

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Yasmin Miranda Costa

**Impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos
marinhos: uma revisão sistemática**

Juiz de Fora
2025

Yasmin Miranda Costa

**Impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos
marinhos: uma revisão sistemática**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de
Juiz de Fora como requisito à obtenção do
título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Doutor Artur Andriolo

Coorientador: Doutora Anne Landine

Juiz de Fora
2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Costa, Yasmin Miranda.

Impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em
mamíferos marinhos: uma revisão sistemática / Yasmin Miranda
Costa. -- 2025.

36 p.

Orientador: Artur Andriolo

Coorientadora: Anne Landine

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, 2025.

1. Cetáceos. 2. Exploração sísmica. 3. Operações petrolíferas. 4.
Pinípedes. 5. Ruído antropogênico. I. Andriolo, Artur, orient. II.
Landine, Anne, coorient. III. Título.

Yasmin Miranda Costa

**Impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos
marinhos: uma revisão sistemática**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de
Juiz de Fora como requisito à obtenção do
título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em 22 de agosto de 2025

BANCA EXAMINADORA



Doutor Artur Andriolo - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora



Doutora Anne Landine - Coorientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora



Mestra Caroline Santos Portal
Universidade Federal de Juiz de Fora



Doutora Sarah da Silva Mendes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho a todos que fizeram
parte da minha jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, por todo o amor, incentivo e apoio. Sem vocês, nada disso seria possível. Obrigada por tudo.

Aos meus avós, Riza e Miranda, agradeço por sempre estarem presentes na minha vida e por todo o apoio.

Ao professor e orientador Artur Andriolo, agradeço por todas as oportunidades, ensinamentos e confiança depositada em mim.

À Anne, agradeço de coração por toda a ajuda. Sua presença foi essencial ao longo deste trabalho.

Ao Laboratório de Ecologia Comportamental e Bioacústica (LABEC) e ao Instituto Aqualie, agradeço por todas as experiências incríveis que tive. Fazer parte desse ambiente foi incrível e fez com que eu me apaixonasse ainda mais pela profissão.

Por fim, agradeço de coração a todos que me acompanharam durante o curso.

RESUMO

Os levantamentos sísmicos são utilizados em uma das etapas da exploração de petróleo, contudo, são uma fonte de ruído antropogênico que precisa ser melhor estudada de forma a mitigar seus impactos na vida marinha. Por usarem vocalizações e aspectos auditivos em grande parte de seus comportamentos essenciais, os mamíferos marinhos, em particular os cetáceos, são organismos especialmente vulneráveis a este impacto. Diante disso, neste trabalho fizemos uma revisão sistemática da literatura, utilizando as bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, sobre os impactos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos. Primeiramente, a busca resultou em 448 artigos que, após triagem e seleção por critérios de inclusão e exclusão, totalizou em 59 artigos incluídos neste trabalho. Os anos com mais publicações foram 2016 e 2020 e a região mais recorrente foi a Rússia. Cerca de 78% dos estudos analisados são sobre cetáceos e a espécie mais estudada foi *Eschrichtius robustus*, conhecida como baleia cinzenta. O tipo de levantamento sísmico mais descrito foi o tridimensional (3D), sendo os monitoramentos acústicos e visuais os mais descritos. Entre os impactos encontrados, se destacam aspectos comportamentais, nos quais a maior parte dos estudos demonstra alguma mudança ou redução em atividades essenciais. De maneira geral, os estudos incluídos nesta revisão deixam claro que levantamentos sísmicos têm potencial de impactar vários aspectos desses organismos, variando de acordo com o grupo ou espécie avaliado.

Palavras-chave: cetáceos; efeitos; exploração sísmica; operações petrolíferas; pinípedes; ruído antropogênico.

ABSTRACT

Seismic surveys are a source of anthropogenic noise widely used in oil exploration. Marine mammals, particularly the cetaceans, are especially vulnerable to this impact because they use vocalizations and auditory aspects in much of their essential behavior. In view of this, in this study, we conducted a systematic review of the literature, using the Web of Science and Scopