naufragadas. A estrutura mais frequentemente relacionada aos desastres foram os dutos de transporte de material. Uma análise detalhada de cada um dos 14 acidentes é apresentada. E entre as lacunas observadas nesse levantamento, destaca-se a ausência de maiores investigações em eventos que ocorreram em alto mar. Esse tema ganha relevância com a provável exploração da região conhecida como Margem Equatorial, que engloba a foz do Rio Amazonas, região de grande biodiversidade e alta sensibilidade ambiental.

**PALAVRAS- CHAVE:** petróleo; derramamento; bibliometria.



## 3.2 Introdução

### Acidentes da Indústria do Petróleo

Souza e Freitas (2003) afirmam que após a Segunda Guerra Mundial houve um incremento nas ocorrências de grande proporção na indústria de processos químicos, principalmente as petroquímicas (usa derivados do petróleo para produzir outros produtos químicos) e petrolíferas (indústrias que explora e produz petróleo para uso direto como combustível e gás). As reestruturações relacionados ao pós-guerra causou um aumento no mercado consumidor desses produtos que desencadeia incremento no tamanho e na complexidade das plantas e processos industriais (Souza e Freitas, 2003)

No ano de 2024 o consumo global de petróleo, segundo a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), foi de aproximadamente 103,82 milhões de barris diários (Organization of the Petroleum Exporting Countries – OPEC, 2025). Isso representa uma quantidade de cerca de 37 bilhões de barris consumidos só no ano de 2024.

A externalidade é um termo do meio econômico que, evocado pela ótica do desenvolvimento sustentável, define as falhas do mercado que infringe efeitos (negativos ou positivos) que atingem terceiros externos ao mercado (Derani e Aquino Neto, 2007). Os acidentes que ocasionam derrames de petróleo são um exemplo claro de externalidade ambiental negativa às comunidades socio/biológicas do entorno e por muitas vezes negligenciadas pelos responsáveis pela atividade.

Um exemplo dessa externalidade pode ser observada no trabalho de Sandifer *et al.* (2021), em uma revisão dos impactos socioambientais remanescentes depois de 10 anos do desastre da Deep Water Horizon no Golfo do México, relatam exemplos das famílias ligadas a indústria pesqueira impactada pelo desastre, ilustrando o declínio da qualidade de vida mesmo pós tanto tempo do evento. Isso destaca que mesmo países com condições financeiras para melhores reparação de danos precisam de longos períodos para sanar todos os nuances que uma tragédia desse tipo escancara.

Adicionalmente um importante aspecto que categoriza o impacto de um acidente com petróleo não é só o volume e a magnitude dos efeitos, mas o local aonde o óleo chega. A extensão dos efeitos, as condições climáticas e socioambiental das comunidades afetadas, bem como a biodiversidade presente são fatores importantes que também devem ser levados em consideração para o dimensionamento dos impactos do acidente (Oshienemen *et al.*, 2018).

Tudo isso ainda pode ser agravado por respostas governamentais insuficientes ou inexistentes (Soares *et al.*, 2022).

Resgatar a história dos acidentes dentro dos parâmetros escolhidos por essa revisão ajuda a catalogar parte das externalidades que a indústria trouxe para o território brasileiro.

## Revisão Narrativa

Estudos de revisão de literatura são grupos de artigos científicos que a forma de pesquisa e metodologia de captura de dados ocorrem com a utilização de fontes de pesquisa já realizadas por outras pessoas e são obtidos em bases bibliográficas eletrônicas ou não. Tem o objetivo de fundamentar aspectos teóricos do objetivo de pesquisa proposto (Rother, 2007). Os tipos de revisão são identificados de acordo com os métodos e critérios de elaboração. A figura 3 ilustra a divisão dos três tipos de estudos de revisão de literatura (UNESP 2015).



**Figura 3: Tipos de estudos de revisão de literatura. (Baseada em UNESP, 2015)**

Revisões do tipo narrativa atendem a menos critérios em relação ao desenvolvimento da sua metodologia se comparada a uma revisão sistemática. A busca pelos estudos não precisa esgotar as fontes de informações (UNESP, 2015). Estas desempenham papel importante para a avaliação qualitativa abrangente da pergunta de pesquisa do autor, prestando-se a função de ser uma fonte de pesquisa para o público geral mais acessível e por vezes mais atualizada do que os livros-textos (Green *et al.*, 2006). São formas adequadas de fundamentação teórica de artigos, dissertações, teses e trabalhos de conclusão de cursos (UNESP, 2015).

Em uma revisão narrativa não há, em sua metodologia, a necessidade de citar critérios de inclusão e exclusão, nem a restrição de uso de apenas artigos primários. Contudo, neste trabalho, optamos pelo uso de um maior rigor na metodologia afim de ilustrar, embora

qualitativamente, a produção científica brasileira sobre os relatos de desastres ocorridos dentro do território nacional. A revisão narrativa proposta neste capítulo servirá como fundamentação teórica dos acidentes que serão abordados no capítulo 2 que se segue, sem contudo comprometer a independência entre os capítulos dessa tese.

## **Bibliometria**

Bibliometria é um aspecto da ciência de dados que usa ferramentas estatísticas para analisar os padrões que emergem da produção de uma área do conhecimento (Moraes e Kafure, 2020). O uso da bibliometria possibilita a criação de indicadores que ajudam na identificação de avanços nas áreas de conhecimentos ou produção acadêmicas, julgar a qualidade as fontes de publicação científica entre outras aplicações (Moreira *et al.*, 2020).

Atualmente, são utilizados programas como Biblioshiny, CiteSpace, Publish or Perish, VOSviewer entre outros, pagos ou não (Moreira *et al.*, 2020). Esses programas são recursos essenciais diante da grande quantidade de dados que uma análise bibliométrica minimamente elaborada necessita.

O programa VOSviewer foi o software escolhido para a avaliação dos artigos selecionados para essa revisão narrativa. Esse programa utiliza o princípio da Visualização de Similaridade (VOS) onde gera mapas bibliométricos que ilustram mais didaticamente as conexões identificadas pela análise. A ferramenta permite a análise de coautoria, co-ocorrência de citação, acoplamento bibliográfico, cocitação e temas dos artigos selecionados nos bancos de dados ou gerenciadores de referências compatíveis.

Os mapas criados são visualizados e explorados por meio de nós e arestas. Os nós podem simbolizar uma publicação, periódico, pesquisador ou palavras-chave. A aresta é a relação de pares de nós e no caso de redes ponderadas pode também ilustrar a força de ligação entre os nós. As relações que podem ser analisadas usam como dados extraídos dos artigos ou estudos: citações, co-ocorrência de palavras chaves e relações de coautoria (Moraes e Kafure, 2020; Van Eck e Waltman, 2023).

Nas análises do programa VOSviewer, usado no presente estudo, os dados utilizados foram as relações de palavras chaves para obter informações de co-ocorrência entre os artigos selecionados.

### **3.3 Objetivo geral**

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise crítica dos derrames de petróleo ocorridos no território brasileiro.

#### ***3.3.1 Objetivos específicos***

Sistematizar informações como data, local, tipo de material, tipo de estrutura envolvida no acidente e volume de óleo derramado;

Analisar as relações bibliométricas entre os artigos selecionados;

### 3.4 Materiais e métodos

A revisão narrativa caracteriza-se como uma ampla análise da literatura. Segundo Sant’Ana e Paulin, (2014) essas revisões são produções das áreas de conhecimento que versam sobre temas específicos, fornecendo um estado da arte sobre o assunto selecionado.

Para tanto, foi seguindo o checklist para revisões narrativas sugerido por Liu *et al.*, (2022) conforme Quadro 1. O checklist é o instrumento de planejamento da revisão narrativa que orienta toda a execução do trabalho proposto. O checklist preenchido com as informações dessa revisão está contido no Apêndice A dessa tese.

#### Seleção de artigos

A pesquisa transcorreu durante o mês de fevereiro de 2022 onde foram selecionados os artigos sem data limite de publicação cujo tema central foi: derrame de petróleo no Brasil.

O levantamento foi realizado nas bases de dados bibliográficas: SCOPUS, SCIENCE DIRECT, SCIELO e WEB OF SCIENCE pelo Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) por meio do Sistema da Comunidade Acadêmica Confederada (CAFe) utilizando a ferramenta de “Busca em Bases”.

Os termos de pesquisa e os operadores booleanos nos locais de busca foram: “*oil spill*” OR “*crude oil*” OR “*petroleum*” AND “*brazil*”. Na busca da base de dados SCIELO os termos foram traduzidos para o português.

Embora tratando-se de uma revisão narrativa, optou-se por usar etapas comuns as revisões bibliográficas sistemáticas, como por exemplo o método de seleção de artigos, a fim de conferir maior replicabilidade das etapas realizadas.

Os critérios de inclusão foram: artigos avaliados por pares, estudos primários, idiomas inglês e português. Quando possível, esses critérios já eram aplicados nos filtros de cada uma das bases de dados.

Quadro 1: Check-list de revisão narrativa proposto pelo artigo Liu *et al.* (2022).

Seção/Tópico	Nº Item	Item	Número da página/ Número da linha	Seção/ parágrafo
<b>Título</b>				
Título	1	Identificar o relato como uma Revisão Narrativa ou Revisão de Literatura		Página do título
<b>Abstract</b>				
Sumário estruturado	2	Providenciar um sumário estruturado com as subseções: embasamento e objetivos, método, conteúdo principal e achados, conclusões.		Abstract
<b>Introdução</b>				
Racionalidade/ Embasamento	3	Descrever a racionalidade para a revisão no contexto do que já se conhece.		Introdução
Objetivos	4	Especificar a(s) questão(ões) norteador(as) identificada para o tópico da revisão		Introdução
<b>Métodos</b>				
Seleção de estudos	5	Especificar o processo de identificação da pesquisa de literatura (ex: anos considerados, idioma, status de publicação, desenho de estudo e cobertura dos bancos de dados.		Estratégia de busca
<b>Discussão/ Sumário</b>				
Narrativa	6	Discussão: 1) revisão dos estudos, incluindo descobertas fundamentais ou principais achados, 2) limitação e /ou qualificação dos estudos revisados, e 3) necessidade por estudos futuros.		Perspectivas futuras
Sumário	7	Promover uma interpretação geral da revisão narrativa no contexto da prática clínica para os profissionais da saúde, desenvolvimento de políticas e sua implementação ou futuras pesquisas.		Perspectivas futuras

Fonte: Liu *et al.*, 2022

## Organização e processamento dos dados

Os artigos foram exportados das bases de dados para uma planilha única no programa Microsoft Excel® 360. Nesta planilha cada linha correspondia a um resultado de pesquisa e continha informações sobre a base de dado de origem, título, abstract, palavras-chave, autoria, revista e ano de publicação.

Com base nesses dados os itens duplicados foram identificados e eliminados da listagem inicial de artigos. A ferramenta de rastreamento de duplicadas do editor de planilha foi utilizada. O item de avaliação usado pelo programa foi o título do artigo.

Foi realizado um rastreio manual das duplicadas que o programa não conseguia identificar por diferenças mínimas nos títulos como letras, espaçamentos diferentes ou inserção de sinais gráfico durante a importação da base de dados para a planilha.

Em sequência todos os títulos foram lidos e aqueles que não correspondiam aos objetivos da pesquisa foram excluídos. Posteriormente foram lidos os abstracts e palavras-chave dos artigos que sobraram da seleção anterior. Aqueles que não estavam de acordo com os critérios do estudo foram excluídos. Por fim, a mesma investigação se deu com a leitura dos artigos completos resultantes da etapa anterior de seleção.

Foram excluídos artigos primários que reportavam derrames que não ocorreram no território brasileiro.

Os quantitativos de artigos excluídos foram registrados para cada etapa separadamente.

No quadro 2 que se segue, estão descritos os critérios de inclusão e exclusão utilizados na seleção dos artigos.

**Quadro 2 – Critérios de inclusão e exclusão para a seleção dos artigos.**

<b>Critérios Utilizados</b>	
<b>Inclusão</b>	1- Artigos avaliados por pares 2- Estudos primários 3- Idiomas: inglês ou português
<b>Exclusão (abstract ou artigo completo)</b>	1- Eventos ou suas consequências não ocorreram no Brasil

A planilha de dados de coleta final continha os artigos selecionados com informações sobre: data do acidente, local, tipo de material, estrutura envolvidas no acidente e volume de material.

Um breve relato dos acidentes e/ou aparecimento de manchas de material petrolífero foi extraído do texto dos artigos e sumarizados para contextualizar as circunstâncias dos eventos. Optou-se por seguir uma ordem cronológica para os relatos dos eventos.

A quantificação de material informado nos textos teve que passar por um processo de uniformização e categorização dos valores para que as análises comparativas fossem viáveis. Foi usado como base o método tratado pelo International Tanker Owner Pollution Federation Limited (ITOPF). Dessa forma, as quantidades de materiais derramados foram agrupadas em três categorias de acordo com a Tabela 1 que se segue:

**Tabela 1– Categorização dos volumes de derrames baseado em (ITOPF, 2022) com contribuições da autora.**

<b>Quantidade</b>	<b>Toneladas</b>	<b>Barris</b>	<b>Litros (L)</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Pequeno</b>	Até 7	Até 50	Até 7950	Até 7,9
<b>Médio</b>	Entre 7-700	Entre 50-5000	Entre 7950-795000	Entre 7,9 - 795
<b>Grande</b>	Mais de 700	Mais de 5000	Mais de 795000	Mais de 795

A categorização mais simples utilizada procurou generalizar informações de compostos distintos de petróleo com variações de densidade sem a perda de informação de quantidades absolutas.

Todos os dados com informações de localização foram plotados em mapa de forma ilustrativa para facilitar a visualização das frequências de ocorrência por estados.

### Análise Bibliométrica

Segundo o manual do programa VOSviewer version 1.6.20 (Van Eck e Waltman, 2023) a seleção de trabalhos realizada previamente para a revisão foi submetida a uma análise bibliométrica. O objetivo do uso da bibliometria era aferir a intersecção das palavras chaves selecionadas pelos autores dos artigos, e com a ajuda do programa poder observar os agrupamentos mais relevante por maiores similaridades e distâncias e intersecções desses grupamentos.

Os passos realizados dentro do programa foram:

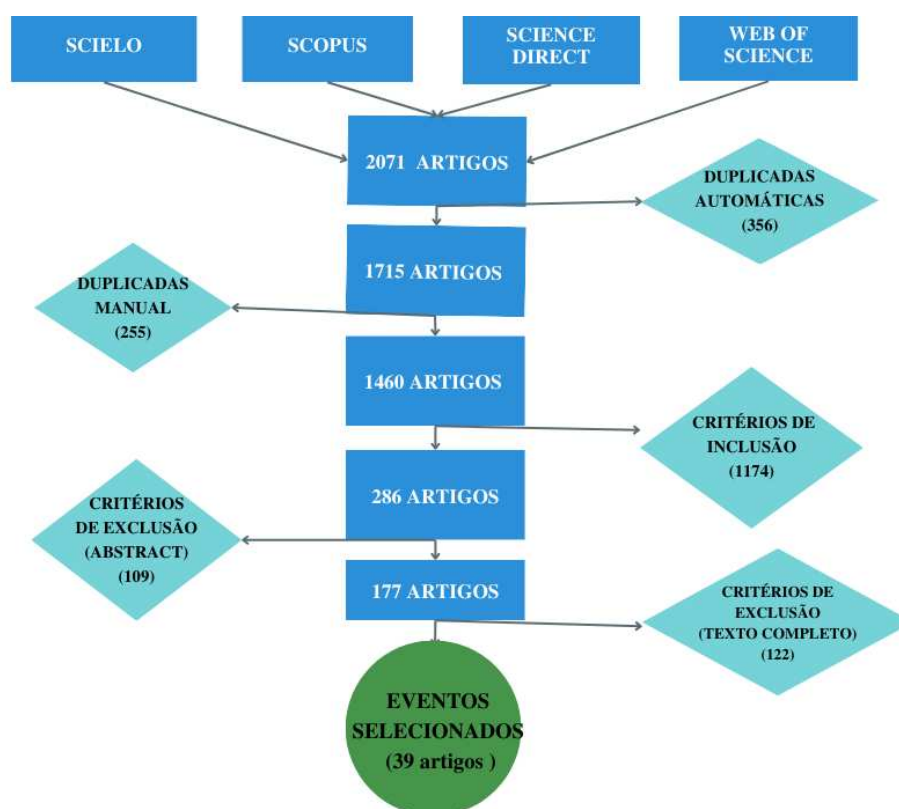


- 1- selecionar o arquivo que será analisado. Neste caso o arquivo foi no formato Information Systems Research (RIS) gerado pelo programa de gerenciamento de referência Mendeley Reference Manager.
- 2- Selecionar as variáveis com base nas palavras-chaves dos autores:
  - 2.1- Co-ocorrência,
  - 2.2- Todas as palavras-chaves (full contentes),
  - 2.3- Número mínimo de links entre os termos (2),
  - 2.4- Parâmetros não normalizados.

Os resultados foram apresentados graficamente com o detalhamento das informações dos grupos de ligação ou clusters.

### 3.5 Resultados

Foram selecionados 39 artigos das quatro bases de dados escolhidas no período de coleta dos dados, mês de fevereiro de 2022. A Figura 4 apresenta o fluxograma da seleção dos artigos utilizados para a revisão narrativa. O Quadro 3 traz a lista dos artigos selecionados com autores, título e ano de publicação.



**Figura 4: Fluxograma do processo de inclusão/exclusão de artigos da revisão narrativa.**

**Fonte: Autoria própria**

**Quadro 3: Informações bibliográficas básicas dos artigos primários selecionados pelos critérios apresentados para as análises históricas.**

<b>Autoria</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Periódico</b>	<b>Ano</b>
Agostinis, A.O. <i>et al.</i>	Is there detectable long-term depletion of genetic variation in freshwater fish species affected by an oil spill?	Water, Air and Soil Pollution	2017
Araujo, K.C. <i>et al.</i>	Oil spill in northeastern Brazil: Application of fluorescence spectroscopy and PARAFAC in the analysis of oil-related compounds	Chemosphere	2021
Baptista Neto, J.A. <i>et al.</i>	Occurrence of tar balls on the beaches of Fernando de Noronha Island, South Equatorial Atlantic	Environmental Geochemistry and Health	2014
Borzone, C.A. e Rosa, L.C.	Impact of Oil Spill and Posterior Clean-up Activities on Wrack-living Talitrid Amphipods on Estuarine Beaches	Brazilian Journal Of Oceanography	2009
Brito, E.M.S. <i>et al.</i>	Characterization of hydrocarbonoclastic bacterial communities from mangrove sediments in Guanabara Bay, Brazil	Research in Microbiology	2006
Brito, E.M.S. <i>et al.</i>	A case study of in situ oil contamination in a mangrove swamp (Rio De Janeiro, Brazil)	Marine Pollution Bulletin	2009
Camara, S.F. <i>et al.</i>	Socioeconomic vulnerability of communities on the Brazilian coast to the largest oil spill (2019-2020) in tropical oceans	Ocean e Coastal Management	2021
Campelo, R.P.D.S. <i>et al.</i>	Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs	Marine Pollution Bulletin	2021
Colpo, K.D. e Negreiros-Fransozo, M.L.	Comparison of the population structure of the fiddler crab <i>Uca vocator</i> (Herbst, 1804) from three subtropical mangrove forests	Scientia Marina	2004
Couceiro, S.R.M. <i>et al.</i>	Effects of an oil spill and discharge of domestic sewage on the insect fauna of Cururu stream, Manaus, AM, Brazil	Brazilian Journal of Biology	2006
Couceiro, S.R.M. <i>et al.</i>	Domestic sewage and oil spills in streams: Effects on edaphic invertebrates in flooded forest, Manaus, Amazonas, Brazil	Water, Air and Soil Pollution	2007
Craveiro, N. <i>et al.</i>	Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil},	Marine Pollution Bulletin	2021
Oliveira Estevo M. <i>et al.</i>	Immediate social and economic impacts of a major oil spill on Brazilian coastal fishing communities	Marine Pollution Bulletin	2021
Oliveira, O.M.C. <i>et al.</i>	Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material	Marine Pollution Bulletin	2020

Autoria	Título do artigo	Periódico	Ano
Oliveira, R.E.M. <i>et al.</i>	Successful rehabilitation of an oiled sea turtle ( <i>Lepidochelys olivacea</i> ) affected by the biggest oil spill disaster in Brazil	Veterinarni Medicina	2021
Farias, C.O. <i>et al.</i>	Origin and degradation of hydrocarbons in mangrove sediments (Rio de Janeiro, Brazil) contaminated by an oil spill},	Organic Geochemistry	2008
Fasanella, C.C. <i>et al.</i>	The Selection Exerted by Oil Contamination on Mangrove Fungal Communities	Water, Air and Soil Pollution	2012
Fontana, L.F. <i>et al.</i>	Characterization and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Surui Mangrove, Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil	Journal of Coastal Research	2012
Francioni, E. <i>et al.</i>	Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbon in Mussel <i>Perna perna</i> after an oil spill and evaluation of cellular biomarkers for biomonitoring	Journal of Coastal Research	2006
Gonçalves L.R. <i>et al.</i>	The Brazilian Blue Amazon under threat: Why has the oil spill continued for so long?	Ambiente e Sociedade	2020
Gusmao, J.B. <i>et al.</i>	The barnacle <i>Chthamalus bisinuatus</i> is the only sessile invertebrate colonizing oil patches on beachrocks one year after a massive oil spill on the Northeastern Brazilian coast	Marine Pollution Bulletin	2021
Horodesky, A. <i>et al.</i>	Ecological analysis of the ichthyofaunal community ten years after a diesel oil spill at Serra do Mar, Parana state, Brazil	Global Ecology and Conservation	2015
Katsumiti, A. <i>et al.</i>	An assessment of acute biomarker responses in the demersal catfish <i>Cathorops spixii</i> after the Vicuna Oil Spill in a harbour estuarine area in Southern Brazil	Environmental Monitoring and Assessment	2009
Lira, A.L.D. <i>et al.</i>	Effects of contact with crude oil and its ingestion by the symbiotic polychaete <i>Branchiosyllis</i> living in sponges ( <i>Cinachyrella</i> sp.) following the 2019 oil spill on the tropical coast of Brazil	Science of the Total Environment	2021
Lobão, M.M. <i>et al.</i>	Identification of source of a marine oil-spill using geochemical and chemometric techniques	Marine Pollution Bulletin	2010
Lourenco, R.A. <i>et al.</i>	Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019-2020): Trying to find answers and filling data gaps	Marine Pollution Bulletin	2020
Magalhães K.M. <i>et al.</i>	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fishery resources affected by the 2019 oil spill in Brazil: Short-term environmental health and seafood safety	Marine Pollution Bulletin	2022

<b>Autoria</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Periódico</b>	<b>Ano</b>
Magris R.A. e Giarrizzo T.	Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil	Marine Pollution Bulletin	2020
Marques, W.C. <i>et al.</i>	Numerical modeling of the Tramandai beach oil spill, Brazil-Case study for January 2012 event	Applied Ocean Research	2017
Meniconi, M.F.G. <i>et al.</i>	Brazilian Oil Spills Chemical Characterization Case Studies	Environmental Forensics	2002
Muller, M.N. <i>et al.</i>	Cellular accumulation of crude oil compounds reduces the competitive fitness of the coral symbiont <i>Symbiodinium glynnii</i>	Environmental Pollution	2021
Silva, C.A. <i>et al.</i>	Evaluation of waterborne exposure to oil spill 5 years after an accident in Southern Brazil	Ecotoxicology and Environmental Safety	2009
Soares M.D.O. <i>et al.</i>	Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster	Marine Policy	2020
Soares, E.C. <i>et al.</i>	Oil impact on the environment and aquatic organisms on the coasts of the states of Alagoas and Sergipe, Brazil-A preliminary evaluation	Marine Pollution Bulletin	2021
Soares-Gomes, A <i>et al.</i>	Changes and variations of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in fish, barnacles and crabs following an oil spill in a mangrove of Guanabara Bay, Southeast Brazil	Marine Pollution Bulletin	2010
Souza- Bastos, L.R. e Freire, C.A.	Osmoregulation of the resident estuarine fish <i>Atherinella brasiliensis</i> was still affected by an oil spill (Vicuna tanker, Paranagua Bay, Brazil), 7 months after the accident	Science of The Total Environment	2011
Zacharias D.C. <i>et al.</i>	Mysterious oil spill on the Brazilian coast – Part 2: A probabilistic approach to fill gaps of uncertainties	Marine Pollution Bulletin	2021
Zacharias, D.C. <i>et al.</i>	Mysterious oil spill on Brazilian coast: Analysis and estimates	Marine Pollution Bulletin	2021
Zanardi-Lamardo, E. <i>et al.</i>	The fate of an oil spill in São Sebastião channel: A case study	Brazilian Journal Of Oceanography	2013

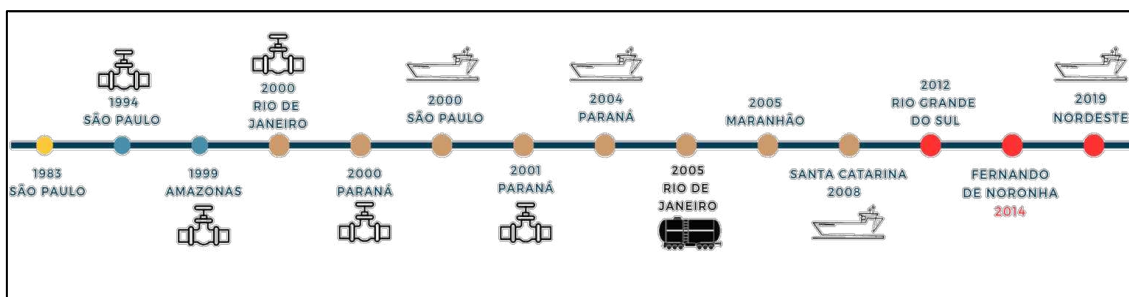
**Fonte: Autoria própria**

Os 39 artigos selecionados reportam 14 eventos de derrame de petróleo, ocorridos entre os anos de 1983 e 2021. A maioria dos eventos ocorreu nas regiões sul e sudeste (cinco eventos, respectivamente), seguidos pela região nordeste (três eventos) e pela região norte com apenas um evento. No total, estima-se um volume de aproximadamente 16 mil toneladas de petróleo ou derivados de óleo vazado no Brasil. O evento de maior volume e amplitude geográfica foi o derrame de 2019, com um total estimado de cinco mil toneladas de óleo entre os estados de Maranhão até Rio de Janeiro (Magalhães *et al.*, 2022; Campelo *et al.*, 2021; Camara *et al.*, 2021; Lourenco *et al.*, 2020; Magris e Giarrizzo, 2020 e Soares *et al.*, 2020).

Os artigos selecionados não tratavam de uma avaliação detalhada de cada evento. O derrame era apenas o ponto de contextualização para alguma investigação posterior ao desastre. Por isso optou-se por não detalhar os estudos quanto aos aspectos como objetivos, metodologias e conclusões.

As descrições costumavam ser breves e por vezes contraditórias principalmente quando relacionadas aos volumes de material derramado. A solução encontrada foi de utilizarmos as quantificações mais conservadoras em caso de artigos conflitantes.

A descrição que se segue foi a progressão temporal dos eventos de derrames segundo a literatura selecionada.



**Figura 5: Linha do tempo dos acidentes da indústria do petróleo no Brasil.**

**Fonte: Autoria própria**

#### 1º Registro:

Em 1983 vazaram 35 milhões de litros de óleo no manguezal da cidade de Bertioga estado de São Paulo (Fasanella *et al.*, 2012). Colpo e Negreiros-Fransozo, (2004) citaram o mesmo episódio, porém com valores divergentes: 3.5 milhões de litros. As autoras informaram que o local do desastre seria o Mangue de Itapanhaú (23° 49'14" S; 46°09'14" W).

A fonte causadora não foi detalhada em nenhum dos artigos.

### 2º Registro:

No mês de maio de 1994, uma ruptura nos dutos do Terminal Centro Sul do Porto do Canal de São Sebastião no litoral de São Paulo ocasionou um derramamento de 2700 toneladas de óleo cru. O produto atingiu 17 praias de São Sebastião e 11 praias de Ilhabela (Zanardi-Lamardo *et al.*, 2013)

### 3º Registro:

Uma ruptura no oleoduto submerso promoveu o derramamento de derivado de petróleo para a área do córrego do Cururu. Este curso d'água atravessa toda a cidade de Manaus (AM). A refinaria responsável pela atividade realizou a limpeza e recolheu parte do material derramado, mas outra fração acabou por se depositar no sedimento do córrego (Couceiro *et al.*, 2006). O acidente ocorreu em agosto de 1999, mas o artigo que serviu como referência não informou o volume de material derramado, nem maiores especificações quanto ao tipo de material.

Em um outro artigo do mesmo autor foi reportado o mesmo acidente com o detalhamento do tipo do material: óleo cru. O autor afirma que o material se espalhou lateralmente e se acumulou no sedimento e zona bentônica do córrego (Couceiro *et al.*, 2007).

A operação de limpeza dos resíduos foi realizada durante o mês seguinte ao desastre. Porém parte do material se depositou no sedimento do fundo do riacho e que com os ciclos de vazante e cheia do canal o óleo residual era depositado novamente nas margens (Couceiro *et al.*, 2007).

### 4º Registro:

O primeiro acidente reportado pela metodologia na Baía de Guanabara ocorreu em 17 de janeiro de 2000. O acidente foi causado por uma ruptura na linha de transmissão no nordeste da baía e derramou 1.3 mil toneladas de óleo (Brito *et al.*, 2009; 2006; Fontana *et al.*, 2012). Os autores reforçaram que além desse desastre, periodicamente ocorrem despejos de petróleo originados do complexo petroquímico estabelecido na área (Brito *et al.*, 2009).

Farias *et al.* (2012), analisando o local 10 meses após a tragédia, detalham que o material derramado se tratava de óleo combustível marinho (MF 380) e afirmam que o volume derramado foi de 1600 m<sup>3</sup> de material. O mesmo detalhamento foi registrado em Francioni *et al.* (2006) mas neste estudo o volume apresentado foi de 1300 m<sup>3</sup> de óleo combustível marinho.

Em Meniconi *et al.* (2002) foram realizados estudos de casos de três eventos de derramamento creditados a uma distribuidora de petróleo. O desastre da Baía de Guanabara foi o primeiro. Este artigo foi o mais completo de informações, claramente relacionado ao fato de os autores serem pesquisadores da referida empresa de petróleo. A data que figura no artigo é 18 de janeiro e o volume derramado de óleo combustível marinho (MF-380) foi de 1300 m<sup>3</sup>.

Em Fontana *et al.* (2012) foram apresentadas estimativas de dados secundários (Michel, 2000) onde indicam que 25% (325 m<sup>3</sup>) de óleo foi volatilizado, 40% (520 m<sup>3</sup>) foram recolhidos e 35% (455 m<sup>3</sup>) ficaram retidos no ambiente.

#### 5º Registro:

Em julho de 2000 ocorreu um acidente na tubulação de uma refinaria localizada na região conhecida como Arroio do Saldanha, no município de Araucária, zona metropolitana de Curitiba/PR. Uma área de 2,5 km<sup>2</sup> que incluía pequenos córregos e os importantes rios Barigui e Iguaçu foram diretamente afetadas pelo desastre.

Foi estimada uma perda de 4 milhões de litros de óleo que se estenderam por 50 km de largura no leito dos rios. Este foi o maior vazamento de óleo em água doce do Brasil. O autor relata que os esforços para contenção e remoção do material não impediu o acúmulo do óleo no solo e no sedimento aquático (Silva *et al.*, 2009).

Merniconi (2012) corrobora as informações apresentadas no relato de Silva (2009) e detalha a constituição do óleo cru de baixa densidade que foi vazado. A autora estima que aproximadamente 30% do óleo chegou ao leito do rio e desse quantitativo 25% evaporaram.

Nota-se uma divergência marcante no relato dos dois autores. Merniconi (2012) apresenta um detalhamento de investigação que minimiza os danos causados pelo desastre, bem diferente da forma apresentando por Silva (2009).

Em Agostinis *et al.* (2017) é informado que o acidente impactou um dos mais importantes ecossistemas aquáticos do estado do Paraná. O acidente ocasionou o derramamento de cerca de 4 mil litros de óleo cru no leito do rio Iguaçu.

#### 6º Registro:

Em novembro de 2000, foram despejados 86 m<sup>3</sup> de óleo decorrente de colisão de barco com píer do terminal de óleo no porto do Canal de São Sebastião no estado de São Paulo. O óleo foi carregado pelo vento e corrente marinha para a porção norte do canal e acabou atingindo manguezal e praias da ilha de São Sebastião (Meniconi *et al.* 2012).



#### 7º Registro:

No mês de fevereiro de 2001 uma ruptura de oleodutos no município de Morretes, Paraná causou o derramamento de 52 mil litros de óleo diesel (Horodesky *et al.*, 2015).

O local era uma área da Serra do Mar de acesso difícil o que dificultou a contenção do produto. Parte do óleo chegou até rios e riachos e se dispersou até a Baía de Paranaguá (Agostinis *et al.*, 2017).

#### 8º Registro:

No Porto de Paranaguá (PR), em 15 novembro de 2004, houve uma explosão seguida de afundamento de um navio-tanque carregado com álcool metílico (Metanol) (Borzone e Rosa, 2009).

Antes da explosão o navio estava carregado com 1.265.000 litros de óleo combustível marinho, 173.000 litros de óleo diesel e 1.079 toneladas de metanol (Katsumiti *et al.*, 2009). A mancha de óleo de material que não conseguiu ser coletado (aproximadamente 285 toneladas) espalhou-se em até 30 km do local do incêndio atingindo áreas sensíveis do complexo marinho/estuarino da região Cananéia/Iguape/Paranaguá (Katsumiti *et al.*, 2009; Souza-Bastos e Freire, 2011).

#### 9º Registro:

O segundo acidente ambiental registrado no estado do Rio de Janeiro ocorreu em abril de 2005. Um acidente na linha férrea na cidade de Itaboraí onde o descarrilhamento de um vagão resultou no derramamento de 60.000 litros de óleo diesel.

Apesar dos esforços em contenção do material, parte do óleo derramado alcançou o ecossistema da Baía de Guanabara por meio dos rios Aldeia e Caceribú (Soares-Gomes *et al.*, 2010).

#### 10º Registro:

Este registro de ocorrência trata-se de um estudo sobre investigação de origem de um pequeno vazamento de óleo que ocorreu na Baía de São Marcos no estado de Maranhão em setembro de 2005. O volume vazado não foi determinado no artigo, mas os autores reportam que resíduos desse acidente causaram impacto nas praias locais da Ilha de São Luís (Lobão *et al.*, 2010).

#### 11º Registro:

Barros *et al.* (2013) relatam esse acidente sem detalhamento de volumes e nem tipo de material. O estudo apenas informa que um navio foi a causa e que ocorreu no verão de 2008 na Baía de Babitonga um complexo hidrológico que fica a 45 km da cidade de Joinville em Santa Catarina.

### 12º Registro:

No estudo de Marques *et al.* (2017) os autores relatam acidentes de derramamento de óleo na praia de Tramadaí, região próxima a Porto Alegre, RS. Os autores elencam três eventos de derrames: I- 26 de janeiro de 2012; II- 4 de julho de 2014 e III- 7 de abril de 2016.

Entretanto apenas o evento de janeiro de 2012, cujo autor afirma que foi o mais perigoso, foi selecionado para o foco do estudo. As circunstâncias do acidente não são abordadas, mas o artigo informa o volume: 13,52 m<sup>3</sup> (Marques *et al.*, 2017).

### 13º Registro:

O mais recente desastre petrolífero brasileiro prejudicou principalmente os estados do Nordeste. Foram 18 artigos primários relacionados ao tema, correspondendo a 47,3% do total de artigos selecionados para essa temática tendo a seguinte distribuição:

- ✓ 09 - Avaliações de impactos biológicos;
- ✓ 03 - Bioquímica do óleo;
- ✓ 02 – Modelagem computacional;
- ✓ 04- Avaliações político/social dos impactos.

Os estudos apresentaram informações sobre os registros geográficos dos locais onde as manchas apareciam. Com base neles podemos afirmar que o aparecimento de manchas ocorreu desde o litoral do estado Maranhão (Magalhães *et al.*, 2022) passando por Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia (Araujo *et al.*, 2021, Craveiro *et al.*, 2021, Oliveira Estevo *et al.*, 2021, Oliveira *et al.*, 2020; 2021, Gusmão *et al.*, 2021, Lira *et al.*, 2021, Magalhães *et al.*, 2022, Muller *et al.*, 2021)

Campelo *et al.* (2021); Camara *et al.* (2021); Lourenco *et al.* (2020); Magris e Giarrizzo, (2020) e Soares *et al.* (2020) afirmaram registro de ocorrência em praias do Espírito Santo e litoral norte do Rio de Janeiro.

Os estudos investigativos usando dados para uma avaliação forense do tipo de material derramado foi realizado por Zacharias *et al.* (2021a) e Oliveira *et al.* (2020) chegaram a mesma conclusão sobre a origem venezuelana do óleo cru. Zacharias *et al.* (2021a) utilizaram um aprofundamento das análises que os levou a apresentar modelos probabilísticos sobre os potenciais fontes e local de origem.

Com relação ao artigo de Zacharias *et al.* (2021b) os autores apresentaram uma modelagem matemática para estimar a quantidade de material derramado. Segundo o

estudo as estimativas variam entre 5000 m<sup>3</sup> até 12500 m<sup>3</sup>. Para o desenvolvimento das análises no decorrer desse artigo usaremos a menor quantidade estimada por esse autor.

O presente estudo não se destina a apuração dos fatos ou averiguar a autuação dos culpados do acidente do litoral brasileiro. Deste modo o aprofundamento das responsabilizações não fará parte no desenrolar desse artigo.

14º Registro:

Essa ocorrência foi a única documentada e refere-se ao aparecimento de bolas de alcatrão na ilha de Fenando de Noronha feita por Baptista Neto *et al.* (2014).

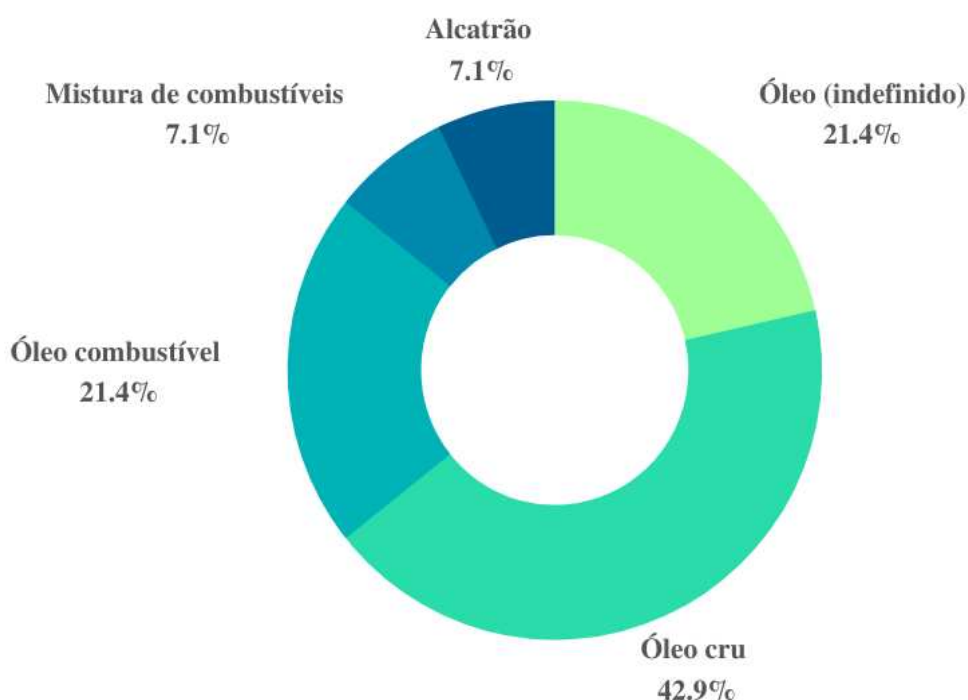
Os dados apresentados pelo artigo foram bastante vagos, não deixando claro a data de aparecimentos do material ou a data de registro dessa ocorrência. Como tratava-se de apenas um relato de ocorrência foi inserido na estatística geral dos dados coletados, mas não apresentou informações relevantes para análises posteriores.

## Qualificação, quantificação e distribuição espacial dos derrames

As informações sobre o tipo de material envolvido nos acidentes relatados pelo estudo foram copiladas e apresentadas na Figura 6. Os eventos onde não ficaram evidentes os tipos de material envolvidos no derrame foram agrupados na categoria “óleo (indefinido)”. Estão contidos nesse grupo os seguintes eventos: Manaus 1999, Santa Catarina 2008 e Rio Grande do Sul 2012.

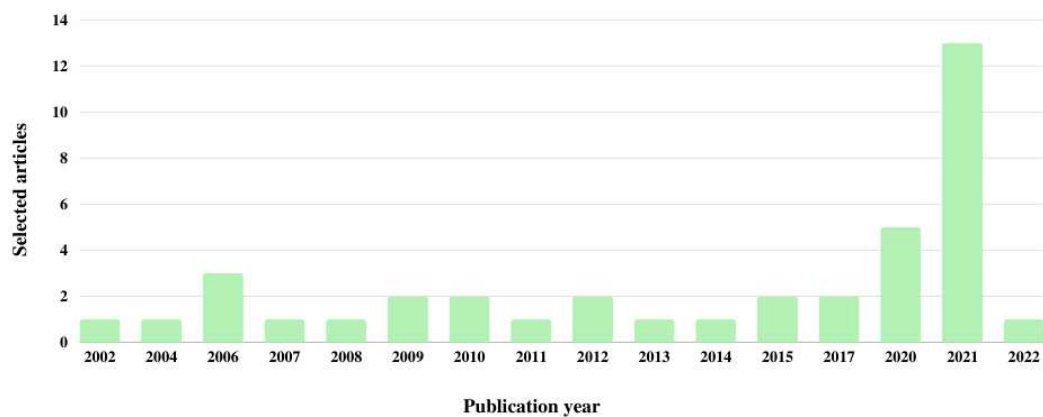
O agrupamento “mistura de combustível” (Figura 6) refere-se ao evento Paraná, 2004 onde ocorreu o derramamento de mistura de diesel, óleo combustível de navio e metanol.

Quanto ao evento em Fernando de Noronha (Baptista Neto *et al.*, 2014), este foi inserido na caracterização de tipo de material agrupamento “alcatrão”. Infelizmente essa foi umas das poucas informações suficientemente claras que o estudo forneceu.

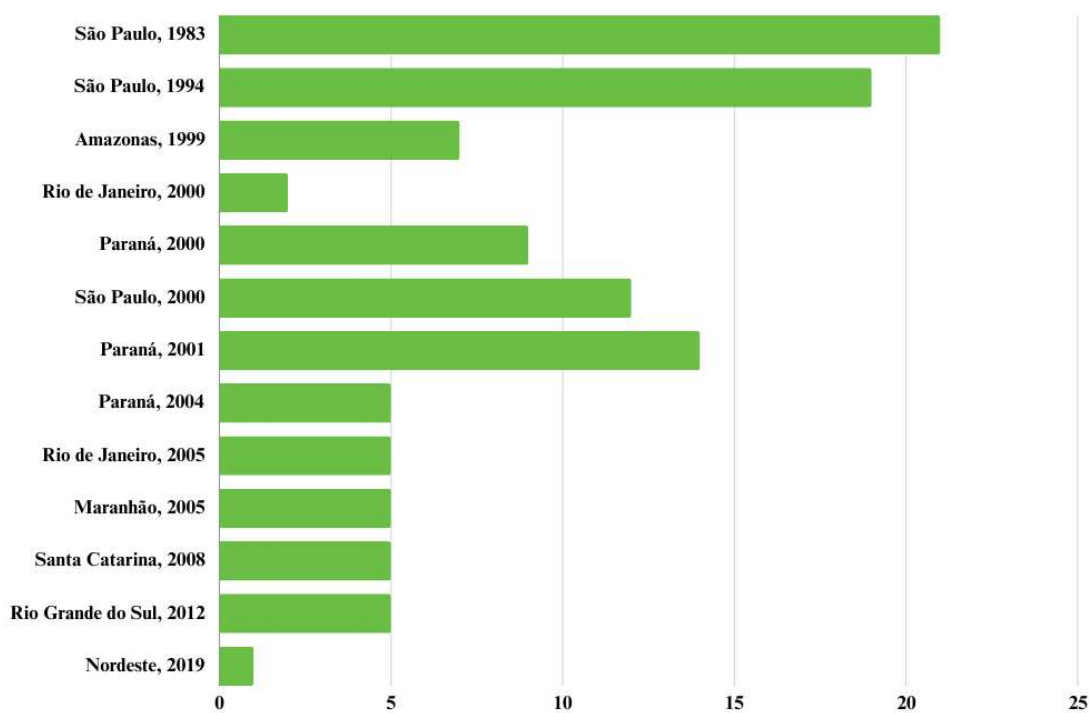


**Figura 6: Diagrama ilustrativo das porcentagens de tipos de material derramando nos 14 eventos de acordo com informações da bibliografia selecionada.**

O gráfico 1A ilustra a relação entre as quantidades de artigos selecionados publicados e a distribuição anual. O gráfico 1B mostra o tempo entre cada evento de derramamento e a publicação do primeiro artigo relacionado.



(A)



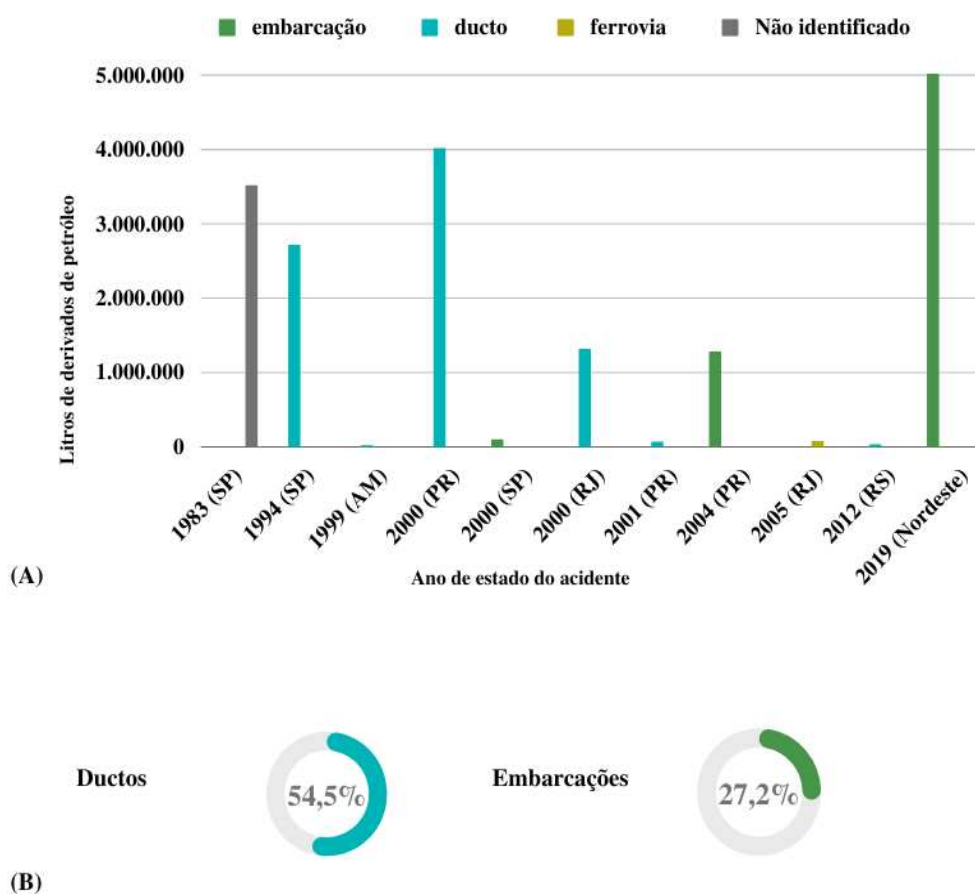
(B)

**Gráfico 1: A) Quantificação dos artigos selecionados por ano. B) Tempo entre o derrame e a primeira publicação relacionada.**

O gráfico 2A mostra um histograma das quantidades de material envolvido nos acidentes por ordem cronológica de ocorrência. As diferenças de cores correspondem ao tipo de instalação envolvida no evento. Com base nesse dado foi possível gerar o gráfico percentual ilustrado no gráfico 2B. Dessa forma é evidente que a instalação que mais esteve envolvida nos eventos avaliados foram os dutos.

Quatro eventos não figuraram nessa análise em questão, uma vez que no relato dos artigos não foi possível extrair o volume derramado do acidente: 1) Córrego do Cururu (Couceiro *et al.* 2006; 2007); 2) Baía de São Marcos (Lobão *et al.*, 2010); 3) Fernando de Noronha (Baptista Neto *et al.*, 2014); e 4) embarcação de Santa Catarina (Barros *et al.*, 2013).

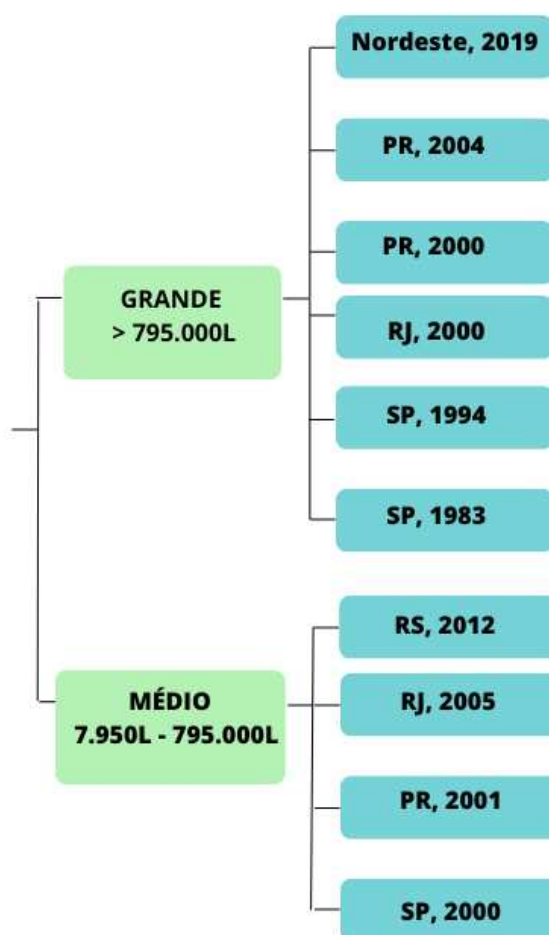
Os acidentes relatados por Couceiro *et al.* (2006; 2007) e Barros *et al.* (2013) estão na avaliação de tipo de instalação, uma vez que essa informação constava nos artigos.



**Gráfico 2: A) Quantificação dos acidentes reportados na bibliografia. Os valores são apresentados em Litros de material, respeitando a indicação da metodologia as cores correspondem aos três tipos de instalações envolvidas nos acidentes. Não figura nessa análise os eventos que ocorreram na Baía de São Marcos no Maranhão, nem o aparecimento de material na Ilha de Fernando de Noronha e o derramamento no Córrego Cururu em Manaus/ AM. B) Comparativo das porcentagens de ocorrência das duas instalações de maiores frequências de acidentes: dutos e embarcações.**

Nos registros de acidentes e derrames selecionados há uma grande variação no tipo de material envolvido. Embora todos sejam derivados de petróleo, as variações de densidade de cada material é um fator que deve se levar em conta no processo de quantificação dos desastres. Como forma de contornar essa dificuldade procurou-se categorizar os dados em três grupos segundo apresentado na descrição da metodologia.

A Figura 7 mostra a quantificação segundo a metodologia proposta dos acidentes. Os eventos no córrego do Cururu (Couceiro *et al.*, 2006; 2007), Fernando de Noronha (Baptista Neto *et al.*, 2014), litoral de Santa Catarina (Barros *et al.*, 2013) e Baía de São Marcos no Maranhão (Lobão *et al.*, 2010) não puderam entrar nessa avaliação por ausência de dados quantitativos.



**Figura 7: Categorização quanto à magnitude dos acidentes, por ordem cronológica. Não figura nessa análise os eventos que ocorreram na Baía de São Marcos (MA), o aparecimento de material na Ilha de Fernando de Noronha (PE), o derramamento no Córrego Cururu em Manaus/AM e o acidente com a embarcação no litoral de Santa Catarina (SC).**

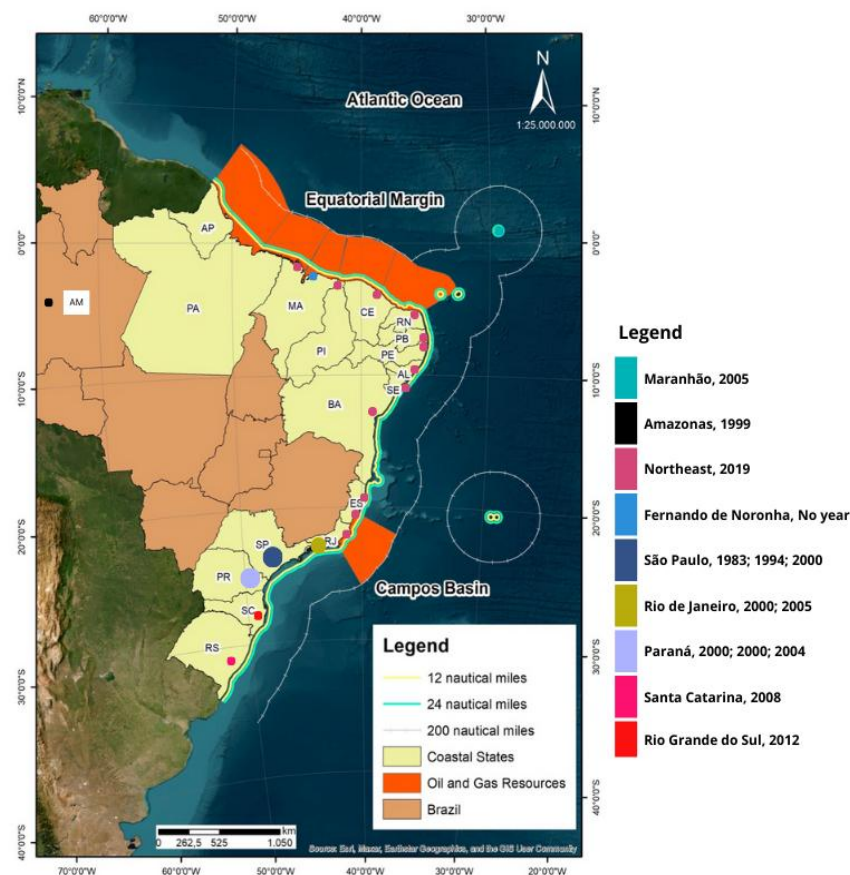
A Figura 8 mostra a distribuição dos registros de manchas de petróleo e acidentes ao longo do tempo. Destaca-se que os estados com os maiores número de eventos foram São Paulo e Paraná.

Os pontos em vermelho ao longo da costa brasileira referem-se aos registros dos locais de aparecimento de manchas de óleo em 2019 e 2020. A maior distribuição de um evento ao longo do tempo foi o acidente que causou o aparecimento de manchas no litoral nordestino (Araujo *et al.*, 2021; Craveiro *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2020; 2021; Gusmão *et al.*, 2021; Lira *et al.*, 2021; Magalhães *et al.*, 2022; Muller *et al.*, 2021).

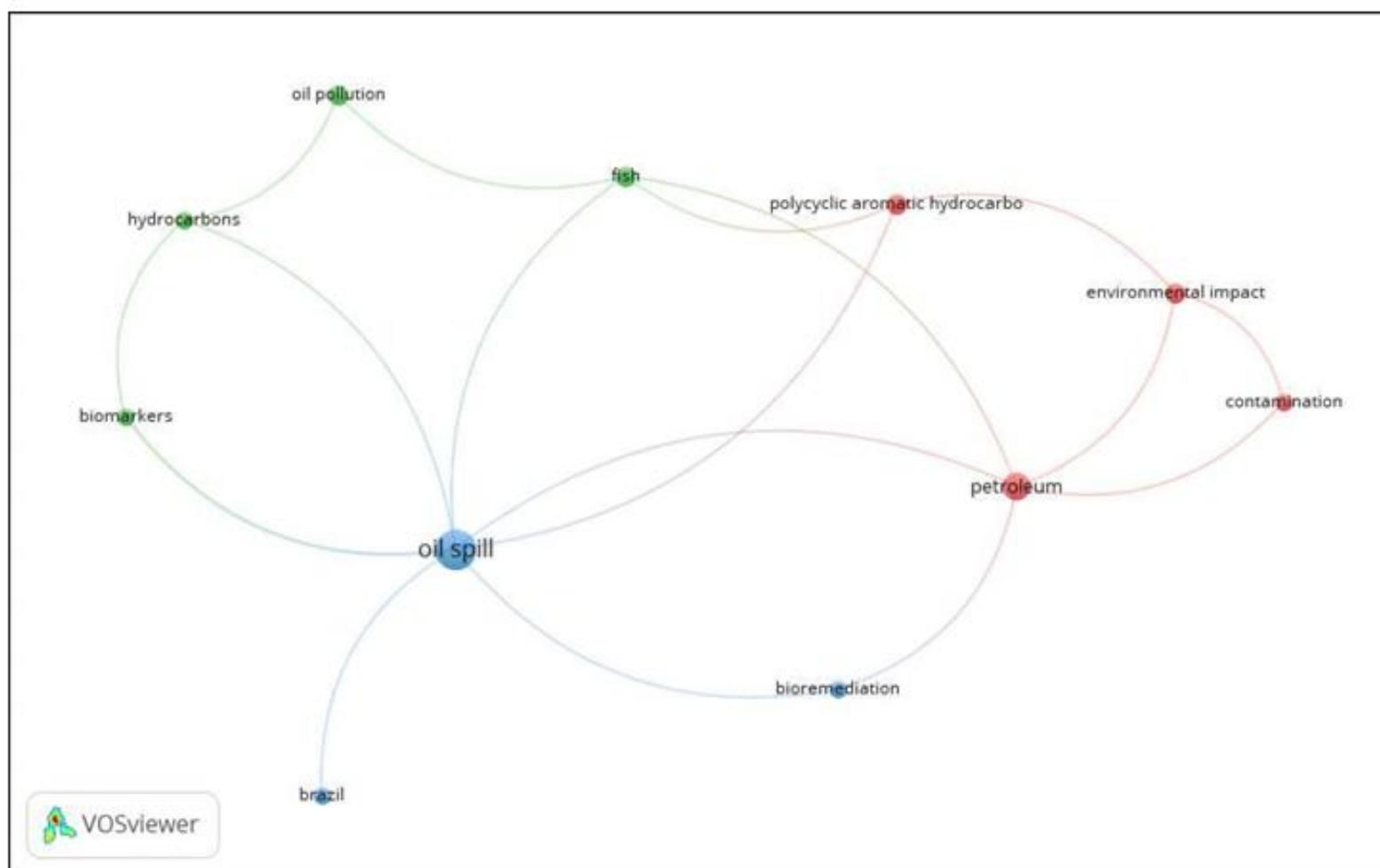
Camara *et al.* (2021); Campelo *et al.* (2021); Lourenço *et al.* (2020) e Soares *et al.* (2020); relatam o aparecimento de manchas com a mesma origem em localidades do estado do Rio de Janeiro e Espírito Santo na costa do sudeste do Brasil.

Para a avaliação bibliométrica dos artigos selecionados foi realizada a análise de 127 ocorrências de palavras-chave dos 39 artigos. As similaridades das relações geraram 12 links com no mínimo de duas conexões que se dividiram em 3 clusters ou agrupamentos mais relevantes. Os termos “Oil spill” e “Petroleum” apresentaram maiores relevâncias nas associações, ou seja foram os termos mais frequentemente usados para indexar os trabalhos (Figura 9).





**Figura 8: Distribuição geográfica dos acidentes no Brasil, estados com maiores frequências reportadas em estudo apresentam círculos maiores. Na legenda podemos verificar os anos dos acidentes ou aparecimento de manchas. Quanto ao aparecimento de mancha no litoral brasileiro em 2019/2020 optou – se para melhor visualização uniformizar as cores dos círculos e localizar em cada um dos estados citados nos artigos que trataram desse tema.**



**Figura 9:** Ilustração das relações de co-ocorrência de acordo com as palavras-chaves determinadas pelos autores dos estudos selecionados. Programa VOSviewer version 1.6.20.

A Tabela 2 mostra a ocorrência das palavras chaves analisadas e a frequência de ocorrência dos termos. A força do link refere-se à quantidade de artigos que estão relacionados a essa palavra chaves. Houve duas ocorrências do termo “mysterious oil spill” mas como apresentou força de link “0” foi excluído da análise.

O método de análise foi o associativo dos termos selecionados, que agruparam- sem em 3 cluster como demonstra a tabela 2 abaixo.

**Tabela 2: Lista de palavras-chave, ocorrência, força do link cluster agrupado.**

<b>Palavras-chave</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Força do Link</b>	<b>Cluster</b>
Oil Spill	11	8	3
Petroleum	5	5	1
Fish	3	4	2
Biomarkers	2	3	2
Environmental impact	3	3	1
Hydrocarbons	2	3	2
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	3	3	1
Bioremediation	2	2	3
Contamination	2	2	1
Oil pollution	3	2	2
Brazil	2	1	3

**Fonte: VOSviewer**

### 3.6 Discussão

Neste trabalho podemos evidenciar que o Brasil já foi cenário de vários desastres ambientais decorrente de atividades relacionadas à indústria do petróleo. Em diferentes proporções, os contaminantes relacionados a esses eventos entraram em contato com os principais ambientes biológicos brasileiros. Esse fato traz à tona a discussão sobre o uso desse combustível fóssil, bem como a exploração de novas áreas, como a Margem Equatorial Brasileira principalmente na bacia da Foz do Rio Amazonas atualmente com pedido de licença de prospecção feita pela PETROBRAS e em análise no IBAMA (PETROBRAS 2025).

No presente estudo, ficou claro que toda a cadeia de produção é passível de acidente, de modo que Planos de Contingência são importantes para lidar com esses eventos. As Cartas de Sensibilidade ao Óleo (ou Cartas SAO), no contexto da indústria petrolífera e da gestão ambiental, são ferramentas cartográficas usadas para identificar e mapear áreas que podem ser impactadas por derramamentos de óleo. Auxiliam na resposta rápida e eficiente em caso de um acidente com petróleo, oferecendo informações essenciais para o planejamento de ações de mitigação e contenção dos impactos ambientais. Segundo a Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000 é de responsabilidade dos órgãos governamentais a elaboração de Cartas de Sensibilidade (Brasil - Lei Nº 9.966 de 28 de abril de 2000)

O Estado do Ceará, recentemente, publicou o seu Plano de Ação de Contingência para Derrames de Óleo, um documento que visa estabelecer metas e critérios para lidar com ocorrência de derrame de óleo na esfera pública (Ceará - Decreto Nº35.071, de 21 de dezembro de 2022).

Ainda no contexto da exploração e acidentes em alto mar, são conhecidas a explosão e naufrágio da plataforma P36 na bacia de Campos RJ em 2001 (Figueredo *et al.* 2018) e o vazamento de gás seguido de explosão da plataforma Enchova também localizada na bacia de Campos em 1984 (Freitas *et al.*, 2000). Contudo, esses acidentes não tiveram estudos resgatados pela metodologia de pesquisa dessa revisão. No levantamento em questão pode-se observar o descompasso entre produção científica e o evento correlato. Essa lacuna foi diminuindo consideravelmente depois de passada a primeira metade da década de 90, inclusive com a produção de artigos de qualidade com investigações biológicas relacionadas aos eventos.

Vasconcelos *et al.* (2020) afirmam que após o ano de 1996 houve um incremento nas produções científicas com a popularização das ferramentas do sensoriamento remoto em todo o mundo, ocasionando um aumento das publicações investigativas com melhoria na detecção e mapeamento de eventos de derrames ou aparecimento de manchas. Esse aumento foi evidenciado principalmente nos países como China, EUA e Canadá (Vasconcelos *et al.*, 2020).

Na presente seleção de artigos, de acordo com os parâmetros dos critérios apresentados, não houve nenhum estudo que abordasse o uso de sensoriamento remoto como ferramenta tecnológica para o monitoramento e áreas com maiores sensibilidade biológica. Embora o uso de mapas seja um tópico de praxe neste tipo de publicação, isso não se reverteu em uso de imagens de satélites para monitorar faixas de território ou seu uso para planos de ações de resposta a esse tipo de emergências.

Outra ferramenta tecnológica são os modelos matemáticos úteis na previsão de comportamento de manchas de derrames, elencar áreas sensíveis a serem monitoradas, além de descobrir potenciais origens de manchas (Keramea *et al.*, 2021). Estudos selecionados como Marques *et al.* (2017) (SC, 2008) e Zacharias *et al.* (2021a; 2021b) (Nordeste, 2019) utilizaram esse tipo de abordagem.

Keramea *et al.* (2021) enumeram importantes modelos de predição matemática bem como os usos mais frequentes, ambientes ou eventos que foram testados e as mais novas fronteiras dessa abordagem. Em Marques *et al.* (2017) o modelo utilizado foi Easy Coupling Oil System (ECOS). Em Zacharias *et al.* (2021a; 2021b) a modelagem foi a Spill Transport and Fate Model (STFM).

As duas modelagens usadas pelos autores foram de modelos probabilísticos desenvolvidos por instituições brasileiras: ECOS – Universidade Federal do Rio Grande e STFM – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Embora essas modelagens não figurem entre os abordados por Keramea *et al.* (2021) os autores salientam que as predições apresentadas foram satisfatórias para a área litorânea brasileira e apresentaram resultados válidos para os objetivos das suas pesquisas.

Uma revisão de literatura semelhante foi desenvolvida por Chilvers *et al.* (2021). Os autores permitiam a seleção de literatura cinza como relatório de órgãos de fiscalização além de artigos primários referentes a acidentes que ocorreram entre 1970 e 2018. Os parâmetros quantitativos de volumes relacionados aos desastres também foram usados referências do International Tanker Owners Pollution Federation Limited

(ITOPF). Embora os valores das categorias que a autora elencou para o presente artigo não apresente valores idênticos.

A escolha menos criteriosa de Chilvers *et al.* (2021) permitiu catalogar um número maior de observações: 1702 eventos onde incluiu derrames e aparecimento de manchas tanto no hemisfério norte (96%) como no hemisfério sul (4%). Em comum com nossos dados, embarcações e dutos também foram as duas maiores causas de acidentes embora em ordem de grandeza inversa entre os estudos.

Quanto a quantidade total de material estimados nos eventos selecionados (16 mil litros) mesmo sendo uma estimativa bem conservadora dos dados, representa uma quantidade de material pequena se comparada aos eventos como o petroleiro Exxon Valdez em 1989 que derramou aproximadamente 260.000 barris de óleo cru (41 milhões de litros) na costa do Alaska (Piatt *et al.*, 1990). E o da plataforma Deep Water Horizon no Golfo do México em abril de 2010, foram vazados durante 3 meses cerca de quatro milhões de barris (635 milhões de litros) de petróleo (Allan *et al.*, 2012).

Chilver e Ruoppolo (2023) afirmam que entre os maiores campos de prospecção de petróleo no mundo estão as duas bacias sedimentares brasileiras: Bacia de Campos (RJ) e Bacia de Santos (SP). Em nossos estudo não foi possível identificar nenhum evento que remetesse a acidentes nesses locais de importante produção petrolífera. Uma explicação seria a dificuldade de acesso a essas áreas offshore e com isso a limitação de dados coletados.

A provável subamostragem é evidenciada também nas discrepâncias entre os eventos ocorridos em alto mar. Dos 14 desastres documentados, apenas o evento Nordeste 2019 tem provável origem em alto mar (Nascimento *et al.*, 2025). Ainda, 49,2% do material reportado tratava-se de óleo cru. Sabe-se que boa parte da produção é realizada em águas da Plataforma Continental, de modo que a dificuldade em analisar essas ocorrências pode trazer prejuízos quanto a avaliação dos impactos causados e das medidas tomadas.

O Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis referente ao ano de 2022, formulado e divulgado pela ANP, informa que ocorreram 62 vazamentos nas atividades de exploração em alto mar (Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis, 2023). Informações atuais da produção brasileira constante no Anuário ANP de 2024 informa que 2023 foram comunicados 2.418 incidentes, sendo 128 graves, 307 moderados e 1.983 leves.

O monitoramento da atividade de extração segundo a ANP tem atuação de fiscalização nos campos de produção (33 off shore e 6 on shore) que ocasionaram 90 atuações e 3 interdições. De acordo com a agência as atividades de fiscalização voltaram a ser realizadas in loco após o fim da pandemia de Covid- 19 (Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis, 2024)

O aparente descompasso entre a produção científica e as taxas reais de ocorrência de eventos de derrame pode ser explicado sob duas óticas: 1- Os eventos têm um grau de impacto baixo que não representa um cenário factício para o desenvolvimento de uma pesquisa com maior rigor científico; e 2- Dificuldade em formular novas formas de investigação acadêmica que possam aferir mais fielmente as nuances dos diversos impactos que a atividade produz no meio. Espera-se que esses obstáculos possam ser superados com novas produções do meio científico.

Após a realização da pesquisa de artigos para elaborar essa revisão outros trabalhos foram publicados e que se encaixariam nos critérios de inclusão, dentre as quais a de Reddy *et al.* (2022) que avaliaram amostras de toda costa brasileira identificando características que podem relacionar a origem do derramamento com naufrágios que ocorreram em águas profundas. Porém os autores asseveram que a ausência de material original para comparação não permite ter uma resposta contundente sobre o assunto.

Outras manchas de petróleo surgiram no ano de 2022 no Ceará, Pernambuco e Alagoas (Soares *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2023) e no litoral baiano em setembro de 2023 (Martins *et al.*, 2024).

Os estudos de Pereira *et al.* (2023) e Martins *et al.* (2024) comparam suas respectivas amostras com amostras do derramamento de 2019. Todas as comparações entre as amostras dos derramamentos apresentaram padrões distintos. A amostra de 2023 (Martins *et al.*, 2024) pode estar relacionada a vazamento de tanque de transporte. A amostra de 2022 apresentou um padrão de óleo não processado. Segundo os autores, pode até ser relacionado a hipótese de origem por naufrágios, mas nesta possibilidade, a amostra de 2019 seria do tanque de combustível e a amostra de 2022 seria de um tanque de armazenamento (Pereira *et al.*, 2023).

O trabalho de Zacharias *et al.* (2024) apresentou aspectos semelhantes ao presente artigo, embora apresentando bibliografia mais recente e fontes de pesquisas mais abrangentes. Ambos utilizaram os parâmetros do ITOPF para quantificação dos desastres, mas a maior frequência de eventos daquele artigo relaciona-se ao uso de artigos científicos, relatórios técnicos e literatura cinza (Zacharias *et al.*, 2024).

O uso da análise bibliométrica utilizando a ferramenta da co-ocorrência e associação de termos selecionados pelos autores como palavras-chave mostrou que os termos se agrupam em 3 clusters, o primeiro mais relacionado a aspectos da contaminação e estudos com HPAs. O segundo cluster agrupa termos relacionados a biomarcadores e uso de peixes como espécies de experimentos. Por fim, o terceiro agrupamento relacionada a estudos de acidente no Brasil, um aspecto mais generalista.

Os 39 artigos selecionados têm em média 3,25 palavras-chaves por artigo. A Norma técnica 6028:2021 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) se abstém de quantificar o número de palavras-chaves. O estudo de Terra *et al.* (2021) avaliando o Repositório Digital de Universidade de São Paulo (USP) durante o período de 2001 a 2019 encontrou uma média de 4,62 palavras-chave para os registros em português e 4,59 palavras-chaves para os registros em língua inglesa (Terra *et al.*, 2021)

Fujita (2024) afirma a importância de os autores dedicarem atenção especial na elaboração do seu conjunto de palavras-chave, uma vez que são esses termos, juntamente com o resumo e título, que são determinantes da visibilidade e de várias medidas de qualidade do artigo específico

Por fim o contexto apresentado por essa revisão mostra a necessidade de fortalecer a temática da transição energética. Mudanças ou transições são processos recorrentes na história que objetivam substituir fontes de energia primária dominantes por outras capazes de fornecer serviços mais eficientes e de melhor qualidade. Exemplos anteriores foram a substituição da lenha pelo carvão e, posteriormente, a massiva utilização do petróleo (Jannuzzi, 2024)

O norte da atual transição energética é reflexo das novas exigências socioeconômicas e ambientais e considerável aumento do conhecimento científico sobre alternativas para enfrentamento da mudança do clima e emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Jannuzzi, 2024). Os substituíveis para o uso massivo do petróleo são as fontes renováveis e de baixo carbono como: solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e outras tecnologias inovadoras, como o hidrogênio verde.

O governo brasileiro é signatário do Acordo de Paris – 2015 cujas metas tornaram-se compromissos de estado em 2016 após aprovação do Congresso Nacional (MMA 2025). Conta nesse compromisso a meta de alcançar a redução de emissão de GEE 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025. Além de indicação de redução subsequente até o ano de 2030 do GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005. Para isso, o país se comprometeu a aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para



aproximadamente 18% até 2030, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas, bem como alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 (MMA, 2025).

No quadro geral das emissões de GEEs, os setores ou atividades brasileiras com maiores aportes de emissões são respectivamente: i) uso de terras e florestas (desmatamento); ii) agropecuária; iii) energia; iv) processos industriais; e v) resíduos. (Monteiro Neto, 2024). Portanto ações de diminuição do uso de petróleo e seus derivados promovem impactos relevantes tanto no contexto da transição energética quando na qualidade e equilíbrios ambiental dos biomas brasileiros e impactos sociais relacionados as externalidades dessa atividade.

### 3.7 Conclusão

Diante do exposto, é possível concluir:

- 1- Os acidentes mais frequentemente ocorreram com rupturas em dutos de transferência de material.
- 2 A região sudeste foi a mais atingida por eventos, que pode ser explicada por ter os maiores campos de exploração (Bacia de Campos e Bacia de Santos) além de ser a mais industrializada do Brasil.
- 3 Quase metade dos acidentes identificados (42,9%) foram com material identificado por óleo cru, o que pode ser relacionada com a maior vulnerabilidade nas etapas de extração e transporte da cadeia de exploração.
- 4 A soma de volume derramamentos relatados nos estudos (cerca de 16 mil litros) que representa em termos absolutos uma pequena quantidade de óleo em relação a outros eventos no mundo. Contudo tal volume é suficiente para a degradação ambiental significativa, e necessita de reparação proporcional.
- 5 Esses achados mostram uma clara subamostragem em relação aos acidentes da indústria, principalmente em relação aos eventos em alto mar onde possui a maior parte da exploração brasileira.
- 6 A metodologia utilizada permitiu relacionar os estudos com maiores recorrências de palavras-chaves similares criando agrupamento com fortes relações bibliográficas entre eles.



## 4 CAPÍTULO 2

## **DERRAMAMENTOS DE ÓLEO NO BRASIL E AS CONSEQUÊNCIAS PARA A BIODIVERSIDADE. UMA REVISÃO DE ESCOPO**

### **4.1 Resumo**

Sabe-se que derrames de petróleo são eventos que causam grandes danos à biodiversidade, com diferentes grupos de organismos sendo afetados de diferentes maneiras. Contudo, até o momento, não se tem uma análise conjunta de danos causados por acidentes com petróleo sobre os diferentes tipos de organismos, bem como nas populações e ecossistemas afetados como um todo. Assim, foi proposta a realização de uma revisão de escopo com o objetivo de avaliar os impactos sofridos pela biodiversidade decorrentes de derrames de petróleo. Para tanto, foram seguidas as diretrizes do método PRISMA-ScR. As buscas ocorreram em três direções: pesquisa de literatura cinza com buscas realizadas na plataforma Google Scholar e no Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); seleção de artigos publicados nas bases de dados Scielo, Web of Science e Science Direct, utilizando a ferramenta de “Busca em Bases”; e busca ativa por meio da verificação das referências dos artigos selecionados para encontrar estudos que não apareceram nas abordagens anteriores. Foram obtidos 491 artigos das três bases de dados escolhidas. Após a seleção por meio dos critérios de exclusão, foram selecionados 65 trabalhos, sendo 49 artigos primários, 12 dissertações de mestrado e quatro teses de doutorado. Os estudos revelaram que os grupos mais estudados foram os invertebrados (17 trabalhos), seguidos pelas bactérias (13 trabalhos) e vertebrados (7 trabalhos). Houve maior quantidade de estudos de avaliação de comunidades (48 estudos) seguido por populações (nove estudos). Os estudos se dividiram entre avaliações de eventos reais, simulações in situ, mesocosmo e microcosmo. Na maioria das vezes os achados em cenários reais eram validados em aspectos dos estudos controlados. A maioria dos estudos selecionados relata que as alterações em razão da contaminação do petróleo foram reversíveis ao longo do tempo para alguns grupos taxonômicos.

**PALAVRAS- CHAVE:** Revisão de escopo; derramamento de petróleo; biodiversidade

## 4.2 Introdução

Sabe-se que derrames de óleo estão entre as maiores ameaçadas a biodiversidade, principalmente marinha (Joye, 2015). Inúmeros acidentes causaram sérios danos a populações e comunidades biológicas devido a acidentes como o Exxon Valdez (Piatt *et al.*, 1990), Deepwater Horizon (Jernelv, 2010), San Jorge (Mearns *et al.* 1999) e Prestige (Camphuysen *et al.*, 2010).

O maior acidente independentemente do tipo de instalação relacionada (navio ou duto) da indústria do petróleo no mundo foi causado na Guerra do Golfo em 1991 onde 1.200.000 toneladas de óleo foram descarregadas intencionalmente como tática de guerra (Jernelv *et al.*, 2010). Para comparação o maior acidente de navio tanque foi o Atlantic Empress em 1979 que derramou 287.000 toneladas de óleo (ITOPFa, 2025) próximo a Tobago na América Central. Quanto a categoria de vazamento de estruturas de dutos o maior registro foi vazamento decorrente de explosão do poço pressurizado Lakeway N° 1 na Califórnia (EUA) onde durante 18 meses estima-se que 1.300.000 toneladas de óleo foram joradas, parte desse material segundo registros foi coletado, mas os dados são imprecisos (Jernelv *et al.*, 2010).

Dois eventos de grande visibilidade midiática e que teve relevante produção científica relacionada foram: 1- derramamento do petroleiro Exxon Valdez em 1989 que derramou aproximadamente 260.000 barris de óleo cru na costa do Alaska. Nesse evento, milhares de animais morreram nos meses seguintes ao vazamento de óleo. Estimativas citam cerca de 100 a 300 mil pássaros marinhos (Piatt *et al.*, 1990), mais de 1000 lontras marinhas - *Enhydra lutris* e 300 focas comuns - *Phoca vitulina* (Jernelv *et al.*, 2010).

O segundo acidente bastante conhecido e com grave danos à biodiversidade foi o da plataforma Deep Water Horizon no Golfo do México em abril de 2010, foram vazados durante 3 meses cerca de quatro milhões de barris ( $7.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ ) de petróleo (Allan *et al.*, 2012). Causando a mortalidade cerca de 1200 aves, e a realocação imediata de aproximadamente 10.000 filhotes de tartarugas *Lepidochelys kempii* recém-nascidos para alto mar ou refúgios de praias seguras (Jernelv *et al.*, 2010) além dos impactos socioeconômicos de populações que dependiam da pesca no estado da Louisiana (Gohlke *et al.* 2011)

Em eventos de derrames de petróleo os microrganismos, plantas, animais e humanos e o ecossistema todo são severamente impactados pela presença de petróleo e seus derivados. Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), um dos vários

constituintes do petróleo guardam as maiores ameaças aos organismos: possuem afinidade bioquímica pelo DNA e proteínas, menor solubilidade com a água e alta persistência no ambiente (Yuewen e Adzighbli, 2018).

Diversos estudos de toxicidade já provaram a interações deletérias dos compostos de petróleo em organismos bentônicos (Peso-Aguiar, *et al.*, 2000) peixes (Katsumiti *et al.*, 2013, Santos *et al.*, 2010), roedores (Almeida *et al.*, 2023), plantas (Lopes *et al.*, 2009) e moluscos (Costa *et al.*, 2023)

O petróleo e seus componentes têm efeitos diversos nos organismos que reverberam nas populações e comunidades diminuindo seu potencial ecológico. Exemplos: a ingestão ou contato com os produtos tóxicos podem causar morte direta por asfixia principalmente em organismos branquiais como peixe e invertebrados (Bejarano e Michel, 2016; Santana *et al.*, 2021; Yuewen e Adzighbli, 2018), organismos com sistema pulmonar como mamíferos, aves e tartarugas ao aspirar os compostos podem causar irritações no trato respiratório, pneumonia e comprometimento no trato digestório nos casos de ingestão. (Oliveira *et al.*, 2021; ITOFb, 2025; Yuewen e Adzighbli, 2018)

Quanto ao contato direto com a pele ou penas o óleo causa diminuição do isolamento térmico de aves, prejuízo à camada hidrofóbica que auxilia na flutuação das aves, e serve de proteção em mamíferos marinho, deixando os animais vulneráveis a ataques de parasitas e microbiota patogênica (ITOPFb, 2025; Yuewen e Adzighbli, 2018). Alterações fisiológicas que podem desencadear má-formação de embriões, aumento em taxas de mortalidade de juvenis, larvas e ovos, diminuição da fertilidade da população (Santana *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2010; Sardi *et al.*, 2017).

Miller (2011) afirma que as formas de vida marinha demoram três anos para se recuperar do contato com petróleo bruto. Já o tempo de recuperação da exposição do petróleo refinado em estuários e pântanos salgados pode levar de 10 a 15 anos (Miller, 2007). Assim, procurar entender os efeitos específicos do óleo sobre organismos e ecossistemas é um passo fundamental para ações efetivas quando do caso de acidentes.

Esses impactos podem alterar estruturas de populações, comunidade e ecossistemas inteiros a curto, médio e longo prazo. Para que tantos aspectos consigam ser analisado os pesquisadores tem que traçar limites e criar ferramentas que auxiliem nas observações tanto espacialmente como ao longo do tempo (Cain *et al.*, 2011). Várias metodologias foram criadas para conseguir mensurar esses impactos e entender como podem alterar desde estruturas fisiológicas até comunidade inteiras.

Do ponto de vista de análise de derrames de óleo as metodologias mais usadas são avaliações antes e depois dos desastres. Como por exemplo Moreno *et al.*, (2011) que avaliou quantidade de metais pesados presentes em penas de aves aquáticas antes de depois do acidente do navio Prestige na costa espanhola em 2002.

Em alguns casos os locais não possuem uma caracterização prévia antes do impacto. Neste caso os estudos costumam comparar com áreas semelhantes. Como é o caso de Uno *et al.*, (2017) que avaliaram as concentrações de HPA provenientes do derramamento do tanque Solar 1 em 2006 na Filipinas. Os autores usaram dados de moluscos que existiam em ilhas semelhantes e próximas ao acidente e compararam as diferenças que poderiam ser causadas pela presença do óleo.

Há ainda estudos que procuram antecipar as avaliações dos impactos fazendo experimentos em pequena escala de derrames de forma controlada e avaliando o que acontece. Almeida *et al.* (2023) expuseram roedores (*Calomys laucha*) a gaiolas preparadas com diferentes concentrações de óleo refinado para avaliar alterações fisiológicas desses mamíferos.

Esses experimentos também denominados de simulações em alguns trabalhos por ser realizada no ambiente natural são denominados *in situ*. Mas podem ser feitas simulações computacionais ou *in silico* como por exemplo o trabalho de Sousa *et al.* (2019) que utilizou modelagem matemática para prever o comportamento de manchas de petróleo em uma área no litoral do Rio Grande do Sul. Com essas metodologias cria-se um banco de informações que podem ser usadas para extrapolações em casos reais.

Outra estratégia usada é a criação de modelos experimentais realista no laboratório. Podem ser estruturas contidas em frascos de laboratório ou pequenos recipientes, com ambiente completamente controlado ou não (Odum, 2008). Geralmente usados para experimentos com microrganismos e são denominados de microcosmos. Cappello *et al.* (2014) analisaram as modificações que frações de bioemulsificantes e óleo bruto poderia causar na fisiologia da colônia de bactérias *Alcanivorax* sp.

Mesoscosmos são geralmente tanques de simulação, costumam não ser sistemas fechados e tem alguma interação com o meio ao redor: luminosidade, variações de temperatura etc. (Odum, 2008). Machado *et al.* (2019) criaram um sistema de mesocosmo dentro do manguezal para avaliar a diversidade bacteriana em diferentes profundidades sob efeitos de diferentes tratamentos.

O Brasil é um dos 17 países megadiversos do mundo (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, 2025) e com um litoral de mais 8 mil quilômetros, que

guarda uma grande biodiversidade, mas ainda pouco estudada. O Brasil se destaca também por ser um grande produtor de petróleo, figurando na 8ª posição desde o ano de 2023 no ranking dos maiores produtores do mundo (IBP, 2025)

Com relatado no primeiro capítulo dessa tese, o Brasil possui registro de vários acidentes de grande porte (ver Figura 1.4, página 49) inclusive recentemente com o aparecimento de manchas no litoral nordestino (Zacharias *et al.*, 2021). Contudo, até o momento, não se sabe como esses acidentes impactaram a biodiversidade brasileira, uma vez que os dados são incipientes e esparsos. Assim, buscou-se fazer um levantamento dos artigos que trataram de impactos de derrames de óleo na biodiversidade brasileira para trazer uma visão geral do estado da arte dos estudos relacionados a estes impactos.

Revisões de escopo já eram realizadas desde a década de 90, sem muito detalhamento de informações que a diferisse de outras propostas de revisão. Foi no artigo de Arksey e O' Malley (2005) onde houve a primeira tentativa de sistematização e padronização do método.

Nesse estudo, os autores focam no desenvolvimento de revisões de escopo que objetivam encontrar lacunas de pesquisa na literatura. A revisão de escopo pode ter outras proposições, por exemplo: sumarizar e disseminar achados científicos ou como passo inicial para ver a necessidade de fazer uma revisão sistemática (Arksey e O' Malley, 2005).

Levac *et al.* (2010) afirmam a importância das revisões de escopo para campos de pesquisa emergentes, que por isso não possuem muitos artigos publicados. Nesta situação, o uso da literatura cinza em associação com estudos publicados pode gerar descobertas relevantes para as questões de pesquisa mais abrangentes.

Atualmente são mais populares duas linhas de metodologia para as revisões de escopo: Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension (PRISMA) e Protocolo do Joanna Briggs Institute (JBI).

O Instituto Joanna Briggs foi criado em 1996 como instituto de pesquisa para aplicar aquilo que posteriormente se popularizaria como “prática baseada em evidências” nas ciências da saúde (JBI, 2025). Atualmente suas diretrizes e protocolos são bastante reconhecidos além da área da saúde.

Quanto ao PRISMA, este teve sua gênese em uma publicação de um grupo internacional que formulou orientações a fim de melhorar a qualidade das meta-análises em 1999. A partir de então foram atualizadas as diretrizes iniciais ao longo dos anos de



2009 e 2017. Estabelecendo o que conhecemos como protocolo PRISMA e suas extensões (PRISMA, 2025).

Fica a critério dos autores da revisão a escolha do tipo de metodologia escolhida, mas diferenças pequenas nos dois protocolos acabam por facilitar o desenvolvimento de revisões mais relacionadas a intervenções em saúde utilizando o protocolo do JBI. Por exemplo, a necessidade de escolha das palavras-chave para pesquisa dentro dos vocábulos controlados de descritores como Medical Subject Headings (MeSH) ou do Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) (Matos, 2023). Em áreas como a ciências biológicas não temos essa restrita padronagem nos descritores dos artigos publicados. Com isso o uso do protocolo PRISMA acaba sendo mais factível para a realidade de outras áreas de pesquisa.

Assim sendo, essa revisão de escopo destina-se a entender que estudos ecológicos (metodologias, organismos alvos, períodos e locais de publicações entre outros aspectos) foram realizados no Brasil quanto às investigações de impactos causados pelo derramamento de petróleo e seus derivados.

### **4.3 Objetivo geral**

Avaliar os impactos na biodiversidade relacionados aos derrames de petróleo.

#### ***4.3.1 Objetivos específicos***

- 1- Mapear os estudos ecológicos produzidos no Brasil relacionados aos derrames analisados no Capítulo 1 dessa tese.
- 2- Analisar os aspetos históricos e metodológicos dos estudos selecionados.
- 3- Analisar aspectos ecológicos da biodiversidade afetada pelos derrames que foram investigados os estudos primários e compará-los aos resultados de estudos experimentais controlados (*in situ*, mesocosmo e microcosmo)

#### 4.4 Materiais e métodos

Pergunta de pesquisa:

A pergunta de pesquisa é fundamental para o delineamento de toda a metodologia de estratégia de busca. Em revisões de escopo é comum o uso do mnemônico PCC onde P- refere-se à população, ou sujeitos da pesquisa com suas características que apresentam relevância para a qualificação do estudo. C- Trata-se do conceito, a questão a ser avaliada na população. Por último, o C- contexto, informações mais específicas para qualificar a estratégia de pesquisa, pode ser localização geográfica, aspectos culturais ou ambientes específicos (Mattos *et al.*, 2023).

Este estudo possui a seguinte pergunta norteadora: “Quais os estudos que avaliam os impactos ecológicos causados pelos derramamentos de petróleo no território brasileiro?” Onde se desdobra nos seguintes aspectos da estratégia PCC: População: organismos atingidos por acidentes de petróleo; Conceito: derramamento de petróleo; Contexto: Brasil.

Checklist PRISMA ScR:

O presente trabalho segue as diretrizes do método PRISMA-ScR (Tricco *et al.*, 2018), onde o primeiro passo é a realização de um checklist. Seu intuito é orientar todo o trabalho que será desenvolvido ao longo do processo de modo a manter o rigor da revisão a ser desenvolvida (Tricco *et al.*, 2018).

No Quadro 4 que se segue podemos observar o checklist PRISMA-ScR para revisões de escopo.

Embora seja algo recomendado pelo Checklist PRISMA- ScR o registro em repositório de domínio público afim de facilitar o acesso de outros pesquisadores à revisão (Mattos *et al.*, 2023), este protocolo de revisão não foi registrado em nenhum repositório.

Vale ressaltar que o Checklist não é um indicador de qualidade para avaliação das revisões, ele objetiva servir de guia para manter a qualidade da publicação em formulação (Ito, 2021).

O checklist preenchido desta revisão de escopo está disponibilizado na sessão Apêndice B, a fim de não deixar a sessão Resultados desnecessariamente extensa.

**Quadro 4: Checklist protocolo PRISMA para revisão de escopo.**

Seção	Item	Item do checklist PRISMA-ScR	Relatado na página
<b>Título</b>			
Título	1	Identificar o relatório como uma revisão de escopo	
<b>Abstract</b>			
Sumário estruturado	2	Providenciar um sumário estruturado que inclua (quando aplicável): contextualização, objetivos, critérios de elegibilidade, fonte de evidências, gráfico metodológicos, resultados e conclusões que se relacionam a questão de revisão e objetivos	
<b>Introdução</b>			
Justificativa	3	Descrever a justificativa da revisão no contexto atual. Explicar por que a pergunta de revisão ou os objetivos prestam-se a conduzir uma revisão de escopo.	
Objetivos	4	Fornecer uma declaração explícita das questões e objetivos que estão sendo abordados com referência aos seus elementos-chave (por exemplo: população ou participantes, conceito contexto) ou outros elementos-chave relevantes usados para conceituar as questões e/ou objetivos da revisão.	
<b>Métodos</b>			
Protocolo e Registro	5	Indique se existe um protocolo de revisão: informe se e onde ele pode ser acessado (por exemplo: um endereço na Web); se disponível, forneça informações de registro incluindo o número de registro	
Critérios de elegibilidade	6	Especifique as características das fontes de evidência usadas como critérios de elegibilidade (por exemplo: anos considerados, idioma e status de publicação) e forneça uma justificativa.	
Fontes de Informação	7	Descreva todas as fontes de informações na pesquisa (por exemplo, bancos de dados com data de cobertura e contato com os autores para identificar fontes adicionais), bem com a data em que a pesquisa mais recente foi executada.	
Pesquisa	8	Apresente a estratégia completa de busca eletrônica para pelo menos um banco de dados, incluindo quaisquer limites utilizados, de modo que ela possa ser repetida	

Seleção de fontes de evidências	9	Descreva o processo de seleção de fontes de evidências (por exemplo, triagens e elegibilidade) incluídas na revisão de escopo.	
Processo de mapeamento de dados	10	Descreva os métodos de mapeamento de dados das fontes de evidências incluídas (por exemplo, formulários calibrados ou formulários que foram testados pela equipe antes do seu uso e se o registro de dados foi feito de forma independente ou em duplicata e quaisquer processos para obter e confirmar os dados dos pesquisadores	
Itens de dados	11	Liste e defina todas as variáveis para as quais os dados foram buscados e quaisquer suposição e simplificações feitas.	
Avaliação crítica das fontes individuais de evidências	12	Se feito, forneça uma justificativa para a realização de uma avaliação crítica das fontes de evidências incluídas; descreva os métodos usados e como essas informações foram usadas em qualquer síntese de dados (se apropriado)	
Síntese de resultados	13	Descreva os métodos de manipulação e resumo dos dados que foram registrados no gráfico	
<b>Resultados</b>			
Seleção das fontes de evidências	14	Forneça o número de fontes de evidências selecionadas, avaliadas quanto a elegibilidade e incluídas na revisão, com os motivos das exclusões em cada estágio, de preferência usando um fluxograma	
Características das fontes de evidências	15	Para cada fonte de evidência, apresente as características para as quais os dados foram mapeados e forneça as citações	
Avaliação crítica das fontes de evidências	16	Se feito, apresente dados sobre a avaliação crítica das fontes de evidências incluídas (ver item 12)	
Resultados individuais das fontes de evidência	17	Para cada fonte de evidências incluída, apresente os dados relevantes que foram mapeados e que se relacionam com as questões e objetivos da revisão.	
Síntese de resultados	18	Resuma e /ou apresente os resultados do gráfico conforme eles se relacionam com as questões e objetivos da revisão.	
<b>Discussão</b>			
Sumário de evidências	19	Resuma dos principais resultados (incluindo uma visão geral dos conceitos, temas e tipos de evidências disponíveis), vincule-os as perguntas e objetivos da revisão e considere a relevância para os principais grupos.	

Limitações	20	Discuta as limitações do processo de revisão de escopo.	
Conclusões	21	Forneça uma interpretação geral dos resultados com relação às questões e objetivos da revisão, bem como potenciais implicações e/ou próximos passos.	
<b>Fontes de Financiamento</b>			
Financiamento	22	Descreva fontes de financiamento para as fontes de evidências incluídas, bem como fontes de financiamento para a revisão de escopo. Descreva o papel dos financiadores da revisão de escopo.	

**Fonte:** Tricco *et al.*, 2018

### Estratégia de obtenção dos dados

Durante o mês de março de 2024 foram realizadas buscas nas bases de dados onde foram selecionados os trabalhos com data limite de publicação de 1983 (registro do primeiro estudo sobre derramamento de petróleo no Brasil de acordo com os resultados do Capítulo 1).

A buscas tiveram três direções: uma para a pesquisa de literatura cinza que foi realizada na plataforma Google Scholar e no Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A outra direção foi para seleção de artigos publicados nas bases de dados: Scielo, Web of Science, Science Direct, todas acessadas remotamente pelo Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) por meio do Sistema da Comunidade Acadêmica Confederada (CAFe) utilizando a ferramenta de “Busca em Bases”.

E a terceira forma de pesquisa foi a verificação das referências dos artigos selecionados para encontrar estudos que não apareceram nas abordagens anteriores.

No Quadro 5 que se segue mostra todos os termos de pesquisa e operadores booleanos utilizados para os bancos de dados: Scielo, Web of Science e para o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES. As combinações dos três termos geram 15 resultados de fórmulas de pesquisa que foram inseridos nos campos de busca dos sites selecionados.

**Quadro 5: Termos de pesquisa e conectores booleanos usados para as bases de dados: Scielo, Web of Science e Catálogo de teses e dissertações da CAPES.**

Termo 1	Operador	Termo 2	Operador	Termo 3
População	AND	Derramamento de petróleo	AND	Brasil
Biota		Desastre petróleo		Brazil
Comunidade		Oil spill		
Population		Oil accident		
Biota		Petroleum pollution		
Community				

**Fonte: Autoria própria.**

Importante salientar que para chegar à fórmula final apresentada no quadro anterior foram feitas várias tentativas com diferentes termos para encontrar as melhores combinações. Os termos tinham que ser os mais genéricos possíveis para permitir a seleção do maior número possível de estudos, mas deveriam ser específicos o bastante para não abranger estudos nada relacionados que só atrapalharia na triagem das etapas posteriores.

Para a pesquisa de informações no banco de dados Science Direct a fórmula de busca usada foi: Title, abstract or author-specified keywords (population OR community OR biota) AND (oil spill OR oil accident OR petroleum pollution) AND (brazil)

No caso da busca na plataforma Google Scholar foram geradas duas fórmulas de pesquisa: 1- (biota OR população OR comunidade) AND (derramamento de petróleo OR desastre de petróleo) AND (brazil); 2- (biota OR population OR community) AND (oil spill OR oil accident OR petroleum pollution) AND (brazil). A recuperação dos documentos gerados foi delimitada aos primeiros 1000 resultados gerados.

A quantidade de estudos gerados nas buscas de cada site de pesquisa será apresentada no diagrama PRISMA- ScR.

Além da data limite de 1983, conforme já mencionado, não foi estipulado nenhum outro critério de exclusão para a etapa de extração das bases de origem, de modo a apresentar um panorama mais geral possível dentro das delimitações elencadas pelo PCC da pergunta norteadora.

## Organização e processamento de dados

Os artigos selecionados foram exportados para pasta de trabalho do editor de planilhas Microsoft Excel® 360 onde foram tabelados de acordo com a autoria, título do artigo, revista, ano de publicação, abstract e palavras-chave. Com base nesses dados os itens duplicados foram identificados e eliminados da listagem inicial de artigos. A ferramenta de rastreamento de duplicadas do editor de planilha foi utilizada. O item de avaliação usado pelo programa foi o título do artigo.

Foi realizado um rastreio manual das duplicadas que o programa não conseguia identificar por diferenças mínimas nos títulos como letras, espaçamentos diferentes ou inserção de sinais gráfico durante a importação da base de dados para a planilha.

Posteriormente, todos os títulos e abstracts foram lidos e aqueles em que os artigos não se encaixavam nos aspectos relacionados a pergunta norteadora eram descartados com a devida justificativa.

Os critérios de exclusão foram utilizados na etapa de leitura dos textos completos. Nesse momento foram excluídos artigos primários que eram englobados em cinco categorias gerais: 1- as espécies não eram brasileiras ou exóticas (que não se encontravam em território brasileiro); 2- estudos que abordavam impactos relacionados ao aspecto social de populações humanas; 3- estudos ecotoxicológicos, fisiologia ou de biorremediação; 4- artigos de revisão; 5- artigos de simulações matemáticas ou sensoriamento remoto; e 6- estudos sobre contaminação crônica de petróleo (ambientes portuários, por exemplo).

Os quantitativos de artigos excluídos foram registrados para cada etapa separadamente.

O quadro 6 que se segue, estão descritos os critérios de inclusão e exclusão utilizados na seleção dos artigos.

**Quadro 6 – Critérios de inclusão e exclusão para a seleção dos artigos**

CRITÉRIOS UTILIZADOS	
<b>INCLUSÃO</b>	1- Ano limite de 1983
<b>EXCLUSÃO</b>	1- Espécies não eram brasileiras, ou exóticas no território brasileiro 2- Estudos sobre biorremediação, fisiologia ou ecotoxicologia 3- Estudos que abordavam aspectos biossocial 4- Estudo de revisão 5- Estudos sobre simulações numéricas ou sobre sensoriamento remoto 6- Estudos sobre contaminação crônica de petróleo



A coleta criteriosa dos dados de cada artigo foi efetuada com uma varredura completa nos estudos, onde informações como: população estudada, tipo de material, efeitos ecológicos observados.

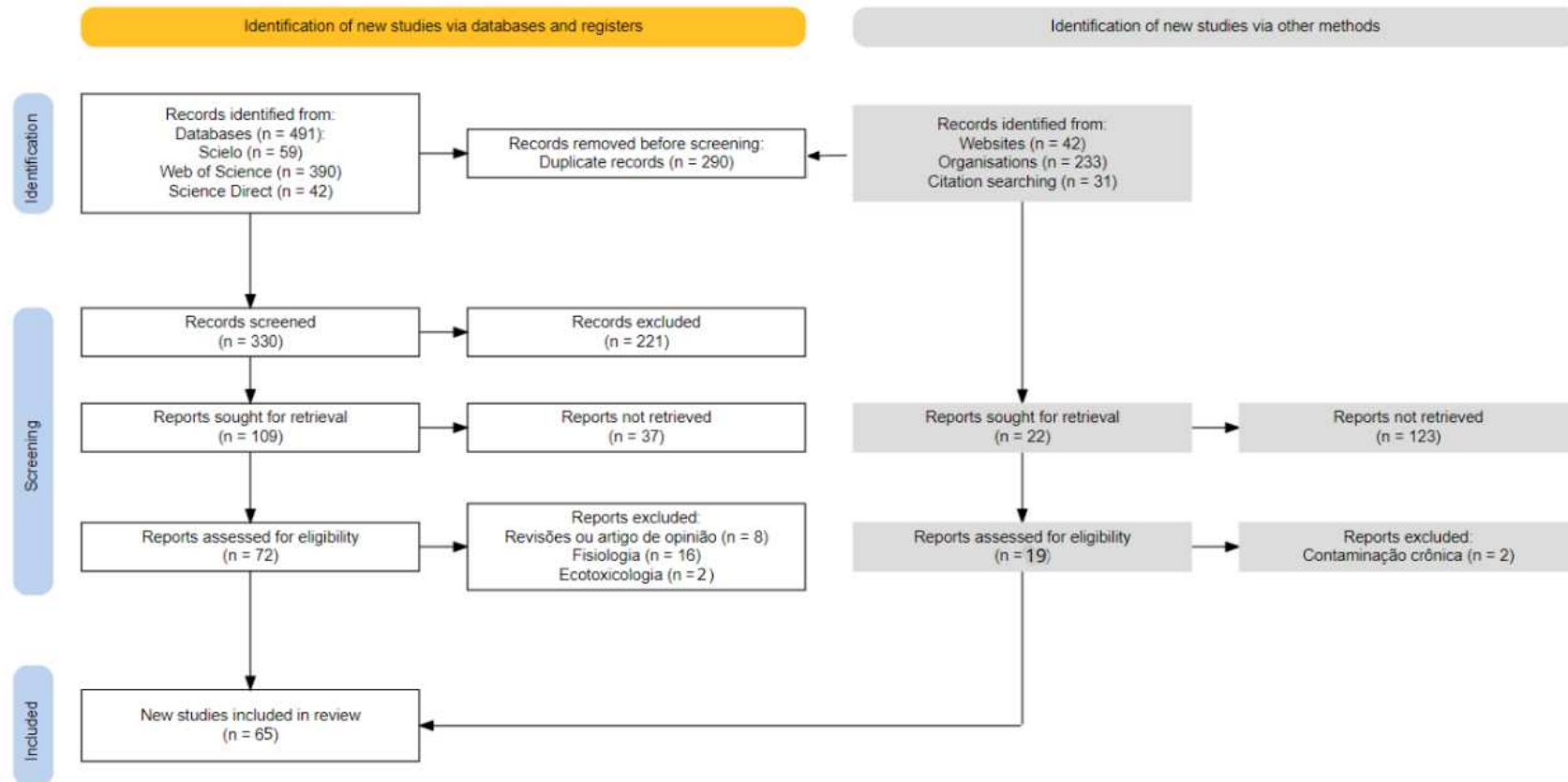
Com base nessas informações foi possível aprofundar as análises comparativas entre diferentes estudos e inferir implicações com uso de alguns dados que possuíam variáveis e metodologias compatíveis para avaliação.

## 4.5 Resultados

Foram obtidos 491 artigos das três bases de dados escolhidas (Scielo, Web of Science e Science Direct), 42 estudos do Google Scholar, 233 teses e dissertações do Catálogo da CAPES e 31 estudos obtidos na leitura de referências. Por fim, foram selecionados 65 itens onde 49 foram artigos primários, 12 dissertações e quatro teses.

A Figura 10 ilustra o fluxograma das etapas de seleção dos artigos e a ordem de inclusão e exclusão dos trabalhos de acordo com o modelo sugerido pelo protocolo PRISMA- ScR (Tricco *et al.*, 2018).

O Quadro 7 ilustra as informações básicas extraídas dos artigos para as análises: autoria, ano publicação, título do trabalho, variáveis avaliadas, estado brasileiro e organismo alvo do estudo.



**Figura 10: Fluxograma do processo de inclusão e exclusão de artigos da revisão de escopo. Conforme o modelo PRISMA ScR (Tricco *et al.*, 2018)**

**Quadro 7: Informações bibliográficas básicas dos trabalhos selecionados pelos critérios apresentados para as análises da biodiversidade**

AUTORIA / ANO	TÍTULO	VARIÁVEIS	ESTADO	ORGANISMO
Milanelli, 1994	Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em costão rochoso da praia de Barequecaba, São Sebastião, SP.	Abundância, Colonização, Diversidade genética, Riqueza e Equitabilidade	São Paulo	comunidade bentônica de costão
Lopes <i>et al.</i> , 1997	Coastal monitoring program of São Sebastião channel: Assessing the effects of 'Tebar V' oil spill on rocky shore populations,	Área de cobertura	São Paulo	macrofauna
Cury, 2002	Atividade microbiana e diversidades metabólica e genética em solo de mangue contaminado com petróleo.	Riqueza, Diversidade Genética e Metabólica, Análise Filogenética, Biomassa Microbiana ,	São Paulo	bactéria e archaea
Faraco e Lana, 2003	Response of polychaetes to oil spills in natural and defaunated subtropical mangrove sediments from Paranagua bay (SE Brazil)	Abundância Relativa, Fecundidade, Recrutamento e Densidade	Paraná	poliqueta
Ostrensky <i>et al.</i> , 2003	Effect of The Oil Spill from the Presidente Getúlio Vargas Refinery, Brazil, in July of 2000, on the Populations of Fishes of the Rivers Saldanha, Barigüi, and Iguaçu.	Diversidade	Paraná	peixes
Reynier, 2003	Efeitos de um derrame simulado de petróleo sobre a comunidade planctônica costeira em Angra dos Reis (RJ).	Densidade, Número de Espécies e Abundância	Rio de Janeiro	zooplâncton e fitoplâncton
Colpo e Negreiros-Fransozo, 2004	Comparison of the population structure of the fiddler crab <i>Uca vocator</i> (Herbst, 1804) from three subtropical mangrove forests	Tamanho dos Indivíduos, Proporção Sexual e Recrutamento	São Paulo	crustáceo
Evans <i>et al.</i> , 2004	Impact of oil contamination and biostimulation on the diversity of indigenous bacterial communities in soil microcosms	Frequência Relativa, Tamanho Médio das Espécies, Diversidade, Riqueza, Equitabilidade	Rio de Janeiro	bactéria

AUTORIA / ANO	TÍTULO	VARIÁVEIS	ESTADO	ORGANISMO
Santa-Cruz, 2004	Foraminíferos atuais em um manguezal impactado por petróleo 20 anos atrás: o Rio Iriri, canal de Bertioga, Santos-SP	Abundância	São Paulo	foraminíferos
Gandra, 2005	Efeitos do petróleo sobre a associação de macroinvertebrados bentônicos de praias arenosas do extremo Sul do Brasil	Composição, Densidade Média, Mortalidade, Distribuição no Sedimento	Rio Grande do Sul	macrobentos
M do C. Marciel-Souza <i>et al.</i> , 2006	Chemical and microbiological characterization of mangrove sediments after a large oil-spill in Guanabara Bay - RJ - Brazil	Contagem de Colônias	Rio de Janeiro	bactéria
Couceiro <i>et al.</i> , 2007	Domestic sewage and oil spills in streams: Effects on edaphic invertebrates in flooded forest, Manaus, Amazonas, Brazil	Abundância Média, Número Total de Taxas, Número Total de Indivíduos e Abundância Relativa	Amazonas	invertebrados edáficos
Nunes, 2007	Diversidade e estrutura de comunidades de Bacteria e Archaea em solo de mangue contaminado com hidrocarbonetos de petróleo	Caracterização da Comunidade, Frequência Relativa, Riqueza, Diversidade e Cobertura	São Paulo	bactéria e archaea
Granzotto, 2009	Caracterização bioquímica e molecular de isolados microbianos presentes em solo contaminado por petróleo	Riqueza e Análise Filogenética	Paraná	bactéria
Taketani <i>et al.</i> , 2009	Characterisation of the effect of a simulated hydrocarbon spill on diazotrophs in mangrove sediment mesocosm	Abundância Relativa, Riqueza, Diversidade Genéticas e Análise Filogenética	Bahia	bactéria
Mader <i>et al.</i> , 2010	Seasonal cycle of mortality of Magellanic Penguins <i>Spheniscus magellanicus</i> influenced by anthropogenic and climatic factors on the coast of Rio Grande do Sul, south Brazil	Ciclo de Mortalidade, Densidade de Carcaças	Rio Grande do Sul	ave

AUTORIA / ANO	TÍTULO	VARIÁVEIS	ESTADO	ORGANISMO
Taketani <i>et al.</i> , 2010	Microbial Community Response to a Simulated Hydrocarbon Spill in Mangrove Sediments	Diversidade, Abundância Relativa de Taxa e Riqueza	Bahia	bactéria e archea
Dias <i>et al.</i> , 2011	Archaeal communities in the sediments of three contrasting mangroves	Composição de comunidade, Análise Filogenética e Riqueza	São Paulo	archaea
Santos <i>et al.</i> , 2011	Mangrove Bacterial Diversity and the Impact of Oil Contamination Revealed by Pyrosequencing: Bacterial Proxies for Oil Pollution	Abundancia Relativa, Riqueza, Diversidade e Estimativa de Cobertura	Rio de Janeiro	bactéria
Flynn <i>et al.</i> , 2011	Impacto ecotoxicológico do derramamento de petróleo, em São Sebastião, São Paulo sobre as taxas vitais de população do anfípode <i>Jassa slatteryi</i>	Classes de Tamanho, Tempo de Geração, Taxa de Crescimento Intrínseco, Densidade, Proporção Sexual e Curva de Sobrevivência	São Paulo	antípoda
Andrade <i>et al.</i> , 2012	Microbial diversity and anaerobic hydrocarbon degradation potential in an oil-contaminated mangrove sediment	Abundância	Rio de Janeiro	bactéria
Dias <i>et al.</i> , 2012	Abundance and Genetic Diversity of nifH Gene Sequences in Anthropogenically Affected Brazilian Mangrove Sediments	Densidade, Distribuição e Análise Filogenética	São Paulo	bactéria
Egres <i>et al.</i> , 2012	Effects of an experimental in situ diesel oil spill on the benthic community of unvegetated tidal flats in a subtropical estuary (Paranaguá Bay, Brazil),	Quantidade de Indivíduos, Número de Espécies, Dominância, Abundância Relativa	Paraná	macrobentos
Fasanella <i>et al.</i> , 2012	The Selection Exerted by Oil Contamination on Mangrove Fungal Communities	Frequência Relativa, Análise Filogenética	São Paulo	fungo
Grande <i>et al.</i> , 2012	Small-scale experimental contamination with diesel oil does not affect the recolonization of Sargassum (Fucales) fronds by vagile macrofauna	Densidade, Taxa de Colonização e Abundância Relativa	São Paulo	macrofauna

AUTORIA / ANO	TÍTULO	VARIÁVEIS	ESTADO	ORGANISMO
Horodesky, 2012	Avaliação ictiofaunística em ambientes expostos ao acidente com óleo combustível na Serra do Mar, Estado do Paraná	Abundância e Distribuição	Paraná	peixes
Lima, 2012	Análise da diversidade, abundância e estrutura funcional da comunidade microbiana de três manguezais do Estado de São Paulo, Brasil	Frequencia relativa, Abundancia, Diversidade	São Paulo	bactérias e fungos
Souza <i>et al.</i> , 2013	Species diversity of culturable endophytic fungi from Brazilian mangrove forests	Abundancia, Caracterização da Comunidade, Frequência, Diversidade e Riqueza	São Paulo	fungo
Eichler <i>et al.</i> , 2014	Evaluation of Environmental and Ecological Effects Due to the Accident in an Oil Pipe from Petrobras in Guanabara Bay, RJ, Brazil	Composição da Comunidade e Abundância	Rio de Janeiro	foraminíferos
Jurelevicius <i>et al.</i> , 2014	Response of the Archaeal Community to Simulated Petroleum Hydrocarbon Contamination in Marine and Hypersaline Ecosystems	Abundância Relativa e Composição da Comunidade	Rio de Janeiro	archaea
Leite <i>et al.</i> , 2014	Are changes in the structure of nematode assemblages reliable indicators of moderate petroleum contamination?	Número total de Indivíduos, Numero de Taxas e Densidade	Paraná	nematódeo
Yamamura <i>et al.</i> , 2014	Florística e estrutura de uma formação pioneira com Influência flúvio-lacustre 12 anos após derramamento de óleo, Araucária, Paraná	Composição, Densidade Média, Mortalidade, Distribuição na Coluna de Sedimento	Paraná	planta
Horodesky <i>et al.</i> , 2015	Ecological analysis of the ichthyofaunal community ten years after a diesel oil spill at Serra do Mar, Paraná state, Brazil,	Distribuição , Média de Tamanho das Espécies E Diversidade	Paraná	peixes
Cabral <i>et al.</i> , 2016	Anthropogenic impact on mangrove sediments triggers differential responses in the heavy metals and antibiotic resistomes of microbial communities	Abundância Relativa	São Paulo	bactéria
Sandrini – Neto <i>et al.</i> , 2016	Are intertidal soft sediment assemblages affected by repeated oil spill events? A field-based experimental approach	Densidade de Macrofauna e Densidade de Dominância	Paraná	macrofauna

AUTORIA / ANO	TÍTULO	VARIÁVEIS	ESTADO	ORGANISMO
Grativol <i>et al.</i> , 2017	Bacterial interactions and implications for oil biodegradation process in mangrove sediments	Riqueza de Espécies	Rio de Janeiro	bactéria
Agostinis <i>et al.</i> , 2017	Is There Detectable Long-term Depletion of Genetic Variation in Freshwater Fish Species Affected by an Oil Spill?	Diversidade Genética e Diversidade Nucleotídica	Paraná	peixes
Otoni <i>et al.</i> , 2017	Functional metagenomics of oil-impacted mangrove sediments reveals high abundance of hydrolases of biotechnological interest	Abundância Relativa e Análise Filogenética	São Paulo	bactéria
Fasca <i>et al.</i> , 2018	Response of marine bacteria to oil contamination and to high pressure and low temperature deep sea conditions	Abundância Relativa, Caracterização da Comunidade, Diversidade	Rio de Janeiro	bactéria
Farias <i>et al.</i> , 2019	Temporal changes in biological traits of diatom communities in response to an oil spill in a subtropical river	Abundância e Caracterização de Comunidade	Santa Catarina	diatomácea
Egres <i>et al.</i> , 2019	Effects of an experimental oil spill on the structure and function of benthic assemblages with different history of exposure to oil perturbation	Quantidade Taxas, Número de Espécies, Abundância Relativa	Bahia	macrobentos
Ghizelini <i>et al.</i> , 2019	Fungal communities in oil contaminated mangrove sediments - Who is in the mud?	Riqueza	Rio de Janeiro	fungo
Procópio, 2020	Changes in microbial community in the presence of oil and chemical dispersant and their effects on the corrosion of API 5L steel coupons in a marine-simulated microcosm	Abundância, Riqueza, Diversidade e Análise Filogenética	Rio de Janeiro	bactéria
Rattes <i>et al.</i> , 2020	Chemical and biological dispersants differently affect the bacterial communities of uncontaminated and oil-contaminated marine water	Abundância, Riqueza, Diversidade e Análise Filogenética	Rio de Janeiro	bactéria
Sousa, 2020	Dinâmica temporal e ecologia funcional de uma formação pioneira de Influência flúvio-lacustre 19 anos após derramamento de petróleo	Ocorrência, Frequência e Cobertura	Paraná	planta
Campelo <i>et al.</i> , 2021	Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs	Composição, Frequência Relativa e Abundância	Pernambuco	microzooplankton



AUTORIA / ANO	TÍTULO	VARIÁVEIS	ESTADO	ORGANISMO
Craveiro <i>et al.</i> , 2021	Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil,	Riqueza, Equitabilidade, Abundância, Diversidade, Diversidade	Pernambuco	macrobentos
Gusmão <i>et al.</i> , 2021	The barnacle <i>Chthamalus bisinuatus</i> is the only sessile invertebrate colonizing oil patches on beachrocks one year after a massive oil spill on the Northeastern Brazilian coast,	Densidade	Bahia	crustáceo
Lira <i>et al.</i> , 2021	Effects of contact with crude oil and its ingestion by the symbiotic polychaete <i>Branchiosyllis</i> living in sponges ( <i>Cinachyrella</i> sp.) following the 2019 oil spill on the tropical coast of Brazil,	Densidade, Abundância Relativa, Tamanho Médio	Pernambuco	poliqueta e esponja
Muller <i>et al.</i> , 2021	Cellular accumulation of crude oil compounds reduces the competitive fitness of the coral symbiont <i>Symbiodinium glynnii</i>	Taxa de Crescimento	Pernambuco	coral
Rosa, 2022	Sandy beach macroinfauna response to the worst oil spill in Brazilian coast: No evidence of an acute impact,	Número de Espécies, Dominância e Similaridade	Sergipe	macrofauna
Souza <i>et al.</i> , 2022	Assessment of the Brazilian Coast Oil Spill Impact in the fish eggs and larvae development from the Tropical Continental Shelf	Densidade, Proporção de Anormalidades, Composição	Bahia	peixes
Lima, 2022	Análise dos impactos do óleo cru pesado sobre as comunidades macrobentônicas de substratos consolidados em Pernambuco (Brasil)	Diversidade e Abundância	Pernambuco	macrobentos
Santana <i>et al.</i> , 2022	Reef crab population changes after oil spill disaster reach Brazilian tropical environments	Abundância, Proporção Sexual, Curva de Maturidade Sexual, Tamanho Médio e Tamanho Relativo	Pernambuco e Alagoas	caranguejo
Alves <i>et al.</i> , 2023	Life history and population dynamics of the enigmatic tanaid <i>Chondrochelia dubia</i> (Tanaidacea: Leptocheliidae) in a tropical seaweed bed	Abundância, Tamanho Corporal, Proporção Sexual e Fecundidade	Pernambuco	tanaidácea

AUTORIA / ANO	TÍTULO	VARIÁVEIS	ESTADO	ORGANISMO
Bergamo <i>et al.</i> , 2023	Tar balls as a floating substrate for long-distance species dispersal	Abundância e Estrutura da População	Pernambuco	Crustáceo, poliqueta, alga
Silva, 2023	Avaliação dos efeitos da contaminação por derramamento de óleo no Atlântico Sudoeste Tropical por meio do uso de organismos planctônicos	Mortalidade In situ e Ex situ	Pernambuco	copépodos
Souza <i>et al.</i> , 2023	The impact of Brazilian coast oil spill on the mesozooplankton of the tropical narrowest continental shelf	Abundância, Frequência Relativa e Densidade	Bahia	zooplâncton
Massocatto, 2023	O uso do metabarcoding na Avaliação da resposta das associações de bactérias e fauna bentônica de manguezais ao desastre do óleo de 2019	Diversidade	Bahia	bactéria e bentos
Moura, 2023	Avaliação da severidade do impacto petróleo nos recifes do litoral pernambucano: múltiplas abordagens no uso de Copepoda Harpacticoida (Crustacea)	Abundância, Diversidade, Riqueza e Densidade	Pernambuco	crustácea e macrofauna
Pereira <i>et al.</i> , 2023	The Impact of Highly Weathered Oil from the Most Extensive Oil Spill in Tropical Oceans (Brazil) on the Microbiome of the Coral <i>Mussismilia harttii</i>	Abundância	Bahia	coral
Veiga, 2023	Análise comparativa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e indicadores fitossociológicos em um manguezal contaminado por petróleo: estudo de caso no manguezal do rio Iriri, canal de Bertioga, Santos (SP)	Índice de Vegetação e Indicadores Fitossociológicos	São Paulo	plantas
Rosa Filho <i>et al.</i> , 2024	The role of habitat heterogeneity and timescales on the recovery of reef epifaunal communities affected by a massive oil spill in the tropics,	Abundância, Dominância, Densidade, Diversidade e Equitabilidade	Pernambuco	coral
Santana <i>et al.</i> , 2024	Population biology of the reef crab <i>Eriphia gonagra</i> (Fabricius, 1781): Spatial variations and anthropogenic impacts in the Western Tropical Atlantic,	Abundância, Proporção Sexual, Curva de Maturidade Sexual, Tamanho Médio e Tamanho Relativo	Pernambuco e Alagoas	crustáceo

AUTORIA / ANO	TÍTULO	VARIÁVEIS	ESTADO	ORGANISMO
Silveira <i>et al.</i> , 2024	First Record of Malformation in Seahorses Attributed to the Oil Spill off the Brazilian Coast in 2019	Taxas Reprodutivas e Índices de Má Formação	Pernambuco	peixe

**Fonte: Elaborada pela autora.**

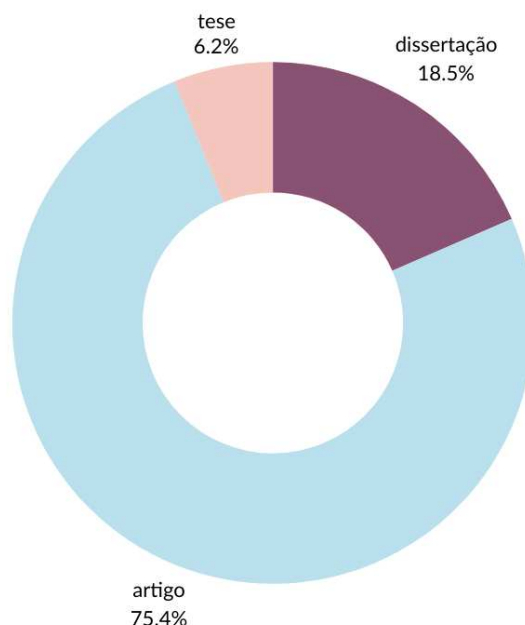
### Análise qualitativas e quantitativas dos dados obtidos

O Gráfico 3 apresenta a distribuição dos trabalhos seleccionados entre os anos de 1994 e 2024. Nota-se dois picos de produção durante os 20 anos de dados: 2012 (sete trabalhos) e 2023 (oito trabalhos), média de 2,2 trabalhos durante 30 anos.



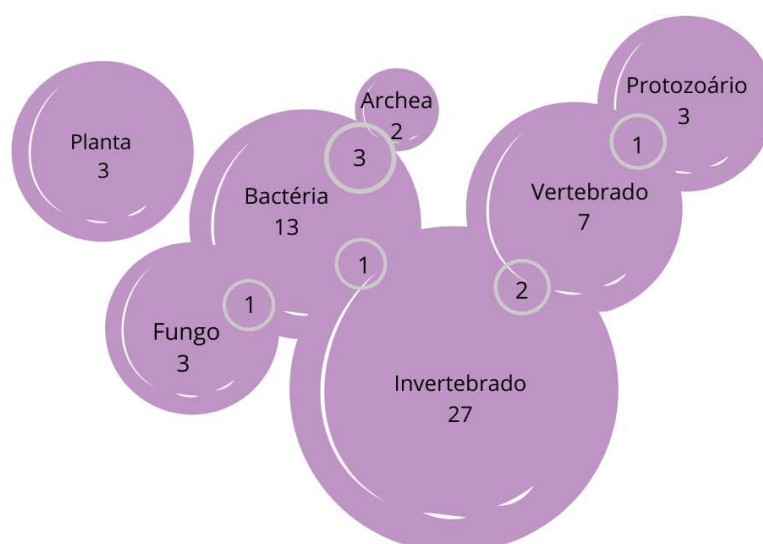
**Gráfico 3: Distribuição dos trabalhos seleccionados entre os anos de 1994 e 2024.**

No Gráfico 4 que se segue ilustra as porcentagens de itens seleccionados nas categorias de artigos primários, tese e dissertações. A média de teses ou dissertações por ano foi de 1/ano, apenas nos anos de 2012 (2/ano) e 2023 (4/ano) que apresentou o mesmo incremento observado no gráfico anterior. Para os artigos científicos houve muita variação ao longo dos anos, mas os dois anos de maior produção foram 2012 (cinco) e 2021(cinco).



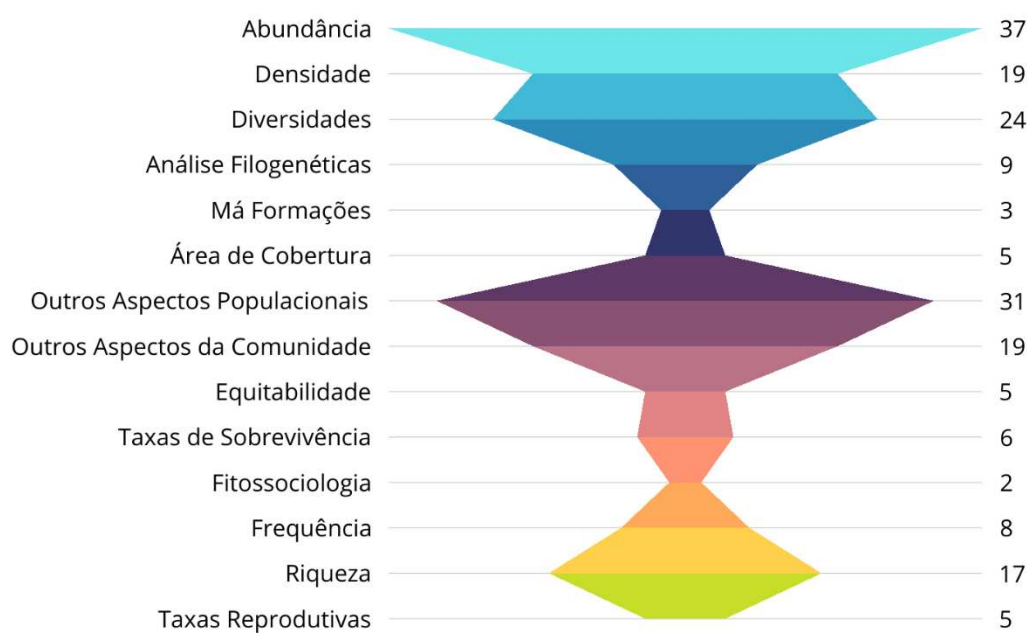
**Gráfico 4: Porcentagem de artigos científicos, tese e dissertações selecionados para a revisão de escopo.**

No esquema abaixo (Figura 11) mostra a ocorrência dos grupos de organismo, onde os números representam a quantidade de estudos do mesmo grupo. Os círculos vazados que interseccionam os círculos maiores ilustram o número de estudos que investigam mais de um táxon. O número total é maior do que a quantidade de trabalhos porque mais de um táxon foram abordados em um mesmo estudo.



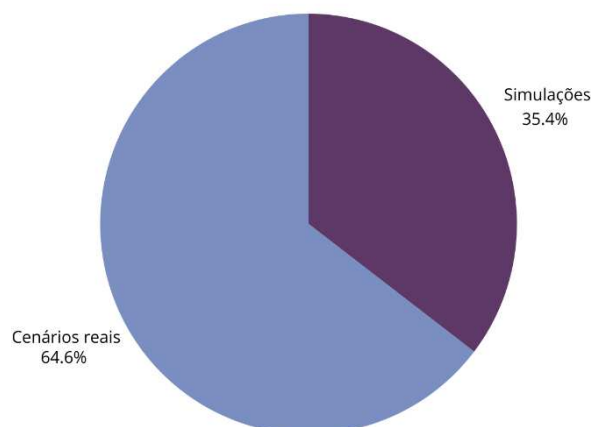
**Figura 11: Representação esquemática dos organismos avaliados dos estudos selecionados.**

O Gráfico 5 ilustra as variáveis apresentadas nos estudos e as quantidades que aparecem. Em alguns casos as variáveis são semelhantes, mas optou-se por manter os termos mais usados pelos autores. Houve maior quantidades de estudos de avaliação de comunidades (48 estudos) seguido por populações (nove estudos). Os termos mais comuns citados pelos autores foram: Abundância e Diversidade. Dois termos relacionados aos estudos de populações e comunidade respectivamente.



**Gráfico 5: Variáveis ecológicas utilizadas nos estudos selecionados para a revisão.**

O Gráfico 6 apresenta a porcentagem de estudos desenvolvidos como simulações, seja com simulações *in situ* ou com a criação de mesocosmo ou microcosmos (23 estudos). As metodologias que realizaram avaliação dos cenários reais dos acidentes (42 estudos).



**Gráfico 6: Porcentagem de estudos selecionados em cenário real e simulações.**

Os Gráficos 7 e 8 agrupados na sequência mostram aspectos temporais dos estudos. No gráfico 7 ilustra os períodos entre o derramamento e as amostragens ou análises.

Alguns estudos conseguiram avaliar a área antes e depois do desastre: Rosa (2022); Santana *et al.* (2024); e Faria *et al.* (2019). Outros estudos só conseguiram avaliar após o desastre, como por exemplo Lopes *et al.* (1994) que avaliou a área após dois dias do derrame e Procópio (2020) que fez suas pesquisas na área duas semanas após o acidente. Outros estudos puderam avaliar os impactos somente após muito tempo depois do acidente, como por exemplo Sousa (2020) que analisou a área do desastre do Arroio do Saldanha no Paraná após 19 anos; e Veiga (2023) que apresentou o maior tempo desse tipo de estudo: 40 anos após o desastre em Bertioga/SP

Em relação ao gráfico 8 foram selecionados os estudos que desenvolvem metodologias de mesocosmo ou microcosmo e simulações *in situ*. O gráfico mostra os períodos de avaliação desses sistemas controlados.

Nesse tipo de metodologia foi o estudo de Flynn *et al.* (2011) que iniciou com um evento real e teve o monitoramento mais longo de uma população *in situ*, seis anos. Entre os mesocosmos o de maior tempo foi o de Taketani *et al.* (2010) com 75 dias. Já o de microcosmos foi o estudo de Evans *et al.* (2004) com 360 dias.

Para realizar a avaliação dos impactos na biodiversidade optamos por selecionar as informações apenas dos estudos primários. Foram 31 artigos que foram detalhadas as principais conclusões, eventos de derramamento e espécies ou populações avaliadas no Quadro 8 que segue.





**Quadro 8: Informações bibliográficas, tipo de organismos e principais conclusões dos artigos primários de avaliação dos eventos reais.**

ACIDENTE	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ ESPÉCIE	CONCLUSÕES
São Paulo 1983	Colpo e Negreiros-Fransozo, 2004	<i>Uca vocator</i>	O mangue impactado pelo derrame teve população com indivíduos de menor tamanho e menor recrutamento.
	Dias <i>et al.</i> , 2011	Comunidade de Archea	A composição das populações varia em abundância específicas de acordo com o meio ambiente. Além disso foi identificado a expressão de genes de promovem a amonificação.
	Dias <i>et al.</i> , 2012	Comunidade bacteriana do solo	Quanto a abundância gene nitrificante ( <i>nifH</i> ) não houve diferenças significativas entre os ambientes em avaliação. Mas as diferenças estavam nos táxons de bactérias que expressavam esse gene. Além de detectarem um conjunto novo de sequência do gene em questão.
	Fasanella <i>et al.</i> , 2012	Comunidade de fungos	Foi observado uma maior abundância de certos táxons em áreas impactadas, tanto por petróleo como por despejo doméstico. Os autores relacionam ao possível potencial bioremediador dos fungos.
	Sebastianes <i>et al.</i> , 2013	Comunidade de fungos endofíticos	A maior diversidade de grupos estava nas áreas menos impactadas
	Cabral <i>et al.</i> , 2016	Comunidade bacteriana	Nas áreas impactadas os grupos tinham maior expressão de genes que respondiam pela resistência antibiótica e de metais pesados.
	Otoni <i>et al.</i> , 2017	Comunidade bacteriana	A expressão genica de vários componentes da família das hidrolases foi maior em áreas impactadas por óleo do que áreas não impactadas ou impactada por despejos domésticos. Além disso áreas com histórico de derramamento mostraram sequencias novas de genes dessa família.

ACIDENTE	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ESPÉCIE	CONCLUSÕES
São Paulo 1994	Lopes <i>et al.</i> , 1997	<i>Chthamalus</i> spp., <i>Tetraclita stalactifera</i> e <i>Brachidontes</i> spp.	O derrame não teve impacto na cobertura das espécies nos costões rochosos amostrados.
Amazonas 1999	Couceiro <i>et al.</i> , 2007	Insetos edáficos	As populações dos insetos responderam negativamente as alterações causadas tanto pelas descargas de esgoto doméstico e ao derramamento de óleo.
Rio de Janeiro 2000	Maciel- Souza, <i>et al.</i> , 2006	Comunidade bacteriana	A avaliação mostrou apenas a contagem de unidades de formadoras de colônia (UFC), e a abundância foi contante em amostras de água e em amostras de sedimento a área impactada por óleo apresentou menor abundância.
	Andrade, <i>et al.</i> , 2012	Comunidade bacteriana	Nas camadas mais superficiais do solo do mangue impactado existem mais bactérias anaeróbicas degradadoras de hidrocarbonetos, nas camadas mais profundas as comunidades de diferentes locais ficam mais semelhantes.
	Eichler <i>et al.</i> , 2014	Foraminíferos	As alterações do meio beneficiaram grupos diferentes. Mas nas proximidades do local do derramamento a espécie <i>Elphidium</i> spp foi a dominante em detrimento de outras espécies devido ao baixo PH que prejudica as conchas frágeis.
	Ghizelini <i>et al.</i> , 2019	Fungos	Maiores abundancias foram em locais mais poluídos ou que tiveram histórico de derrame.
Paraná 2000	Ostrensky <i>et al.</i> , 2003	Peixes	Os índices de diversidade mostraram uma leve tendencia para redução da diversidade específica da ictiofauna, mas não há evidencia que esteja relacionado ao derrame. A qualidade da água resultante de despejos industriais e domésticos parece ter maior relação com essa variável.

ACIDENTE	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ESPÉCIE	CONCLUSÕES
Paraná 2000	Agostinis <i>et al.</i> , 2017	Peixes	As populações não apresentaram impactos relacionados ao derramamento, os autores acreditam que os indivíduos se refugiaram para regiões protegidas dos compostos e desses locais foi possível recolonizar as áreas afetadas pelo derramamento.
Paraná 2001	Horodesky <i>et al.</i> , 2015	Peixes	O estudo mostrou a dificuldade de relacionar se as alterações na estrutura e composição da comunidade de peixes se estaria mais relacionada ao evento do derrame ou características particulares de cada rio.
Paraná 2004	Farias <i>et al.</i> , 2019	Diatomácea	Ao longo dos dias de amostragem após o derramamento as populações dominantes de organismos tolerantes e móveis tornou-se dominante em resposta a oferta de alimento e redução da luminosidade.
Rio Grande do Sul	Mader <i>et al.</i> , 2010	Pinguim	Foram relatados vazamentos de petróleo na costa sulista em 1997, e em 2008 em Santa Catarina. Os registros de carcaças oleadas de pinguins correspondem a 30% da amostra dos 10 anos de pesquisa. O autor não apresenta uma relação entre as duas informações.
Nordeste 2019	Lira <i>et al.</i> , 2021	<i>Branchiosyllis</i> spp. e <i>Cinachyrella</i> sp.	Apresentou um aumento na mortalidade da população de poliqueta associada a esponja na praia do Paiva. Além disso as esponjas e as poliquetas apresentavam gotículas de óleo na superfície, canais das esponjas e faringe das poliquetas. Os autores observaram um aumento na população das poliquetas cerca de 1 mês após o aparecimento das manchas, indicando uma recuperação das populações.

ACIDENTE	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ESPÉCIE	CONCLUSÕES
Nordeste 2019	Craveiro <i>et al.</i> , 2021	<i>Jania capilácea</i> , <i>Penicillus capitatus</i> e macrofauna associada	As alterações da epifauna foram pequenas, os autores acreditam que um estudo mais detalhado com enfoque nos táxons mais representativos poderiam revelar respostas distintas à contaminação.
	Campelo <i>et al.</i> , 2021	Zooplâncton	Embora não apresente diferença estatística entre a abundância de gotas de óleo entre as áreas costeiras amostradas, a pluma estuarina possuía valores maiores de óleo. Também foi observado a ingestão de gotículas de óleo por alguns organismos do zooplâncton. Mas não foi evidenciado alterações qualitativas na comunidade.
	Gusmão <i>et al.</i> , 2021	<i>Chthamalus bisinuatus</i>	O estudo mostrou que a espécie <i>Chthamalus bisinuatus</i> apresentou resistência a presença de óleo nos substratos oleados. Só não ficou claro se é devido a resistência inerente dos espécimes adultos e juvenis ou devido a baixa seletividade da larva.
	Sampaio <i>et al.</i> , 2022	Ictioplancton	A ocorrência do derrame na área parece estar relacionada ao aumento das anormalidades no desenvolvimento dos embriões de peixes. Além da redução significativa na abundância, riqueza taxonômica e diminuição no tamanho da larva.
	Santana <i>et al.</i> , 2022	<i>Pachygrapsus transversus</i>	Observou-se uma diminuição no número de fêmeas durante as amostragens, os autores acreditam que o óleo pode ter obstruído as tocas.
	Rosa <i>et al.</i> , 2022	Macroinfauna	A presença do óleo não mostrou alterações na composição das populações observadas, o autor afirma que algumas alterações observadas podem estar relacionadas ao ciclo natural das espécies com os períodos chuvosos e seco.

ACIDENTE	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ESPÉCIE	CONCLUSÕES
Nordeste 2019	Alves <i>et al.</i> , 2023	<i>Chondrochelia dubia</i>	A população teve pouco impacto relacionado ao derramamento, provavelmente relacionado a tolerância ambiental da espécie e um ciclo de vida de relevante plasticidade.
	Bérgamo <i>et al.</i> , 2023	Macroalga, <i>Hipponoe gaudichaudi</i> , e <i>Lepas anserifera</i> , larva de <i>Brachyura</i> associadas a bolhas de alcatrão.	A bolas de alcatrão são vetores de dispersão de espécies marinhas por longas distancias apesar dos níveis elevados de PAHs nas superfícies. No caso da <i>L. anserifera</i> as bolas foram capazes de manter um ambiente complexo o bastante para sustentar 3 gerações da espécie. Além disso foi a espécie com mais registro durante o tempo de estudo.
	Souza <i>et al.</i> , 2023	Zooplâncton	Após a chegada do óleo a comunidade teve uma queda no número de táxons, frequência de ocorrência e na densidade.
	Silveira <i>et al.</i> , 2024	<i>Hippocampus reidi</i>	Embora com a limitação de não ter avaliação das concentrações de PAH o estudo apresentou aumento nos índices de teratogênese da prole produzida após o aparecimento do derramamento na área de estudo mais exposto a influência marinha.
	Santana <i>et al.</i> , 2024	<i>Eriphia gonagra</i>	A população não apresentou alterações em decorrência do aparecimento das manchas em termos de proporção sexual e abundância de indivíduos
	Rosa Filho <i>et al.</i> , 2024	Comunidade da epifauna em <i>Jania capilacea</i> e <i>Penicillus capitatus</i>	A comunidade apresentou diferentes respostas quanto a alga associada. A <i>J. capilacea</i> que fica mais localizada em áreas expostas e tem a epifauna mais diversa, sofreu mais alterações imediatas e por mais tempo <i>P. capitatus</i> que fica em áreas mais protegidas os impactos demoram mais para ocorrer e a recuperação foi mais rápida.

Fonte: Elaborada pela autora.

## Microorganismos

Foram selecionados 11 estudos que investigaram os efeitos do derramamento de óleo nas comunidades microbianas, incluindo bactérias, Archaea, foraminíferos, diatomáceas e fungos.

No manguezal de Bertioga (SP 1983) seis estudos; quatro estudos referente ao acidente no Rio de Janeiro em 2000 e um estudo no acidente no Paraná 2004.

Os estudos com populações de bactérias mostraram aumento nas abundâncias relativas de táxons como Gammaproteobacteria e Deltaproteobacteria (Cabral *et al.*, 2016), bactérias anaeróbicas degradadores de hidrocarbonetos (Andrade *et al.*, 2012) e bactérias que possuíam expressão gênica de grupos de composto de hidrolases (Ottoni *et al.*, 2017). Os resultados dos trabalhos com fungos apresentaram também incremento da diversidade em ambiente com óleo (Fasanella *et al.*, 2012; Ghizelini *et al.*, 2019). Maior expressão genica de componente de amonificação em populações de *Archea* (Dias *et al.*, 2011) também reforçam a ideia dos autores de que essas alterações podem estar relacionadas a um papel detoxificador da comunidade no ambiente.

Sebastianes *et al.* (2013) e Marciel-Souza *et al.* (2006) observaram maiores frequência de fungos e bactérias, respectivamente, em áreas protegidas do que áreas com histórico de óleo. Já Dias *et al.* (2012) não encontraram diferenças significativas na comunidade bacteriana no manguezal de Bertioga.

Adicionalmente para a comunidade de foraminíferos, que são organismos eucariontes dotados de carapaça, no Rio de Janeiro foram observadas resposta como perda de diversidade, tanto pelo despejo de óleo, quanto por esgoto doméstico. No ponto de amostragem próximo a REDUC a mudança de PH deixou o ambiente estéril pois afeta diretamente a conservações das conchas (Eichler *et al.*, 2014). Alterações semelhantes foram identificadas em diatomáceas estudadas em rios de Santa Catarina afetados pelo óleo do evento do Paraná 2004. Os grupos de espécies tolerantes e móveis tornaram-se preponderantes na comunidade dos locais afetados (Farias *et al.*, 2019).

## Invertebrados e Macroalgas

Com relação aos invertebrados, os grupos investigados foram: crustácea, molusca, poliqueta, comunidade zooplancônica, insetos, esponja e cnidária além das macroalgas. Contabilizaram 14 estudos primários referentes ao desastre no Nordeste 2019 (11

estudos), derramamento da REMAM em Manaus em 1999, derramamento no canal de São Sebastião – SP/1994 e o evento em Bertioga – SP/1983 todos com um estudo respectivamente.

Para crustáceos, Colpo e Negreiros-Fransozo (2004) identificaram que a população de *U. vocator* do manguezal de Bertioga possuía indivíduos de menores tamanhos e menor taxa de recrutamento após o acidente.

Em contrapartida, para outros grupos de animais, tais como outras espécies de crustáceo, microzooplâncton, epifauna de macroalga e tanaidácea, a tendência foi de reestabelecimento rápido ou ausência de alterações quantitativas significativas ou nas populações após o contato com o óleo: Lopes *et al.*, (1997) (crustáceo), Campelo *et al.*, (2021) (microzooplâncton); Craveiro *et al.* (2021) (epifauna associada a macroalga); Alves *et al.*, (2023) (tanaidácea); e Santana *et al.*, (2024) (crustáceo).

Para a comunidade de insetos edáfico avaliados em córregos próximos a Manaus responderam negativamente tanto a presença de óleo como ao meio contaminado com esgoto doméstico (Couceiro *et al.*, 2007). Impactos deletérios também foram observados na proporção sexual da população de *P. transversus* (Santana *et al.*, 2022), e nas populações de poliquetas da praia do Paiva no litoral de Pernambuco, onde as manchas causaram aumento na mortalidade e mudança nos táxons mais dominantes (Lira *et al.*, 2021).

Outro exemplo da resistência de alguns grupos de invertebrados à presença do óleo foi observado por Gusmão *et al.* (2021) onde as cracas eram capazes de colonizar beachrocks oleados em Pernambuco. E no estudo de Bergamo *et al.* (2023) onde bolas de alcatrão à deriva no oceano, serviram como substrato de assentamento para crustáceos, poliquetas e macroalgas.

## **Vertebrados**

Vertebrados foi o grupo com menos contribuição de estudos, apenas seis, na maioria com peixes: dois artigos referentes aos eventos do Nordeste/2019, dois sobre o derramamento da REPAV no Paraná/2000 e um artigo sobre o evento Paraná/2001. Quanto a outros grupos de animais, apenas um artigo tratou sobre carcaças de Pinguim de Magalhães encontradas no litoral do Rio Grande do Sul relacionando com eventos de derramamento na área.

A ictiofauna na maioria dos estudos não apresentou alterações relacionadas diretamente ao evento de derramamento. Os autores concordam que a degradação ambiental geralmente relacionada a despejo irregular causa mais alterações aos animais do que a presença do óleo (Ostrensky *et al.*, 2003, Horodesky *et al.*, 2015; Agostinis *et al.*, 2017).

Porém para estudos relacionados ao último evento no litoral nordestino a ictiofauna mostrou modificações deletérias diretamente relacionadas com a reprodução das espécies: má formação em cavalos marinhos (Silveira *et al.*, 2024) e alterações de densidade e anormalidades em ovos e larvas de peixes (Sampaio *et al.*, 2022).

Os estudos experimentais controlados serão avaliados no quadro 9 que segue. Assim como os estudos primário de impacto na biodiversidade, optamos por selecionar apenas os artigos primários.



**Quadro 9: Informações bibliográficas, tipo de organismos, tempo de experimento e principais conclusões dos artigos primários de avaliação de derrames simulados *in situ*, estudos de mesocosmo e microcosmo.**

TIPO DE ESTUDO	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ESPÉCIE	TEMPO DE EXPERIMENTO	CONCLUSÕES
<i>In situ</i>	Faraco <i>et al.</i> , 2003	Comunidade de Poliquetas	64 dias	A recolonização da poliquetas foi mais rápida em áreas sem defaunação por secagem do sedimento. A recolonização tem relação com a mobilidade diferenciada dos adultos de áreas não afetadas próximas.
	Flynn <i>et al.</i> , 2011	<i>Jassa slatteryi</i>	6 anos	A espécie apresenta uma recuperação pós impacto de cerca de dois anos, mas ainda não alcançou níveis pré-impacto provavelmente porque a capacidade suporte do ambiente para a espécie ainda não se restabeleceu.
	Egres <i>et al.</i> , 2012	Macrofauna	146 dias	A comunidade apresentou alterações agudas, mas logo se restabeleceu a níveis pré-impacto. Os autores afirmam que o derramamento teve pouca influência nos descritores de comunidade pois as associações mostraram-se resilientes a esse estressor.
	Grande <i>et al.</i> , 2012	Macrofauna associada a <i>Sargassum cymosum</i>	12 dias	As densidades das populações e composição faunística antes e depois do experimento não diferiram significativamente.
	Leite <i>et al.</i> , 2014	Assembleia de Nematoda	5 dias	Não houve mudança significativas antes e depois do impacto.

TIPO DE ESTUDO	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ESPÉCIE	TEMPO DE EXPERIMENTO	CONCLUSÕES
<b><i>In situ</i></b>	Sandrini – Neto <i>et al.</i> , 2016	Macrofauna	15 semanas	Em geral as populações sofreram mais com a exposição da derramamentos de óleo frequentes, mas de pequenas quantidades do que dos derramamentos pontuais de grandes quantidades.
	Egres <i>et al.</i> , 2019	Macrofauna	7 dias	Não foi identificado alterações consistentes relacionadas ao derramamento na estrutura taxonômica e nem na composição funcional das assembleias macrobênticas.
<b>Mesocosmo</b>	Taketani <i>et al.</i> , 2009	Comunidade microbiana	75 dias	Tanto a amostra de solo de ambiente protegido quanto amostra de solo de ambiente degradado possuem microrganismos hidrocarbonoclastico, entretanto amostras oriundas de ambiente impactado mostram maior eficiência.
	Taketani <i>et al.</i> , 2010	Bactéria e <i>Archea</i>	75 dias	Foi observado alterações nas composições das populações antes e depois do experimento. Os autores acreditam que a comunidade que já ocorre em manguezal exposto ao petróleo cronicamente pode ter populações minoritárias capazes de responder mais rapidamente a adição de mais petróleo.
	Pereira <i>et al.</i> , 2023	Microbioma associado ao coral <i>Mussismilia harttii</i>	10 dias	A presença do óleo não afetou significante a capacidade fotossintética do dinoflagelado. Mas o microbioma dos corais teve aumento nas bactérias patogênicas e indicadoras de estresse em todos os tratamentos de óleo.

TIPO DE ESTUDO	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ESPÉCIE	TEMPO DE EXPERIMENTO	CONCLUSÕES
<b>Microcosmo</b>	Evans <i>et al.</i> , 2004	Comunidade bacteriana	360 dias	A comunidade de bactérias degradadores de hidrocarbonetos tiveram declínio, a bioestimulação do solo depois de 30 dias de incubação controle e exposta ao petróleo causou o aumento da densidade desse grupo.
	Dos Santo <i>et al.</i> , 2011	Bactéria	66 dias	A composição bacteriana não mudou muito com a presença de óleo nos dias iniciais, as modificações só ficaram mais claras depois de 23 dias de estudo.
	Jurelevicius <i>et al.</i> , 2014	<i>Archea</i>	32 dias	A comunidade sofreu impacto com a presença dos derivados de petróleo, apresentando alteração nos grupos dominantes. Além disso, os autores encontraram indícios de potencial hidrocarbonoclástico.
	Grativol <i>et al.</i> , 2017	Bactéria	150 dias	O processo de biorremediação possui duas fases que dirigem as alterações da comunidade bacteriana de acordo com o tempo e fatores ambientais
	Fasca <i>et al.</i> , 2018	Bactéria	40 dias	A comunidade bacteriana em condições de temperatura entre 4 a 22 °C a contaminação do óleo é o fator mais estressor. Para comunidade em condições hiperbáricas, a pressão tem maior efeito na abundância relativa da comunidade.

TIPO DE ESTUDO	REFERÊNCIA	ORGANISMO/ESPÉCIE	TEMPO DE EXPERIMENTO	CONCLUSÕES
Microcosmo	Procópio L 2020	Bactéria	30 dias	A presença de dispersantes químicos, além do óleo, altera a as estruturas da comunidade bacteriana seja da forma de biofilme ou dispersa no plancto.
	Rattes <i>et al.</i> , 2020	Bactérias	30 dias	A aplicação de dispersantes para o tratamento dos derrames diminui os índices de diversidade alfa mais do que a presença do próprio óleo sem tratamento.
	Muller <i>et al.</i> , 2021	<i>Symbiodinium glynnii</i>	30 dias	Os organismos adicionaram o carbono do petróleo bruto à biomassa celular, houve redução linear no crescimento populacional, organismos realocados em ambiente sem a contaminação ainda apresentaram as mesmas características dos pais que haviam sido contaminados anteriormente.

Fonte: Elaborada pela autora.

## Microorganismos

Foram selecionados 11 trabalhos que usaram microorganismos em estudos experimentais mesocosmo (três artigos) e microcosmo (8 artigos).

Os estudos de mesocosmo de Taketani *et al.*, (2009; 2010) utilizaram amostras de solo de manguezal e mantiveram a avaliação da comunidade microbiológica por 75 dias em presença de petróleo pesado. Em Taketani *et al.* (2009) as alterações da microbiota foram observadas, mas na metodologia do estudo não chegava a identificar os grupos que são mais dominantes. Foi observado maior representatividade do grupo *Anaerolineae* nos ambientes iniciais e depois de 75 dias de incubação e contaminação o grupo de *Deltaproteobacteria* foi dominante (Taketani *et al.*, 2010). O terceiro artigo sobre mesocosmo foi de Pereira *et al.* (2023) onde o dinoflagelado *M. harttii* manteve suas aptidões fotossintéticas, mas no meio de cultivo apareceram bactérias patogênicas como o grupo Vibrionaceae relacionado a presença do óleo.

Evans *et al.* (2004) criaram um mesocosmo durante 360 dias. Os resultados mostraram um aumento na degradação do óleo cru após o período de 90 dias e depois que o meio foi bioestimulado com adição de nutrientes nas amostras. Santos *et al.* (2011) utilizaram a metodologia de Pirosequenciamento no seu estudo de microcosmo para identificar alterações na comunidade bacteriana submetido a ambiente de contaminação de óleo combustível. A ordem Chromatiales era dominante antes do experimento e diminuiu depois da contaminação. Enquanto o grupo Alteromonadales aumentou e tornou-se dominante pós contaminação. Jurelevicius *et al.* (2014) mostraram em seus estudos experimentais que a comunidade de *Archea* originária de ambiente hipersalino apresentou atividade hidrocarbonoclastica até então pouco explorada nos estudos do grupo.

Os estudos de Grativol *et al.* (2017); Fasca *et al.* (2018); Procópio (2020) e Rattes *et al.* (2020) avaliaram a comunidade bacteriana em seus experimentos de microcosmos e revelaram as alterações nos táxons constituintes da comunidade de acordo com diferentes aspectos: Os estudos de Grativol *et al.* (2017) mostraram que o processo metabólico bacteriano para remediação do ambiente apresenta duas fases distintas que se manifesta na constituição da comunidade. Fasca *et al.* (2018) afirmam que as condições de pressão hiperbárica pode implicar em alteração na comunidade maiores do que a presença dos compostos de petróleo. Procópio (2020) relaciona as mudanças nos táxons dominantes a presença de dispersantes químicos no meio. E por fim, Rattes

*et al.* (2020) revalidam a importância dos dispersantes nessas alterações observadas pelos outros estudos. Nesse caso, os autores usam o índice de diversidade alfa para quantificar as alterações.

O dinoflagelado *S. glynnii* que vive em associação mutualística com corais foi usado por Muller *et al.* (2021) em um microcosmo para avaliar as alterações em presença de óleo cru. Os estudos revelaram que o organismo utilizou o óleo como biomassa para crescimento, mas teve prejuízos no desenvolvimento que foram passados para gerações futuras.

## **Invertebrados**

Estudos experimentais *in situ* foram exclusivamente realizados em invertebrados, totalizando sete estudos. Comunidade de macrofauna foram alvos dos experimentos de Egres *et al.* (2012; 2019), Grande *et al.* (2012) e Sandrini-Neto *et al.* (2016). Nos trabalhos de Egres *et al.* (2019) e Grande *et al.* (2012) não foram observadas alterações, em Egres *et al.* (2019) observou-se modificações agudas nas populações que logo se restabeleciam. Em Sandrine-Neto *et al.* (2016) os autores observaram que repetidos derramamento de pequenas quantidades eram mais danosos para a comunidade que um único evento de grande quantidade.

Para os estudos em nematoides de vida livre (Leite *et al.*, 2014), poliquetas (Faraco *et al.*, 2003) e o crustáceo isópoda *J. slaterryi* (Flynn *et al.*, 2011) todos mostraram poucas alterações com a presença do contaminante de petróleo. Embora no momento agudo da contaminação apresentasse a mortalidade dentro dos quadrantes, as populações logo eram restabelecidas às condições anteriores. Só no caso do *J. slaterryi* que os níveis pré-impacto não foram alcançados dentro do período do experimento, talvez porque o ambiente ainda não tinha restabelecido a capacidade suporte da espécie (Flynn *et al.*, 2011).

## LITERATURA CINZA

Teses ou dissertações selecionadas com os parâmetros da revisão foram divididas da seguinte forma: microorganismos (seis estudos), invertebrados (seis estudos), planta (três estudos) e peixes (um estudo).

### Microorganismos

O manguezal de Bertioga, do evento SP 1983, foi o local de amostragem de solo para avaliação de modificação da diversidade metabólica e genética de *Bacteria* e *Archea* em relação a presença do óleo no estudo de Cury (2002). A conclusão do autor é que após 20 anos do evento a comunidade microbiana do solo do mangue de Bertioga ainda não restabeleceu seu equilíbrio. Nunes (2007) realizou um trabalho com objetivos semelhantes também no mangue de Bertioga/SP. Embora com análises comparativas dos locais com 4 anos de diferença. As conclusões foram que embora a contaminação tenha uma variação espacial no mangue, a variável com maior influência nas diferenças das estruturas da comunidade é a profundidade. As comunidades bacterianas foram mais ricas em amostras de camadas superficiais e as comunidades de *Archea* apresentaram maior riqueza nas amostras mais profundas.

O trabalho de Santa-Cruz (2004) utilizou foraminíferos para avaliar as diferentes associações dos organismos em diferentes áreas do mangue. As conclusões ressaltam que as manchas de petróleo se concentram em camadas de solo mais profundas (cerca de 12 cm), de modo que a fauna de foraminíferos, que fica na superfície (até três cm), não sofre nenhum impacto do derramamento.

Granzotto (2009) teve como objetivo contribuir para novas possibilidades de organismos que poderiam ser usados em biorremediação de contaminação por petróleo. A autora realizou amostragem de solo contaminados do evento de vazamento da REPAR em 2000 no Paraná. A caracterização dos isolados e teste bioquímicos mostrou a potencialidade da microbiota local para desenvolvimento de futuras pesquisas com bioremediadores, principalmente a bactéria do gênero *Bacillus*. Vilela (2012), também estudando bactérias e fungos da comunidade microbiana do manguezal de Bertioga, mostrou o uso de várias técnicas para identificar vários tipos de diversidades (taxonômica, genética, metabólica). Como conclusão a autora observou que o mangue preservado possuía maior riqueza taxonômica enquanto os mangues impactados (por óleo ou por outras atividades antrópicas) apresentavam maior diversidade funcional. A autora salienta o papel das comunidades microbianas nos processos de biorremediação e sobrevivência a ambiente estressores.

Massocatto (2023), em estudo desenvolvido na Bahia, analisou o impacto das manchas de óleo em fauna bentônica e microbioma, além de avaliar as alterações genéticas usando

*metabarcoding*. O autor afirma que a diversidade alfa não apresentou diferenças significativas nem na fauna bentônica nem na microbioma. Ambientes categorizados como intermediários para a contaminação foram os que tiveram maiores variabilidades. O autor relata que a presença de outras fontes de contaminação atrapalhou a análise isolada da presença do óleo.

## **Invertebrados**

O estudo de Milanelli (1994) investigou os efeitos do jateamento de água como medida de limpeza em caso de acidente. O local foi o costão rochoso na praia de Barequeçaba/SP e a metodologia foi um estudo experimental *in situ*. O estudo concluiu que a limpeza por jateamento seja por alta, baixa pressão ou areia deve ser evitada em costões rochosos uma vez que causa severos danos a comunidade.

Reynier (2003) realizou um derrame simulado em Angra dos Reis RJ e avaliou as alterações da comunidade planctônica (fito e zooplâncton). A autora observou que nos tratamentos de óleo e óleo+dispersante houve um efeito na relação de dominância em que os grupos de diatomáceas foram rapidamente substituídos pelos fitoflagelados, além de diminuição da densidade total do fitoplâncton. No caso do zooplâncton os resultados sugerem que grupos meroplancctônicos possuem maior sensibilidade a fração solúvel do petróleo do que os grupos holoplancctônicos. Copépoda foi o grupo mais resistente e apresentou respostas distintas para os diferentes tratamentos.

Gandra (2005) realizando estudo de derrame controlado *in situ* em praia no Rio Grande do Sul não observou efeitos significativos do óleo na macrofauna. Em avaliações de espécies representativas em laboratório pode observar sensibilidade de algumas espécies a exposição do óleo. Com esses dados o autor sugere que os efeitos do óleo na comunidade podem estar relacionados ao tipo de ambiente e o nicho ecológico das espécies avaliadas.

A análise dos impactos do petróleo cru nas comunidades macrobênticas de substratos consolidados em Pernambuco decorrentes do evento Nordeste 2019 é o objetivo do trabalho de Lima (2022). As conclusões do trabalho é que após um ano da chegada do óleo nos locais de amostragem as populações atingidas nas áreas de alta e moderada intensidade de impacto estão se recuperando.

Também relacionado a impactos do óleo no Nordeste em 2019, Moura (2023) avaliou a recolonização em substrato artificial pela meiofauna em áreas atingidas ou não pelo petróleo. O grupo de nematoide foi o que se mostrou mais resistente e copépodos mais sensível a presença do óleo. A autora afirma que após dois anos da chegada do óleo a recuperação da área pela meiofauna parece satisfatória.



A tese de Silva (2023) avaliou a taxa de mortalidade de náuplios e copepoditos em campanhas durante a chegada do óleo referente ao evento Nordeste 2019. O aumento da mortalidade foi observado em campo e validada em experimentos de ecotoxicologia em laboratório. Os autores relatam que depois do impacto as populações conseguiram retomar os valores de mortalidade normais observados nas campanhas pré- impacto.

## **Vertebrados**

O único estudo realizado no grupo vertebrado foi em comunidade de peixes exposta ao desastre de rompimento de oleoduto na Serra do Mar no Paraná 2001 (Horodesky 2012). A autora publicou um capítulo dessa dissertação que já foi avaliada na seção de artigos publicados. Neste momento iremos avaliar o segundo capítulo da dissertação que faz uma avaliação da biometria e composição das populações de peixes de rios impactados e não impactados pelo derramamento. Os resultados de composição da ictiofauna e biometria dos animais mostraram que o ambiente se encontra estabilizado.

## **Planta**

Yamamura (2012) e Sousa (2020) analisaram alterações crônicas na vegetação decorrentes do derrame do Arroio do Saldanha em 2000 no Paraná. No estudo de Sousa (2020) foi observada melhoras em aspectos como riqueza de espécies, aumento na representatividade de espécies lenhosas, maior diversidade de formas de vida que indica processo de sucessão ecológica. No trabalho de Yamamura (2012) a autora apresentou vários capítulos que ajudaram a descrever o estado ecológico da área. Para esse objetivo nos concentramos no capítulo 2, que descreve a estrutura da comunidade herbáceo arbustiva após o derrame. Neste capítulo a autora faz análise de parâmetros fitossociológicos e análises de diversidade de espécies. Como conclusão ao comparar com outras áreas semelhantes sem a interferência do impacto do óleo a autora afirma que a comunidade se encontra estabilizada.

Veiga (2023) realizou o comparativo de áreas contaminadas no manguezal de Bertioga. Usando sensoriamento remoto para identificação da cobertura vegetal e outros indicadores fitossociológicos entre os pontos proximais e distais da origem do derramamento. O autor afirma que os dados mostram uma melhora de vigor dos indivíduos e maior abundância de indivíduos jovens e plântulas quanto mais afastado da origem. Embora a presença de óleo nos horizontes profundo ainda é causa de stress para as plantas do local.

## 4.6 Discussão

Revisões de escopo são estudos bastante comuns nas áreas da saúde e ciências sociais (Levac *et al.*, 2010; Bolden *et al.*, 2017). Uma pesquisa rápida com apenas um termo “revisão de escopo” na base de dado SCIELO dos 547 resultados encontrados, 456 são da Ciências da Saúde, apenas 4 são da área da Ciências Biológicas e nenhuma no campo da Ecologia.

No presente trabalho a escolha da revisão de escopo se justificou pela possibilidade que esse tipo de metodologia tem de abranger estudos de diferentes metodologias (Arksey e O'Malley, 2005) e no caso de impacto ecológico, envolve diferentes formas de vida. Pensado na forma de abordagem desse estudo, o uso do Método PRISMA para a revisões de escopo também atenderia como melhor metodologia do que o modelo proposto pelo Joanna Briggs Institute (JBI).

Arksey e O'Malley (2005) afirmam que as revisões de escopo não possuem a pretensão de abordar questões de pesquisa muito específicas nem avaliar a qualidade dos estudos incluídos. Devido a isso as buscas em bases de dados de literatura cinza são incluídas no método de pesquisa. Como o foco desse trabalho foi entender as alterações nos aspectos ecológicos populacionais ou de comunidade, esses trabalhos geralmente demandam mais tempo e maiores análise do que um relatório técnico. Por essa razão foram elencadas as teses e dissertações como literatura cinza e os estudo primários das bases de dados.

Os trabalhos excluídos tratavam-se de contaminação crônica de derivados de petróleo causados por refinarias e ambientes portuários. Outro conjunto de dados excluídos foram os que investigavam aspectos fisiológicos de resposta dos indivíduos, seja no contexto de biorremediação como em aspectos de ecotoxicologia. Assim o corpo de dados avaliados foram apenas trabalhos que mostravam modificações ecológicas decorrentes de contaminação aguda de petróleo seja por derrame ou o aparecimento de manchas inesperadas.

O óleo cru é o tipo de material com maior ocorrência nos eventos, conforme observado no Capítulo 1 (ver Figura 6 página 42). Os quatro maiores eventos de derramamento também foram com óleo cru (ver Figura 7 página 45). Consequentemente, os estudos que analisavam materiais isolados dos derivados de petróleo, como HPAs, foram excluídos desta revisão. Outra informação do Capítulo 1

que orientou a coleta de dados foi a data do primeiro desastre (Bertioga SP, 1983) isso determinou o limite temporal de toda a pesquisa.

Cain *et al.* (2011) explicam que o estudo ecológico pode avaliar as interações naturais em vários níveis de organização biológica, desde o nível de genes e proteínas dos organismos até ecossistemas. Nossos resultados demonstram essa variedade de níveis de organização biológica: estudo com genes em bactérias (Dias *et al.*, 2012, Cury, 2002), peixes (Agostini *et al.*, 2017), estudos com proteínas (Cury, 2002), populações (por exemplo Silveira *et al.*, 2024 e Alves *et al.*, 2023) e comunidades (Rosa Filho *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2023), entre outros.

Pela análise de distribuição dos estudos ao longo do tempo, podemos observar dois picos de maior produção: um em 2012 (sete trabalhos) e outro em 2023 (oito trabalhos). O pico de trabalhos em 2023 deve-se a aumento do volume de investigações científicas relacionadas ao desastre do aparecimento de manchas de petróleo no nordeste do Brasil (Moura, 2023; Silva, 2023; Alves *et al.*, 2023; Massocatto, 2023; Bergamo *et al.*, 2023; Souza, 2023; Pereira *et al.*, 2023). Sobre a produtividade de 2012, trata-se de publicações relacionadas ao desastre na Serra do Mar no Paraná (Horodesky, 2012), desastre em Bertioga/ SP (Dias *et al.*, 2012; Lima, 2012; Fasanella *et al.*, 2012), estudos experimentais *in situ* (Egres *et al.*, 2012; Grande *et al.*, 2012) e desastre da Bahia de Guanabara no Rio de Janeiro (Andrade *et al.*, 2012).

Quanto à distribuição geográfica dos trabalhos até o ano de 2018 apenas três estudos foram realizados no Norte (Couceiro *et al.*, 2007) e Nordeste (Taketani *et al.*, 2009; 2010) em relação a 36 estudos divididos entre sudeste e sul. O ano de 2019 marcado pelo aparecimento das manchas de petróleo no litoral nordestino alterou a proporção de estudos para 20 estudos realizados no Nordeste para sete do sul e sudeste.

Após o aparecimento das manchas de óleo no litoral do Nordeste nos anos de 2019 e 2020 novos aparecimentos de material oleado foram registrados: no Ceará em janeiro de 2022 (Soares *et al.*, 2023), em Pernambuco e Alagoas em agosto de 2022 (Pereira *et al.*, 2023) e no litoral baiano em setembro de 2023 (Martins *et al.*, 2024). Investigações foram realizadas para entender a relação entre esses aparecimentos ao longo do tempo e as hipóteses levantadas foram que as manchas são de origens diversas como óleo de tanque (Martins *et al.*, 2024) ou decorrente de antigos naufrágios na costa nordestina (Pereira *et al.*, 2023). Mas sobre esses novos eventos até o momento não houve publicações sobre os impactos ecológicos relacionados.

## Microrganismos

Trabalhos com microrganismos (Bacteria, Archea, Algas, Foraminíferos e Fungos) somaram 28 estudos (11 artigos de derrames reais, três mesocosmo, oito microcosmo, seis dissertações, uma tese).

A evidência com maior força que podemos ter com a leitura dos trabalhos é que a presença dos derivados de óleo altera a composição das comunidades microbianas, modificam a abundância relativa de espécies que eram dominantes e passam a ser minoritárias e outras espécies que tinha menor frequência passam a ser dominantes (Dias *et al.*, 2011; Fasanella *et al.*, 2012; Andrade *et al.*, 2012; Eichler *et al.*, 2014 e Faria *et al.*, 2019). Achados semelhantes foram identificados nos experimentos controlados (Taketani *et al.*, 2009 e 2010; Evans *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2011; Jurelevicius *et al.*, 2014) em alguns estudos de literatura cinza (Cury, 2002; Nunes, 2007; Vilela, 2012).

No estudo de Grativol *et al.* (2017) a conclusão dos autores salienta que o processo de biorremediação do ambiente pela comunidade microbiana possui fases distintas que dirigem as alterações da comunidade e que são dependentes do tempo e outros fatores ambientais. Em Fasca *et al.* (2018), ao simular alterações nas variáveis de temperatura e pressão atmosférica em um microcosmo, as alterações da comunidade foram percebidas e em condições hiperbáricas a pressão tem maior efeito sobre a comunidade do que a presença do petróleo.

Outro efeito que os estudos apresentaram foram mudanças da expressão gênica ou alterações metabólicas de populações submetidas ao ambiente estressor (Dias *et al.*, 2011 e 2012; Cabral *et al.*, 2016; Ottoni *et al.*, 2017). Essas observações também foram obtidas nos estudos em microcosmo de Jurelevicius *et al.* (2014) e na dissertação de Vilela (2012) onde as comunidades de mangues impactados por óleo apresentavam maior diversidade funcional do que mangues protegidos. Essa riqueza metabólica não significa que toda a diversidade de genes de uma comunidade está sendo executada, indica que este grupo biológico tem potencialmente maior versatilidade metabólica do que um grupo menos diverso (Paula, 2012)

O uso de dispersantes parece ser uma alternativa danosa para a biodiversidade bacteriana. Os trabalhos de Procópio (2020) e Rattes *et al.* (2020) observaram alterações na estrutura da comunidade bacteriana em presença de dispersante. Nas observações de Rattes *et al.* (2020) notou-se que o dispersante é capaz de alterar a riqueza microbiana

mais do que a presença do óleo sem dispersante. Em recente revisão sobre o impacto dos dispersantes sobre os sistemas ecológicos e comunidades microbianas Techtmamn *et al.* (2023) salientam que falta uma padronização nos estudos e testes de biodegradação. No levantamento os autores encontraram muitas conclusões contrastantes que eles relacionaram às diferenças no desenho experimental utilizado (Techtmamn *et al.*, 2023).

A inovação das técnicas usadas na microbiologia pode ter forte impacto nas avaliações das evidências mais antigas em relação aos trabalhos mais recentes. Por exemplo em estudos com fungos no manguezal de Bertioga o estudo de Fasanella *et al.* (2012) evidenciou maior abundância de táxons em áreas com óleo em detrimento de áreas preservadas. Já os resultados de Sebastianes *et al.* (2013), dessa vez com o grupo de fungos endofíticos, mostrou que áreas preservadas possuíam maiores diversidade de grupos. Partindo do princípio de que ambos estão falando de diversidade alfa, os dados parecem discrepantes, mas as metodologias não são iguais e o grupo de fungos endofíticos é apenas uma parte da comunidade de fungos que ocorre no mangue de Bertioga.

Ghizelini *et al.* (2019) estudando fungos da área de derrame da REDUC (RJ) encontraram resultados compatíveis com Fasanella *et al.* (2012). As áreas mais impactadas possuíam maiores abundâncias. Não foi achado nenhum estudo de microcosmo com fungos. O trabalho de Villela (2012), já relatado nas análises de bactérias anteriormente, também no mesmo manguezal, ao descrever a diversidade metabólica maior em áreas com óleo, também se referia a grupo de fungos do local.

## **Invertebrados**

Foram selecionados 27 estudos sobre táxons de invertebrados (14 estudos em ambiente real, sete estudos de simulações *in situ*, quatro dissertações e duas teses)

Estudos com fauna de substrato consolidado realizados por Gusmão *et al.* (2021) e Bergamo *et al.* (2023) mostraram a resistência principalmente de crustáceos em colonizar ambientes com as manchas de óleo em beach rocks e bolas de alcatrão suspensas no oceano. Outras formas de vida também apresentaram pouca ou nenhuma perturbação com a presença do óleo: crustáceo (Lopes *et al.*, 1997 e Santana *et al.*, 2024), microzooplâncton (Campelo *et al.*, 2021), epifauna associada a macroalga (Craveiro *et al.*, 2021), tanaidácea (Alves *et al.*, 2023). Os resultados pareceram

consistentes com os estudos de derrames experimentais como: Egres *et al.* (2012; 2019), Grande *et al.* (2012) e Sandrini-Neto *et al.* (2016), Leite *et al.*, (2014), Faraco *et al.*, (2003) e Flynn *et al.*, (2011).

Parte dos resultados pode ser explicada pelas conclusões do estudo experimental de Sandrini-Neto *et al.* (2016), onde observou-se que grupos de animais sofreram mais com repetidos derramamentos de pequenas quantidades do que um único evento de grande quantidade.

Das espécies que parecem mais sensíveis a contaminação temos: *U. vocator* (= *Minuca vocator*) (Colpo e Negreiros-Fransozo 2004), *P. transversus* (Santana *et al.*, 2022), insetos edáficos (Couceiro *et al.*, 2007), copépodos (Moura, 2023) e grupos de poliquetas (Lira *et al.*, 2021).

Os trabalhos de literatura cinza também se dividiram igualmente entre resultados de corroboram a resistência de alguns grupos de macrobentos ao contaminantes (Lima (2022) e outros que apresenta resultados de grupos da meiofauna mais sensíveis ao óleo (Moura, 2023). Silva (2023) concluiu que a contaminação por óleo alterou temporariamente as taxas de mortalidade dos náuplios e copepoditos mas logo os índices retornaram a valores anteriores ao impacto.

## **Vertebrados**

Os vertebrados tiveram sete estudos relacionados ao impacto no grupo, todos em ambiente real e apenas uma dissertação. O grupo mais estudado foi o dos peixes (cinco trabalhos); aves teve apenas um estudo primário.

A relativa resistência da ictiofauna a presença de contaminação de petróleo observado nos trabalhos de Ostrensky *et al.* (2003), Agostinis *et al.* (2017) Horodesky *et al.* (2015) e Horodesky (2012) pode ser em parte entendido pelas conclusões de Katsumiti *et al.* (2009), que afirma que a mobilidade dos peixes dificulta a análise, porque não é possível saber há quanto tempo as espécies estão realmente expostas à contaminação.

Sobre as más formações em embriões de *Hippocampus reidi* relatadas em Sampaio *et al.* (2022) o estudo ecotoxicológico de Santos *et al.* (2010) mostra os efeitos genotóxicos da fração solúvel de diesel em cavalos marinhos. Embora não seja a mesma forma de contaminação, os efeitos genotóxicos observados trazem erros no micronúcleo que tem ação durante a mitose celular. Os autores ressaltam que esses erros podem

causar defeitos genéticos no ciclo celular. O que poderia ser um indício das razões que levaram as más formações observadas por Sampaio *et al.* (2022) e Silveira *et al.* (2024).

O estudo com a estimativa das carcaças oleadas de Pinguim-de-Magalhães de Mader *et al.* (2010) e a relação que os autores fizeram com dois eventos de derramamento um na costa do Rio grande do Sul em 1997 e outro em Santa Catarina em 2008 podem ser compatíveis com o registro de Ruoppolo *et al.* (2012) que realizou uma investigação sobre as taxas de sucesso da reabilitação de animais oleados. Entre o ano de 2000 a 2010 oito eventos de derrames foram reportados na costa sul-americana. O estudo mostra grande proporção de animais que conseguiram ser reabilitados após o contato com o óleo. Mas monitoramento a longo prazo desses animais reintroduzidos na natureza ainda é um desafio para ser enfrentado (Ruoppolo *et al.*, 2012)

Os impactos ecológicos em vertebrados ficaram mais restritos ao grupo peixes, o que ocasiona uma subamostragem em relação a outros táxons de ciclos de vidas distintos aos invertebrados e com grande impacto na cadeia ecológica. Uma explicação para esse viés poderia ser que os artigos e trabalhos concentraram-se em ambientes costeiros como praias e manguezais (48 trabalhos) e rios (sete trabalhos), apenas cinco trabalhos foram executados na além da linha de costa e, na maioria, relacionados a comunidade planctônica (quatro estudos) e apenas um com a comunidade associada a bolas flutuantes de alcatrão (Bergamo *et al.*, 2023).

Sem o acesso mais facilitado para o desenvolvimento de projetos de monitoramento ecológico em embarcações em alto mar dificilmente teremos condições de estudos em táxons com maior ocorrência nesses locais como mamíferos, tartarugas e aves aquáticas, além de indivíduos como lagostas, polvos, lulas que embora sendo pertencente ao táxon invertebrado, também não tiveram nenhuma ocorrência nos estudos selecionados.

## **Plantas**

Todos os estudos referentes a plantas foram do grupo de literatura cinza: duas dissertações e uma tese. Neles os resultados apontam dois cenários de observados, um é a reabilitação do ambiente do Arroio do Saldanha (PR) e o outro cenário é a avaliação fitossociológico do manguezal de Bertiooga (SP).

O estudo de Yamamura (2012) realizado após 12 anos do derramamento da REPAR (2000) já mostra o início do processo de reabilitação do ambiente, mesmo com

alguns pontos com alto teor de hidrocarbonetos. No trabalho de Sousa (2020), os indicadores mostram o processo de sucessão ecológica da área e segundo o autor a área encontra-se estabilizada após 19 anos do derramamento (Sousa, 2020).

Já o segundo cenário foi avaliado por Veiga (2023) no mangue de Bertioga (SP), que mostra uma área em fase de recuperação mais lenta apesar do grande espaço de tempo desde o derrame. O óleo ainda pode ser identificado em estratos mais profundos do solo e prejudicando plantas do local. A espécie *Laguncularia racemosa* foi a dominante no sítio proximal de origem do óleo e foram evidenciadas alterações foliculares relacionadas à contaminação.

Em um estudo de Sodré *et al.* (2012) indivíduos de *L. racemosa* mantidos em microcosmo em consócio com bactérias degradadoras de óleo apresentaram redução do crescimento e alteração no perfil da comunidade bacteriana associada a rizosfera. Segundo o autor isso não valida a eficiência do consócio bacteriano para degradação de óleo (Sodré *et al.*, 2012). E ao comparar os dois estudos mostra que a *L. racemosa* tem uma resistência à contaminação crônica de petróleo embora tendo que fazer compensações como o aumento da área foliar para sobrevivência em ambiente com óleo (Veiga, 2023)

Em Soares e Rabelo (2023) os autores relacionam vários impactos referentes as manchas órfãs que surgiram no litoral brasileiro em 2019. Os achados do artigo não são semelhantes a este trabalho porque na maioria foram selecionados estudos com organismos como bioindicadores e em nível taxonômico de espécie além de avaliar apenas impactos a curto prazo. Mas seguindo as considerações finais do próprio artigo, nosso trabalho procurou entender os impactos crônicos em populações e comunidades. E aparentemente quando colocado na perspectiva de maior tempo de monitoramento e a análise do comportamento das populações os impactos apresentam novas nuances.

Em recente publicação de Rios *et al.* (2025) os autores constataram redução significativa da fecundidade de fêmeas do crustáceo *Alpheus estuariensis* nas praias de Pernambuco. As fêmeas coletadas em áreas de diferentes graus de contaminação de PAH apresentaram decréscimo nas quantidades de ovos com o aumento dos poluentes (Rios *et al.*, 2025). Sabendo-se que os PAH podem persistir por várias décadas nos ambientes é urgente um programa de monitoramento a longo prazo dessas áreas atingidas



Este trabalho não esgota as interpretações de todos os estudos selecionados, uma vez que são muitos grupos, muitas variáveis e diferentes dinâmicas frente aos contaminantes. Mesmo as populações que performam melhor resistência ao petróleo pode esconder alterações sutis que pode diminuir a capacidade global de enfrentamento de outros agentes estressores a exemplo do trabalho de Pereira *et al.* (2023).

Cain *et al.* (2011) afirma a importância do tempo, com o passar dele os ambientes se modificam tanto que por vezes o que se vê no presente em nada lembra o passado daquele ecossistema. Por isso a importância dos estudos que monitoram os ambientes com passado de derramamento para poder identificar as mudanças que a passagem do tempo causa

Thomaz (2002) lembra para importância de aliar os modelos preditivos a estudos experimentais em menor escala ou se possível em ecossistemas inteiros para embasar melhores estratégias de manejo. Embora sabendo que os danos de um derrame possuem muitos aspectos relacionados, informações desse tipo de estudo são um aporte fundamental para avaliação de tomada de decisões neste momento de tentativas de expansão de novas fronteiras de exploração no Brasil e no mundo.

A ausência de uma análise das evidências é uma possibilidade das revisões de escopo, uma vez que permite a escolha de trabalhos sem a avaliação da qualidade desses estudos (Mattos *et al.* 2023). Neste trabalho procuramos fazer comparações e avaliações das evidências, mas sem perder de vista o cuidado em utilizar as informações da literatura cinza. Contudo acreditamos que o conjunto de trabalhos selecionados atenderam satisfatoriamente a pergunta norteadora dessa revisão: “Quais os estudos que avaliam os impactos ecológicos causados pelos derramamentos de petróleo no território brasileiro?”.

O aspecto limitante desta revisão foi a ausência de um segundo revisor para avaliação independente na seleção dos estudos e extração dos dados.

Como considerações para pesquisas futuras o amplo volume de dados trabalhados a quantidade de variáveis, níveis taxonômicos e modos de vida acreditamos que uma revisão sistemática e metanálise de grupos particulares como crustácea, poliqueta e microrganismos poderia contribuir com uma avaliação mais detalhada desses grupos representativos.

## 4.7 Conclusões

Finalizado esse trabalho de revisão podemos concluir que:

- 1- Os estudos ecológicos fizeram investigações nos eventos de Bertioga (SP 1983), São Sebastião (SP1994), REDUC (RJ 2000), Paraná (2000, 2001 e 2004), SC (2012), Nordeste (2019), REMAN (AM 1999),
- 2- Historicamente os trabalhos ficaram restritos em sua maioria nas regiões sudeste e sul, mas com os eventos de aparecimento de manchas no litoral nordestino os últimos anos a foram publicados e produzido mais trabalhos nessa região. As metodologias mais utilizadas foram análise pós-evento, em alguns casos avaliação antes e depois do evento, experimentos de derrames simulados *in situ* e experiências de micro e mesocosmo.
- 3- A alterações ecológicas mais recorrente foram abundância de organismos seguidos por impactos nas comunidades como: mudanças na composição das comunidades, alterações nas populações dominantes, mortalidade de estágios larvais.
- 4- A maioria dos estudos selecionados relata que as alterações em razão da contaminação do petróleo foram reversíveis ao longo do tempo para alguns grupos taxonômicos como crustáceos, nematódea, poliqueta e molusca.
- 5- Os estudos de experimentos controlados *in situ*, mesocosmo e microcosmos, apresentaram resultados compatíveis aos estudos com eventos verdadeiros. Bem como as dissertações e tese selecionadas na sua maioria também apresentaram conclusões compatíveis com os estudos avaliados por pares
- 6- Os impactos ecológicos em vertebrados ficaram mais restritos ao grupo peixes, o que ocasiona uma subamostragem em relação a outros táxons de ciclos de vidas distintos aos invertebrados e com grande impacto na cadeia ecológica. Além disso apresenta o viés das metodologias dos estudos que em sua maioria foram realizados em zona costeira, em alto mar onde poderia ter o acesso a animais de outros táxons com mais frequência (tartaruga, mamíferos, aves aquáticas) não tivemos relatos de estudos nesses locais.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Petróleo e Estado**. 1. ed. Rio de Janeiro: ANP, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**: 2023. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.gov.br/anp>. Acesso em: 02 fev. 2022
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**: 2024 Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural. Janeiro de 2025. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/anuario/anuario-estatistico-2024-dados-abertos>. Acesso em: 08 jan. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Painel dinâmico de produção de petróleo e gás natural**. Nov. 2024. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNzVmNzI1MzQtNTY1NC00ZGVhLTk5N2ItNzBkMDNhY2IxZTIxIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTExNzY2FkYzkyMyJ9>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- AGOSTINIS, A. O. *et al.* Is there detectable long-term depletion of genetic variation in freshwater fish species affected by an oil spill? **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 228, p. 256, 2017.
- ALLAN, S. E.; SMITH, B. W.; ANDERSON, K. A. Impact of the deepwater horizon oil spill on bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons in gulf of Mexico coastal waters. **Environmental Science and Technology**, Nova York, v. 46, n. 4, p. 2033–2039, 2012.
- ALVES, R. V. A. *et al.* Life history and population dynamics of the enigmatic tanaid *Chondrochelia dubia* (Tanaidacea: Leptocheliidae) in a tropical seaweed bed. **Scientia Marina**, Barcelona, v. 87, n. 1, 2023.
- AMADO-FILHO, G. M.; PEREIRA-FILHO, G. H. Rhodolith beds in Brazil: a new potential habitat for marine bioprospection. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, João Pessoa, v. 22, n. 4, p. 782–788, 2012.
- ANDRADE, L. L. *et al.* Microbial diversity and anaerobic hydrocarbon degradation potential in an oil-contaminated mangrove sediment. **BMC Microbiology**, Londres, v. 12, n. 1, p. 186, 2012.
- ALMEIDA, K. A. *et al.* Oxidative damage in the Vesper mouse (*Calomys laucha*) exposed to a simulated oil spill—a multi-organ study. **Ecotoxicology**, Londres, v. 32, n. 4, p. 502–511, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10646-023-02657-4>. Acesso em: 08 mai. 2024

ARAÚJO, K. C. *et al.* Oil spill in northeastern Brazil: Application of fluorescence spectroscopy and PARAFAC in the analysis of oil-related compounds. **Chemosphere**, Oxford, v. 267, p. 129-154, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129154>. Acesso em 29 nov. 2022.

ARKSEY, H.; O'MALLEY, L. Scoping studies: Towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice**, Londres, v. 8, n. 1, p. 19–32, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>. Acesso em 14 abr. 2024.

BAPTISTA NETO, J. A. *et al.* Occurrence of tar balls on the beaches of Fernando de Noronha Island, South Equatorial Atlantic. **Environmental Geochemistry and Health**, Dordrecht, v. 36, p. 1199–1203, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-014-9623-6>. Acesso em 28 nov. 2022.

BARRON, M. G. *et al.* Long-Term Ecological Impacts from Oil Spills: Comparison of Exxon Valdez, Hebei Spirit, and Deepwater Horizon. **Environmental Science and Technology**, Nova York, v. 54, n. 11, p. 6456–6467, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05020>. Acesso em 28 nov. 2022

BEJARANO, A. C.; MICHEL, J. Oil spills and their impacts on sand beach invertebrate communities: A literature review. **Environmental Pollution**, Columbia, v. 218, p. 709–722, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.065>. Acesso em 14 abr. 2024.

BÉRGAMO, D. B. *et al.* Tar balls as a floating substrate for long-distance species dispersal. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 196, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115654>. Acesso em 15 abr. 2024.

BERTOLDI, C. F. *et al.* Echoes Of The Oil Spill Of 2019: Assessment Of The Presence Of Pah And Btex In Products From Fishing. **Química Nova**, São Paulo, v. 47, n. 10, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20240063>. Acesso em 14 abr. 2024.

BOLDEN, A. L. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons and female reproductive health: A scoping review. **Reproductive Toxicology**, Elmsford, v. 73, p. 61–74, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2017.07.012>. Acesso em 14 abr. 2024.

BORZONE, C. A.; ROSA, L. C. Impact of oil spill and posterior clean-up activities on wrack-living talitrid amphipods on estuarine beaches. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 57, n. 4, p. 315-323, 2009. ISSN 1982-436X.

BRASIL. Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 29 abr. 2000, edição extra, p. 1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (Ed.). PEREIRA, F. C.; OLIVEIRA, M. R. L. de. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro: 25 Anos do Gerenciamento Costeiro no Brasil**. Brasília: MMA, 2015. 181 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 34, de 2 de fevereiro de 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Indústria, Comércio e Serviços - Secretaria do Comércio Exterior. **Resultados do Comércio Exterior Brasileiro - Dados Consolidados**. Brasília, 2025. Disponível em: [https://balanca.economia.gov.br/balanca/pg\\_principal\\_bc/principais\\_resultados.html](https://balanca.economia.gov.br/balanca/pg_principal_bc/principais_resultados.html). Acesso em: 02 mar 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Brasília. 2017. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>. Acesso em: 2 mar. 2025.

BRITO, E. M. *et al.* Characterization of hydrocarbonoclastic bacterial communities from mangrove sediments in Guanabara Bay, Brazil. **Research in Microbiology**, Basileia, v. 157, n. 8, p. 752-762, out. 2006.

BRITO, E. M. S. *et al.* A case study of in situ oil contamination in a mangrove swamp (Rio de Janeiro, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 58, n. 3, p. 418-423, 2009. ISSN 0025-326X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.12.008>. Acesso em 14 abr. 2024.

CABRAL, L. *et al.* Anthropogenic impact on mangrove sediments triggers differential responses in the heavy metals and antibiotic resistomes of microbial communities. **Environmental Pollution**, Columbia, v. 216, p. 460-469, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.078>. Acesso em 15 abr. 2024.

CAIN, M. L.; BOWMAN, W. D.; HACKER, S. D. **Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011.

CÂMARA, S. F. *et al.* Socioeconomic vulnerability of communities on the Brazilian coast to the largest oil spill (2019–2020) in tropical oceans. **Ocean and Coastal Management**, São Paulo, v. 202, p. 105506, 2021. ISSN 0964-5691. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105506>. Acesso em 08 nov. 2022.

CAMPELO, R. P. *et al.* Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 167, p. 112281, 2021. ISSN 0025-326X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112281>. Acesso em 08 nov. 2022.

CAMPHUYSEN, C. *et al.* Post-mortem examination of Great Northern Divers *Gavia immer* killed in the Prestige oil spill, Galicia, Spain, 2002/03. **Seabird Journal**, Londres, v. 23, p. 53–66, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.61350/sbj.23.53>. Acesso em 15 abr. 2024.

CANUTO, L. T.; OLIVEIRA, A. A. S. Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. **Psicologia em Revista**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 83–102, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.1678-9563.2020v26n1p82-100>. Acesso em 08 nov. 2022.

CAPPELLO, S. *et al.* Quick stimulation of *Alcanivorax sp.* by bioemulsificant EPS 2003 on microcosm oil spill simulation. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 45, n. 4, p. 1317-1323, 2014..

CEARÁ. Decreto nº 35.071, de 21 de dezembro de 2022. Dispõe sobre as ações de contingência para incidentes e/ou situações de risco de impactos ambientais na zona costeira e/ou marinha do Ceará. **Diário Oficial do Estado**, série 3, ano XIV, n. 255, Fortaleza, 22 dez. 2022.

CHILVERS, B. L.; MORGAN, K. J.; WHITE, B. J. Sources and reporting of oil spills and impacts on wildlife 1970-2018. **Environmental Science and Pollution Research International**, Berlim, v. 28, n. 1, p. 754-762, 2021.

CHILVERS, B. L.; RUOPPOLO, V. Planning for an offshore oiled wildlife response: case studies from New Zealand and Brazil. **Environmental Science and Pollution Research International**, Berlim, v. 30, n. 19, p. 54351-54361, 2023.

COELHO, K. K. F. *et al.* Research trends on elasmobranchs from the Brazilian Amazon Coast: a four-decade review. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 21, n. 4, e20211218, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2021-1218>. Acesso em: 22 nov. 2024

COLPO, K.; FRANSOZO, M. L. Comparison of the population structure of the fiddler crab *Uca vocator* (Herbst, 1804) from three subtropical mangrove forests. **Scientia Marina**, Barcelona, v. 68, p. 139-146, 2004.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (a). **Fatores que influem no grau de impacto**. São Paulo, 2018 Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/vazamentos-de-oleo/impactos-ambientais/fatores-que-influem-no-grau-de-impacto/>. Acesso em: 10 jan. 2025

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (b). **Aspectos físicos e químicos**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/vazamentos-de-oleo/caracteristicas-do-oleo/aspectos-fisicos-e-quimicos/>. Acesso em: 10 jan. 2025

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (c). **Aspectos toxicológicos**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/vazamentos-de-oleo/caracteristicas-do-oleo/aspectos-toxicologicos/>. Acesso em: 10 jan. 2025

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO CETESB – **Ficha de Informação Toxicológica** versão 2022. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/HPAs->

Hidrocarbonetos-Polici%CC%81clicos-Aroma%CC%81ticos.pdf. Acesso em: 11 jan. 2025

COSTA, G. K.A. *et al.* Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and histological changes in *Anomalocardia brasiliiana* and *Crassostrea rhizophorae* from Pernambuco, Brazil after the 2019 oil spil. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 192, p. 115066, 2023.

COUCEIRO, S. R. M. *et al.* Effects of an oil spill and discharge of domestic sewage on the insect fauna of Cururu stream, Manaus, AM, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 66, n. 1a, p. 35-44, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842006000100006>. Acesso em: 19 set. 2023.

COUCEIRO, S. R. M. *et al.* Domestic Sewage and Oil Spills in Streams: Effects on Edaphic Invertebrates in Flooded Forest, Manaus, Amazonas, Brazil. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 180, p. 249-259, 2007.

CRAVEIRO, N. R. *et al.* Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 165, 112107, ISSN 0025-326X, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112107>. Acesso em: 22 nov. 2022

CURY, Juliano de Carvalho. **Atividade microbiana e diversidades metabólica e genética em solo de mangue contaminado com petróleo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 2002.

DERANI, C. A. N.; AQUINO NETO, D.A. Valoração Econômica dos Bens Ambientais. **Hileia: Revista de Direito Ambiental da Amazônia**, Manaus, ano 5, n. 9, 2007.

DIAS, A. C. F. *et al.* Archaeal communities in the sediments of three contrasting mangroves. **Journal of Soils and Sediments**, Berlim, v. 11, n. 8, p. 1466–1476, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0423-7>. Acesso em: 11 fev. 2025

DIAS, A. C. F. *et al.* Abundance and genetic diversity of nifH gene sequences in anthropogenically affected Brazilian mangrove sediments. **Applied and Environmental Microbiology**, Nova York, v. 78, n. 22, p. 7960–7967, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.02273-12>. Acesso em: 11 fev. 2025

EGRES, A. G. *et al.* Effects of an experimental *in situ* diesel oil spill on the benthic community of unvegetated tidal flats in a subtropical estuary (Paranaguá Bay, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 64, p. 2681–2691, 2012.

EGRES, A. G. *et al.* Effects of an experimental oil spill on the structure and function of benthic assemblages with different history of exposure to oil perturbation. **Marine Environmental Research**, Londres, v. 152, 104822, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104822>. Acesso em: 23 jun. 2023.

- EICHLER, P. P. B. *et al.* Evaluation of environmental and ecological effects due to the accident in an oil pipe from Petrobras in Guanabara Bay, RJ, Brazil. **Open Journal of Marine Science**, Oxford, v. 4, n. 4, p. 298–315, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ojms.2014.44027>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- EVANS, F. F. *et al.* Impact of oil contamination and biostimulation on the diversity of indigenous bacterial communities in soil microcosms. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 49, n. 2, p. 295–305, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.04.007>. Acesso em: 21 jun. 2023
- FARACO, L. F. D.; LANA, P. C. Response of polychaetes to oil spills in natural and defaunated subtropical mangrove sediments from Paranagua Bay (SE Brazil). **Advances in Polychaete Research**. E. Sigvaldadóttir, A. S. Y. Mackie, G. V. Helgason, D. J. Reish, J. Svavarsson, S. A. Steingrímsson, G. Guðmundsson (eds.). p. 321–328. Netherlands, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0655-1>. Acesso em: 21 jun. 2023
- FARIAS, C. O. *et al.* Origin and degradation of hydrocarbons in mangrove sediments (Rio de Janeiro, Brazil) contaminated by an oil spill. **Organic Geochemistry**, Paris, v. 39, n. 3, p. 289–307, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.12.008>. Acesso em: 23 jun. 2023
- FARIA, D. M. *et al.* Temporal changes in biological traits of diatom communities in response to an oil spill in a subtropical river. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920170863>. Acesso em: 24 jun. 2023
- FASCA, H. F. *et al.* Response of marine bacteria to oil contamination and to high pressure and low temperature deep sea conditions. **Microbiology Open**, São Petesburgo, v. 7, n. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mbo3.550>. Acesso em: 10 out. 2022
- FASANELLA, C. C. *et al.* The Selection Exerted by Oil Contamination on Mangrove Fungal Communities. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 223, p. 4233–4243, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1187-4>. Acesso em: 23 jun. 2023
- FIGUEIREDO, M. A.; RICARDO, D. A. O acidente da plataforma de petróleo P-36 revisitado 15 anos depois: da gestão de situações incidentais e acidentais aos fatores organizacionais. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 34, 2018.
- FLYNN, M. N. *et al.* Impacto ecotoxicológico do derramamento de petróleo, em São Sebastião, São Paulo, sobre as taxas vitais de população do anfípode *Jassa slatteryi*. **RevInter - Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 65–78, 2011.
- FONTANA, L. C. *et al.* Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Suruí Mangrove, Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Fort Lauderdale, v. 28, p. 156–162, 2012.



FRANCIONI, A. L. *et al.* Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in Mussel *Perna perna* after an oil spill and evaluation of cellular biomarkers for biomonitoring. **Journal of Coastal Research**, Fort Lauderdale, p. 1804–1806, 2006.

FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. S.; MACHADO, J. M. H. **Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

FUJITA, M. S. L. Análise das funções de palavras-chave atribuídas por autores em publicações científicas de eventos e periódicos. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, v. 22, e024020, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/rdbci.v22i00.8676208>. Acesso em: 04 fev. 2025

GANDRA, Michel Steinmetz. **Efeitos do petróleo sobre a associação de macroinvertebrados bentônicos de praias arenosas do extremo sul do Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/4264>. Acesso em: 15 nov. 2024

GHIZELINI, A. M. *et al.* Fungal communities in oil contaminated mangrove sediments – Who is in the mud? **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 139, p. 181–188, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.040>. Acesso em: 23 jun. 2023

GOHLKE, J. M. *et al.* A review of seafood safety after the Deepwater Horizon blowout. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 119, n. 8, p. 1062–1069, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.1103507>. Acesso em: 17 abr. 2024

GONÇALVES, L. R. *et al.* The Brazilian Blue Amazon under threat: Why has the oil spill continued for so long? **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 23, e0077, 2020..

GRANDE, H.; REIS, M.; JACOBUCCI, G. B. Small-scale experimental contamination with diesel oil does not affect the recolonization of Sargassum (Fucales) fronds by vagile macrofauna. **Zoologia**, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 135–143, 2012.

GRANT, M. J.; BOOTH, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. **Health Information e Libraries Journal**, Oxford, v. 26, n. 2, p. 91–108, 2009.

GRANZOTTO, Giovana. **Caracterização bioquímica e molecular de isolados microbianos presentes em solo contaminado por petróleo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

GRATIVOL, A. D. *et al.* Bacterial interactions and implications for oil biodegradation process in mangrove sediments. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 118, n. 1–2, p. 221–228, 2017.

GREEN, B. N.; JOHNSON, C. D.; ADAMS, A. Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. **Journal of Chiropractic Medicine**, Lombard, v. 5, n. 3, p. 101–117, 2006.

GUSMAO, J. B. *et al.* The barnacle *Chthamalus bisinuatus* is the only sessile invertebrate colonizing oil patches on beachrocks one year after a massive oil spill on the Northeastern Brazilian coast. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 173, Part A, 112952, 2021.

HORODESKY, Aline. **Avaliação ictiofaunística em ambientes expostos ao acidente com óleo combustível na serra do mar, estado do Paraná**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012..

HORODESKY, A. *et al.* Ecological analysis of the ichthyofaunal community ten years after a diesel oil spill at Serra do Mar, Paraná state, Brazil. **Global Ecology and Conservation**, Amsterdam, v. 4, p. 311–320, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Avaliação dos dados sobre a biodiversidade brasileira**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com\\_mediaibge/arquivos/ed652560195b3a2aad757a77d7cce4a4.pdf](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/ed652560195b3a2aad757a77d7cce4a4.pdf). Acesso em: 24 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Maiores produtores mundiais de petróleo em 2023** – Snapshots. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-produtores-mundiais-de-petroleo/>. Acesso em: 16 fev. 2025.

ITO, Marcia Akemi Kaneko. **Inclusão e acessibilidade na arquitetura**: revisão sistemática sobre iluminação e baixa visão. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/47/47132/tde-03122021-164147/>. Acesso em: 05 jun. 2025.

JANNUZZI, G. M. Transição energética no Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 76, n. 3, p. 1–13, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/2317-6660.20240063>. Acesso em: 05 jun. 2025.

JERNELV, A. The threats from oil spills: Now, then, and in the future. **Ambio**, Estocolmo, v. 39, n. 6, p. 353–366, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0085-5>. Acesso em: 05 jun. 2025.

JOANNA BRIGGS INSTITUTE. **Our History**. Adelaide, 2010. Disponível em: <https://jbi.global/our-history>. Acesso em: 20 jan. 2025.

JOYE, S. B. Deepwater Horizon, 5 years on. **Science**, Washington, v. 349, p. 592–593, 2015.

JU, Y. R. *et al.* Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in seafood collected from coastal aquaculture ponds in Taiwan and human health risk assessment. **Journal**

**of Hazardous Materials**, Washington, v. 421, p. 126708, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126708>. Acesso em: 05 jun. 2025.

JURELEVICIUS, D. *et al.* Response of the Archaeal Community to Simulated Petroleum Hydrocarbon Contamination in Marine and Hypersaline Ecosystems. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 225, n. 2, p. 1871, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1871-7>. Acesso em: 05 jun. 2025.

KATSUMITI, A. *et al.* An assessment of acute biomarker responses in the demersal catfish *Cathorops spixii* after the Vicuña oil spill in a harbour estuarine area in Southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Orono, v. 152, n. 1–4, p. 209–222, 2009.

KATSUMITI, A. *et al.* Evaluation five years after a refinery oil spill in freshwater wetland - Paraná State, Southern of Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, Itajaí, v. 8, n. 2, p. 77–87, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5132/eec.2013.02.012>. Acesso em 24 fev. 2022.

KERAMEA, P. *et al.* Oil spill modeling: A critical review on current trends, perspectives, and challenges. **Journal of Marine Science and Engineering**, Wellington, v. 9, p. 181, 2021.

KHALED, I. *et al.* BTEX induces histopathological alterations, oxidative stress response and DNA damage in the testis of the freshwater leech *Erpobdella johanssoni* (Johansson, 1927). **Journal of King Saud University - Science**, Riade, v. 34, n. 6, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102196>. Acesso em 05 nov. 2024.

LEITE, D. S. *et al.* Are changes in the structure of nematode assemblages reliable indicators of moderate petroleum contamination? **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 83, n. 1, p. 38–47, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.04.035>. Acesso em 24 fev. 2022.

LEVAC, D.; COLQUHOUN, H.; O'BRIEN, K. K. Scoping studies: advancing the methodology. **Implementation Science**, Manchester, v. 5, p. 29, 2010. Disponível em: <http://www.cihr-irsc.ca>. Acesso em 05 nov. 2024.

LIMA, Daniella Vilela. **Análise da diversidade, abundância e estrutura funcional da comunidade microbiana de três manguezais do estado de São Paulo, Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.42.2012.tde-19042013-105207>. Acesso em 05 nov. 2024.

LIMA, Ítala Gabriela Tavares. **Análise dos impactos do óleo cru pesado sobre as comunidades macrobentônicas de substratos consolidados em Pernambuco (Brasil)**. 2022. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/49478>. Acesso em 05 nov. 2024.

- LIRA, A. L. *et al.* Effects of contact with crude oil and its ingestion by the symbiotic polychaete *Branchiosyllis* living in sponges (*Cinachyrella sp.*) following the 2019 oil spill on the tropical coast of Brazil. **Science of The Total Environment**, Nova York, v. 801, p. 149655, 2021. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149655>. Acesso em 24 fev. 2022.
- LIU, S.; WANG, T.; CHENG, Z.; LIU, J. N6-methyladenosine (m6A) RNA modification in the pathophysiology of heart failure: A narrative review. **Cardiovascular Diagnosis and Therapy**, Hong Kong, v. 12, n. 6, p. 908–925, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21037/cdt-22-277>. Acesso em 05 nov. 2024.
- LOBÃO, M. M. *et al.* Identification of source of a marine oil-spill using geochemical and chemometric techniques. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 60, n. 12, p. 2263–2274, 2010. ISSN 0025-326X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.008>. Acesso em 15 mar. 2023.
- LOPES, C. F.; SILVA, R. M.; PEREIRA, J. L. Coastal Monitoring Program of São Sebastião Channel: Assessing the Effects of “Tebar V” Oil Spill on Rocky Shore Populations. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 34, n. 11, p. 923–927, 1997.
- LOPES, A.; DA ROSA-OSMAN, S. M.; PIEDADE, M. T. F. Effects of crude oil on survival, morphology, and anatomy of two aquatic macrophytes from the Amazon floodplains. **Hydrobiologia**, Londres, v. 636, p. 295–305, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9959-6>. Acesso em 15 mar. 2023.
- LOURENÇO, R. A. *et al.* Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 156, p. 111219, 2020. ISSN 0025-326X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111219>. Acesso em 15 mar. 2023.
- MACHADO, L. F. *et al.* Tracking mangrove oil bioremediation approaches and bacterial diversity at different depths in an in situ mesocosms system. **Frontiers in Microbiology**, Lausana, v. 10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02107>. Acesso em 05 nov. 2024.
- MACIEL-SOUZA, M. C. *et al.* Chemical and microbiological characterization of mangrove sediments after a large oil-spill in Guanabara Bay-RJ-Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 37, p. 262–266, 2006.
- MÄDER, A.; SANDER, M.; CASA, G. Seasonal cycle of mortality of *Magellanic penguin* *sspheniscus* influenced by anthropogenic and climatic factors on the coast of Rio Grande do Sul, south Brazil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, Sorocaba, v. 18, p. 228–233, 2010.
- MAGALHÃES, K. M. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fishery resources affected by the 2019 oil spill in Brazil: Short-term environmental health and seafood safety. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 175, p. 113334, 2022.
- MAGRIS, R. A.; TOMMASO, G. Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v.

153, p. 110961, 2020. ISSN 0025-326X. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110961>. Acesso em 05 nov. 2024

MARINHA - Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. **Novo mapa do Brasil é expandido com 5,7 milhões de km<sup>2</sup> de área marítima**. Brasília. 2023  
 Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/assuntos/noticias/noticias-leplac/2023/09/novo-mapa-do-brasil-e-expandido-com-57-milhoes-de-km2-de>. Acesso em: 13 de novembro de 2023

MARQUES, W. C. *et al.* Numerical modeling of the Tramandaí beach oil spill, Brazil—Case study for January 2012 event. **Applied Ocean Research**, Chengdu, v. 65, p. 178–191, 2017.

MARTINS, L. L. *et al.* Forensic geochemistry reveals international ship dumping as a source of new oil spill in Brazil's coastline (Bahia) in late 2023. **Environmental Science and Technology**, Nova York, v. 58, n. 21, p. 9328–9338, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c01520>. Acesso em 05 fev. 2025.

MASSOCATTO, Ana Carla Santin. **O uso do metabarcoding na avaliação da resposta das associações de bactérias e fauna bêntica de manguezais ao desastre do óleo de 2019**. 2023. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2023.

MATTOS, S. M.; CESTARI, V. R. F.; MOREIRA, T. M. M. Scoping protocol review: PRISMA-ScR guide refinement. **Revista de Enfermagem UFPI**, Teresina, v. 12, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.26694/reufpi.v12i1.3062>. Acesso em 05 fev. 2025

MEARNS, A. J. *et al.* Protecting Fur Seals During Spill Response: Lessons from the San Jorge (Uruguay) Oil Spill. **International Oil Spill Conference Proceedings**, Washington, v. 1999, n. 1, p. 467–470, 1999. Disponível em:  
<https://doi.org/10.7901/2169-3358-1999-1-467>. Acesso em 05 fev. 2025

MENICONI, M. F. G. *et al.* Brazilian oil spills chemical characterization—case studies. **Environmental Forensics**, San Diego, v. 3, n. 3–4, p. 303–321, 2002. ISSN 1527-5922. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/enfo.2002.0101>. Acesso em 15 mar. 2023.

MILANELLI, João Carlos Carvalho. **Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em costão rochoso da praia de Barequecaba, São Sebastião, SP**. 1994. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.21.1994.tde-05042007-164057>. Acesso em 15 mar. 2023.

MILLER, G. T. J. **Ciência Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2007.

MONTEIRO NETO, A. Transição energética: de que falamos afinal? Contribuições ao debate sobre implementação de políticas públicas. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRUA)**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 11–24, 2024. Disponível em:  
<https://doi.org/10.38116/brua32art1>. Acesso em 05 fev. 2025

MORAES, L. L.; KAFURE, I. Bibliometria e ciência de dados: um exemplo de busca e análise de dados da Web of Science (WoS). **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, v. 18, e020016, 2020.

MOREIRA, P.; GUIMARÃES, A.; TSUNODA, D. Qual ferramenta bibliométrica escolher? Um estudo comparativo entre softwares. **P2P e Inovação**, Rio de Janeiro, v. 6, p. 140–158, 2020.

MORENO, R. *et al.* Seabird feathers as monitors of the levels and persistence of heavy metal pollution after the Prestige oil spill. **Environmental Pollution**, Columbia, v. 159, n. 10, p. 2454–2460, 2011.

MOURA, Nayra Nascimento. **Avaliação da severidade do impacto por óleo nos recifes do litoral de Pernambuco**: múltiplas abordagens no uso de Copepoda Harpacticoida (Crustacea). 2023. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/52316>. Acesso em 05 nov. 2024.

MÜLLER, M. N. *et al.* Cellular accumulation of crude oil compounds reduces the competitive fitness of the coral symbiont *Symbiodinium glynnii*. **Environmental Pollution**, Columbia, v. 289, p. 117938, 2021. ISSN 0269-7491. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117938>. Acesso em 12 abr. 2023.

NASCIMENTO, A. P. *et al.* Forensic environmental geochemistry to reveal the extent, characteristics, and fate of waxy tarballs spilled over the northeast coast of Brazil in 2022. **Marine Environmental Research**, Londres, v. 204, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106878>. Acesso em 05 nov. 2024.

NUNES, Gisele Lopes. **Diversidade e estrutura de comunidades de bactéria e archaea em solo de mangue contaminado com hidrocarbonetos de petróleo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2007.tde-23032007-162450>. Acesso em 05 nov. 2024.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

OLIVEIRA ESTEVO, M. *et al.* Immediate social and economic impacts of a major oil spill on Brazilian coastal fishing communities. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 164, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111984>. Acesso em 12 abr. 2023.

OLIVEIRA, R. E. M. *et al.* Successful rehabilitation of an oiled sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) affected by the biggest oil spill disaster in Brazil. **Veterinarni Medicina**, Rio de Janeiro v. 66, n. 7, p. 313–319, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17221/81/2020-VETMED>. Acesso em 05 nov. 2024

OLIVEIRA, O. M.C. *et al.* Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. **Marine**

**Pollution Bulletin**, Londres, v. 160, 111597, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111597>. Acesso em 12 abr. 2023

ONUOHA, D. C.; ASO, J. C.; OKOLIE, U. C. A critical review of the effects of oil spillage on land in Nigeria. **International Journal of Agriculture and Earth Science**, Abuja, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56201/ijaes.v9.no7.2023.pg185.213>. Acesso em 05 nov. 2024

ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES. **World oil demand**. Vienna. 2024. Disponível em: <https://publications.opec.org/momr/chapter/135/2448>. Acesso em: 20 jan. 2025.

OSHIENEMEN, N. A.; DILANTHI, A.; RICHARD, P. H. Evaluation of the impacts of oil spill disaster on communities and its influence on restiveness in Niger Delta, Nigeria. **Procedia Engineering**, Londres, v. 212, p. 1054–1061, 2018. ISSN 1877-7058. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.136>. Acesso em 05 nov. 2024

OSTRENSKY, A. *et al.* Effect of the oil spill from the Presidente Getúlio Vargas refinery, Brazil, in July of 2000, on the populations of fishes of the rivers Saldanha, Barigüi, and Iguaçu. **International Oil Spill Conference Proceedings**, Washington, 2003(1), p. 971–976, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.7901/2169-3358-2003-1-971>. Acesso em 12 abr. 2023

OTTONI, J. R. *et al.* Functional metagenomics of oil-impacted mangrove sediments reveals high abundance of hydrolases of biotechnological interest. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 33, n. 7, p. 141, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2307-5>. Acesso em 05 nov. 2024

PAULA, Fabiana da Silva. **Diversidade e estrutura funcional de comunidades microbianas em solos da Amazônia e resposta a mudanças na forma de uso do solo**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PEREIRA, M. G. A. *et al.* Geochemical assessment of tar balls that arrived in 2022 along the northeast coast of Brazil and their relationship with the 2019 oil spill disaster. **Energy and Fuels**, Colorado, v. 37, n. 21, p. 16388–16395, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c02472>. Acesso em 05 nov. 2024

PEREIRA, P. H. *et al.* The impact of highly weathered oil from the most extensive oil spill in tropical oceans (Brazil) on the microbiome of the coral *Mussismilia harttii*. **Microorganisms**, Basiléia, v. 11, n. 8, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11081935>. Acesso em 05 nov. 2024

PESO-AGUIAR, M. C. *et al.* Effects of petroleum and its derivatives in benthic communities at Baía de Todos os Santos, Bahia, Brazil. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, Filadélfia, v. 3, n. 4, p. 459–470, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14634980008650682>. Acesso em 15 mar. 2023.

PETROBRAS(a). **Margem Equatorial**: novas fronteiras de exploração. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://petrobras.com.br/quem-somos/novas-fronteiras>. Acesso em: 8 jan. 2025

PETROBRAS(b). **Projetos ambientais – FZA-59**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://experience.arcgis.com/experience/49eadf2cc4554e43843a924ebe134b80>. Acesso em: 2 mar. 2025

PIATT, J. F. *et al.* Immediate impact of the ‘Exxon Valdez’ oil spill on marine birds. **The Auk**, Oxford, v. 107, p. 387–397, 1990.

PREFERRED REPORTING ITEMS FOR SYSTEMATIC REVIEWS AND META-ANALYSES. **History and development of PRISMA**. Nova York, 2022. Disponível em: <https://www.prisma-statement.org/history-and-development>. Acesso em: 20 jan. 2025.

PROCÓPIO, L. Changes in microbial community in the presence of oil and chemical dispersant and their effects on the corrosion of API 5L steel coupons in a marine-simulated microcosm. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlim, v. 104, n. 14, p. 6397–6411, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10688-8>. Acesso em 05 nov. 2024

RATTES, A. C. *et al.* Chemical and biological dispersants differently affect the bacterial communities of uncontaminated and oil-contaminated marine water. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 691–700, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00153-8>. Acesso em 05 nov. 2024

REDDY, C. M. *et al.* Synergy of analytical approaches enables a robust assessment of the Brazil mystery oil spill. **Energy and Fuels**, Colorado, v. 36, n. 22, p. 13688–13704, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c00656>. Acesso em 05 nov. 2024

REYNIER, Marcia Vieira. **Efeitos de um derrame simulado de petróleo sobre a comunidade planctônica costeira em Angra dos Reis (RJ)**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1560>. Acesso em 05 nov. 2024

RIOS, A. S. *et al.* Fecundity of the snapping shrimp *Alpheus estuariensis* (Caridea: Alpheidae) after the oil spill in three mangroves of tropical Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 214, p. 117773, 2025.

ROSA FILHO, J. S. *et al.* The role of habitat heterogeneity and timescales on the recovery of reef epifaunal communities affected by a massive oil spill in the tropics. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 199, 2024.

ROSA, L. C. Sandy beach macroinfauna response to the worst oil spill in Brazilian coast: No evidence of an acute impact. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 180, 113753, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113753>. Acesso em 15 mar. 2023.



- ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. v–vi, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-21002007000200001>. Acesso em 05 nov. 2024.
- RUOPPOLO, V.; SILVA-FILHO, R.; COSTA, F. Survival and movements of *Magellanic penguins* rehabilitated from oil fouling along the coast of South America, 2000–2010. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 64, n. 7, p. 1309–1317, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.009>. Acesso em 10 out. 2024.
- SAMPAIO, R.; MANCINI, M. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>. Acesso em 10 out. 2024.
- SANDIFER, P. A.; WALKER, A. H.; SMITH, C. Human health and socioeconomic effects of the Deepwater Horizon oil spill in the Gulf of Mexico. **Oceanography**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 174–191, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2021.125>. Acesso em 09 mar. 2023
- SANDRINI-NETO, L.; MENDONÇA-GRACINDO, L.; OLIVEIRA, A. Antioxidant responses in estuarine invertebrates exposed to repeated oil spills: Effects of frequency and dosage in a field manipulative experiment. **Aquatic Toxicology**, Amsterdam, v. 177, p. 237–249, 2016. Acesso em 10 out. 2024.
- SANTA-CRUZ, Joana. **Foraminíferos atuais em um manguezal impactado por petróleo 20 anos atrás: o rio Iriri, canal de Bertioga, Santos-SP**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/92833>. Acesso em 10 out. 2024.
- SANTANA, C. S.; BARROS, J. C.; FREITAS, M. Spatio-temporal variation of planktonic decapods along the leeward coast of the Fernando de Noronha archipelago, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 66, n. 1, p. 1–14, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-87592018147206601>. Acesso em 10 out. 2024.
- SANTANA, D. C. N. *et al.* Levels of hydrocarbons and toxicity of water-soluble fractions of maritime fuels on neotropical invertebrates. **Ecotoxicology**, Londres, v. 30, n. 10, p. 2109–2118, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02486-3>. Acesso em 10 out. 2024.
- SANTANA, J. L. *et al.* Reef crab population changes after oil spill disaster reach Brazilian tropical environments. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 183, p. 114047, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114047>. Acesso em 09 mar. 2023
- SANTANA, J. L. *et al.* Population biology of the reef crab *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781): Spatial variations and anthropogenic impacts in the Western Tropical Atlantic. **Regional Studies in Marine Science**, Amsterdam, v. 71, p. 103407,

2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103407>. Acesso em 09 mar. 2023

SANT'ANNA, R. V. D.; ROMANOWSKI, P. J. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.7213/dialogo.educ.14.041.ds08>. Acesso em 24 ago. 2024.

SANTOS, C. A.; NOVAES, L. S.; GOMES, L. C. Genotoxic effects of the diesel water-soluble fraction on the seahorse *Hippocampus reidi* (Teleostei: Syngnathidae) during acute exposure. **Zoologia**, Curitiba, v. 27, n. 6, p. 956–960, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1984-46702010000600017>. Acesso em 24 ago. 2024.

SANTOS, H. F. *et al.* Mangrove bacterial diversity and the impact of oil contamination revealed by pyrosequencing: bacterial proxies for oil pollution. **PLoS ONE**, São Francisco, v. 6, n. 3, 2011.

SARDI, A. E. *et al.* Baseline levels of oxidative stress biomarkers in species from a subtropical estuarine system (Paranaguá Bay, southern Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 113, n. 1–2, p. 496–508, 2016.

SILVA, Alef Jonathan. Avaliação dos efeitos da contaminação por derramamento de óleo no Atlântico Sudoeste Tropical por meio do uso de organismos planctônicos. 2023. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Carlos – UFSCAR, São Carlos/SP, 2023.

SILVA, C. A. *et al.* Evaluation of waterborne exposure to oil spill 5 years after an accident in Southern Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Munique, v. 72, n. 2, p. 400–409, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.03.009>. Acesso em 10 jun. 2023.

SILVEIRA, R. B. *et al.* First Record of Malformation in Seahorses Attributed to the Oil Spill off the Brazilian Coast in 2019. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Oxford, v. 43, n. 9, p. 1996–2004, 2024.

SOARES, E. B. *et al.* Oil impact on the environment and aquatic organisms on the coasts of the states of Alagoas and Sergipe, Brazil: A preliminary evaluation. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 171, p. 112723, 2021.

SOARES, M. O. *et al.* Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, Corunha, v. 115, p. 103879, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103879>. Acesso em 10 jun. 2023

SOARES, M. O. *et al.* The most extensive oil spill registered in tropical oceans (Brazil): The balance sheet of a disaster. **Environmental Science and Pollution Research**, Campinas, v. 29, n. 13, p. 19869–19877, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18710-4>. Acesso em 10 jun. 2023.

SOARES, M. O. *et al.* Déjà vu: New oil spill poses cumulative risks to protected coastal environments in the South Atlantic. **Marine Policy**, Corunha, v. 155, p.

105764, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105764>. Acesso em 24 ago. 2024.

SOARES, M. O.; RABELO, E. F. Severe ecological impacts caused by one of the worst orphan oil spills worldwide. **Marine Environmental Research**, Londres, v. 187, p. 105936, 2023.

SOARES-GOMES, A. *et al.* Changes and variations of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in fish, barnacles and crabs following an oil spill in a mangrove of Guanabara Bay, Southeast Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 60, n. 8, p. 1359–1363, 2010.

SODRÉ, V. *et al.* Physiological aspects of mangrove (*Laguncularia racemosa*) grown in microcosms with oil-degrading bacteria and oil contaminated sediment. **Environmental Pollution**, Columbia, v. 172, p. 243–249, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.09.003>. Acesso em 24 ago. 2024

SOUZA, C. A. V.; FREITAS, C. M. Análise de causas de acidentes e ocorrências anormais relacionados ao trabalho em uma refinaria de petróleo, Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, p. 1293–1303, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2003000500008>. Acesso em 08 nov. 2024

SOUZA, C. S. *et al.* Assessment of the Brazilian Coast Oil Spill Impact in the fish eggs and larvae development from the Tropical Continental Shelf. **Regional Studies in Marine Science**, Amsterdam, v. 56, 102635, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102635>. Acesso em 08 nov. 2024

SOUZA, C. S. *et al.* The impact of Brazilian coast oil spill on the mesozooplankton of the tropical narrowest continental shelf. **Aquatic Ecology**, Nova York, v. 57, n. 2, p. 481–498, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10452-023-10024-y>. Acesso em 08 nov. 2024

SOUSA, Renata Pascoal da Silva. **Dinâmica temporal e ecologia funcional de uma formação pioneira de influência flúvio-lacustre 19 anos após derramamento de petróleo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/71597>. Acesso em 08 nov. 2024.

SOUZA, S. *et al.* Species diversity of culturable endophytic fungi from Brazilian mangrove forests. **Current Genetics**, Nova York, v. 59, n. 3, p. 153–166, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00294-013-0396-8>. Acesso em 08 nov. 2024.

SOUZA, B. D. S. *et al.* Modelagem e simulação de derrames de dois tipos de petróleo baseado na experiência de Tramandaí/RS. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa Em Engenharia**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 96–107, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.26512/ripe.v5i1.19242>. Acesso em 20 jun. 2023.

SOUZA, C. A. V.; FREITAS, C. M. Análise de causas de acidentes e ocorrências anormais relacionados ao trabalho em uma refinaria de petróleo, Rio de Janeiro.

**Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, p. 1293–1303, 2003.  
Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2003000500008>. Acesso em 20 jun. 2023.

SOUZA-BASTOS, L.; FREIRE, C. Osmoregulation of the resident estuarine fish *Atherinella brasiliensis* was still affected by an oil spill (Vicuna tanker, Paranagua Bay, Brazil), 7 months after the accident. **The Science of the Total Environment**, Nova York, v. 409, p. 1229–1234, 2011.

TAKETANI, R. G. *et al.* Characterisation of the effect of a simulated hydrocarbon spill on diazotrophs in mangrove sediment mesocosm. **Antonie Van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology**, Amsterdam, v. 96, n. 3, p. 343–354, 2009.

TAKETANI, R. G. *et al.* Microbial community response to a simulated hydrocarbon spill in mangrove sediments. **Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 48, n. 1, p. 7–15, 2010.

TECHTMANN, S. M. *et al.* Impacts of dispersants on microbial communities and ecological systems. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlim, v. 107, n. 4, p. 1095–1106, 2023.

TERRA, A. L. *et al.* Subject-access metadata on ETD supplied by authors: a case study about keywords, titles and abstracts in a Brazilian academic repository. **Journal of Academic Librarianship**, Boulder, v. 47, p. 102268, 2021.

THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION(a). **Oil Tanker Spill Statistics 2024**. Londres, 2024. Disponível em: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>. Acesso em: fev.2025.

THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION(b). **Effects of oil pollution on the marine environment**. Londres, 2011. Disponível em: [https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS\\_TAPS\\_new/TIP\\_13\\_Effects\\_of\\_Oil\\_Pollution\\_on\\_the\\_Marine\\_Environment.pdf](https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_13_Effects_of_Oil_Pollution_on_the_Marine_Environment.pdf). Acesso em: 24 fev 2025.

THOMAZ, S. M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. **Planta Daninha**, Sete Lagoas, v. 20, p. 21–33, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000400003>. Acesso em 04 dez. 2024.

TRICCO, A. C. *et al.* PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. **Annals of Internal Medicine**, Filadélfia, v. 169, p. 467–473, 2018.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Tipos de revisão de literatura**. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Biblioteca/tipos-de-evisao-de-literatura.pdf>. Acesso em: 25 jan 2025.

UNO, S. *et al.* Oil spill off the coast of Guimaras Island, Philippines: Distributions and changes of polycyclic aromatic hydrocarbons in shellfish. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 124, n. 2, p. 962–973, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.06>. Acesso em 02 abr. 2025

VALE, Nicholas Farias Lopes do. **Caracterização de recifes mesofóticos em áreas chave da plataforma continental brasileira**: margem equatorial e bacia Sergipe-Alagoas. Tese (Doutorado em Botânica) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro / Escola Nacional de Botânica Tropical, Universidad de Granada, 2022.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **VOSviewer Manual**. Amsterdam v. 1.6.20, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12213647>. Acesso em: 05 nov. 2024

VASCONCELOS, R. N. *et al.* Oil Spill Detection and Mapping: A 50-Year Bibliometric Analysis. **Remote Sensing**, Viena, v. 12, p. 3647, 2020.

VEIGA, Vinicius Mendes. **Análise comparativa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e indicadores fitossociológicos em um manguezal contaminado por petróleo**: estudo de caso no manguezal do rio Iriri, canal de Bertioiga, Santos (SP). 2023. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro/SP, 2023.

YAMAMURA, Michella Bardelli da Silva. **Florística e estrutura de uma formação pioneira com influência flúvio-lacustre 12 anos após derramamento de óleo, Araucária, Paraná**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba/PR, 2014.

YUEWEN, D.; ADZIGBLI, L. Assessing the Impact of Oil Spills on Marine Organisms. **Journal of Oceanography and Marine Research**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 1–7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4172/2572-3103.1000179>. Acesso em 28 nov. 2024.

ZACHARIAS, D. C.; GAMA, C. M.; FORNARO, A. Mysterious oil spill on Brazilian coast: Analysis and estimates. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 165, p. 112125, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112125>. Acesso em 02 abr. 2025

ZACHARIAS, D. C. *et al.* Mysterious oil spill on the Brazilian coast - Part 2: A probabilistic approach to fill gaps of uncertainties. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 173, p. 113085, 2021.

ZACHARIAS, D. C. *et al.* Offshore oil spills in Brazil: An extensive review and further development. **Marine Pollution Bulletin**, Londres, v. 205, p. 116663, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116663>. Acesso em 02 abr. 2025

ZANARDI-LAMARDO, E.; BICEGO, M.; WEBER, R. The fate of an oil spill in São Sebastião channel: A case study. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 61, p. 93–104, 2013.

# **APÊNDICE A- CHECK-LIST PARA REVISÕES NARRATIVAS PREENCHIDA**

<b>Seção/Tópico</b>	<b>Nº Item</b>	<b>Item</b>	<b>Número da página/ Número da linha</b>	<b>Seção/ parágrafo</b>
<b>Título</b>				
Título	1	Identificar o relato como uma Revisão Narrativa ou Revisão de Literatura	Página 22	Página do título
<b>Abstract</b>				
Sumário estruturado	2	Providenciar um sumário estruturado com as subseções: embasamento e objetivos, método, conteúdo principal e achados, conclusões.	Página 22	Abstract
<b>Introdução</b>				
Racionalidade/ Embasamento	3	Descrever a racionalidade para a revisão no contexto do que já se conhece.	Páginas 23 A 25	Introdução
Objetivos	4	Especificar a(s) questão(ões) norteador(as) identificada para o tópico da revisão	Página 26	Introdução
<b>Métodos</b>				
Seleção de estudos	5	Especificar o processo de identificação da pesquisa de literatura (ex: anos considerados, idioma, status de publicação, desenho de estudo e cobertura dos bancos de dados.	Páginas 27 A 31	Estratégia de busca
<b>Discussão/ Sumário</b>				
Narrativa	6	Discussão: 1) revisão dos estudos, incluindo descobertas fundamentais ou principais achados, 2) limitação e /ou qualificação dos estudos revisados, e 3) necessidade por estudos futuros.	Páginas 32 A 55	Perspectivas futuras
Sumário	7	Promover uma interpretação geral da revisão narrativa no contexto da prática clínica para os profissionais da saúde, desenvolvimento de	Páginas 50 A 55	Perspectivas futuras

		políticas e sua implementação ou futuras pesquisas.		
--	--	---	--	--

**APÊNDICE B – CHECK-LIST PRISMA PARA REVISÕES DE ESCOPO  
PREENCHIDA**

<b>Seção</b>	<b>Item</b>	<b>Item do checklist PRISMA-ScR</b>	<b>Relatado na página</b>
<b>Título</b>			
Título	1	Identificar o relatório como uma revisão de escopo	Página 58
<b>Abstract</b>			
Sumário estruturado	2	Providenciar um sumário estruturado que inclua (quando aplicável): contextualização, objetivos, critérios de elegibilidade, fonte de evidências, gráfico metodológicos, resultados e conclusões que se relacionam a questão de revisão e objetivos	Página 58
<b>Introdução</b>			
Justificativa	3	Descrever a justificativa da revisão no contexto atual. Explicar por que a pergunta de revisão ou os objetivos prestam-se a conduzir uma revisão de escopo.	Página 63
Objetivos	4	Fornece uma declaração explícita das questões e objetivos que estão sendo abordados com referência aos seus elementos-chave (por exemplo: população ou participantes, conceito contexto) ou outros elementos-chave relevantes usados para conceituar as questões e/ou objetivos da revisão.	Página 64
<b>Métodos</b>			
Protocolo e Registro	5	Indique se existe um protocolo de revisão: informe se e onde ele pode ser acessado (por exemplo: um endereço na Web); se disponível, forneça informações de registro incluindo o número de registro	Não se aplica
Critérios de elegibilidade	6	Especifique as características das fontes de evidência usadas como critérios de elegibilidade (por exemplo: anos considerados, idioma e status de publicação) e forneça uma justificativa.	Página 65 a 71
Fontes de Informação	7	Descreva todas as fontes de informações na pesquisa (por exemplo, bancos de dados com data de cobertura e contato com os autores para identificar fontes adicionais), bem com a data em que a pesquisa mais recente foi executada.	Página 65 a 71
Pesquisa	8	Apresente a estratégia completa de busca eletrônica para pelo menos um banco de dados, incluindo quaisquer limites utilizados, de modo que ela possa ser repetida	Páginas 65 a 71



Seleção de fontes de evidências	9	Descreva o processo de seleção de fontes de evidências (por exemplo, triagens e elegibilidade) incluídas na revisão de escopo.	Página 65 a 71
Processo de mapeamento de dados	10	Descreva os métodos de mapeamento de dados das fontes de evidências incluídas (por exemplo, formulários calibrados ou formulários que foram testados pela equipe antes do seu uso e se o registro de dados foi feito de forma independente ou em duplicata e quaisquer processos para obter e confirmar os dados dos pesquisadores	Página 65 a 71
Itens de dados	11	Liste e defina todas as variáveis para as quais os dados foram buscados e quaisquer suposição e simplificações feitas.	Páginas 65 a 71
Avaliação crítica das fontes individuais de evidências	12	Se feito, forneça uma justificativa para a realização de uma avaliação crítica das fontes de evidências incluídas; descreva os métodos usados e como essas informações foram usadas em qualquer síntese de dados (se apropriado)	Não se aplica
Síntese de resultados	13	Descreva os métodos de manipulação e resumo dos dados que foram registrados no gráfico	Página 65 a 71
<b>Resultados</b>			
Seleção das fontes de evidências	14	Forneça o número de fontes de evidências selecionadas, avaliadas quanto a elegibilidade e incluídas na revisão, com os motivos das exclusões em cada estágio, de preferência usando um fluxograma	Página 72 a 103
Características das fontes de evidências	15	Para cada fonte de evidência, apresente as características para as quais os dados foram mapeados e forneça as citações	Página 72 a 103
Avaliação crítica das fontes de evidências	16	Se feito, apresente dados sobre a avaliação crítica das fontes de evidências incluídas (ver item 12)	Não se aplica
Resultados individuais das fontes de evidência	17	Para cada fonte de evidências incluída, apresente os dados relevantes que foram mapeados e que se relacionam com as questões e objetivos da revisão.	Páginas 72 a 103
Síntese de resultados	18	Resuma e /ou apresente os resultados do gráfico conforme eles se relacionam com as questões e objetivos da revisão.	Páginas 72 a 103
<b>Discussão</b>			
Sumário de evidências	19	Resuma dos principais resultados (incluindo uma visão geral dos conceitos, temas e tipos de evidências	Páginas 104 a 111

		disponíveis), vincule-os as perguntas e objetivos da revisão e considere a relevância para os principais grupos.	
Limitações	20	Discuta as limitações do processo de revisão de escopo.	Páginas 111
Conclusões	21	Forneça uma interpretação geral dos resultados com relação às questões e objetivos da revisão, bem como potenciais implicações e/ou próximos passos.	Página 112
<b>Fontes de Financiamento</b>			
Financiamento	22	Descreva fontes de financiamento para as fontes de evidências incluídas, bem como fontes de financiamento para a revisão de escopo. Descreva o papel dos financiadores da revisão de escopo.	Não se aplica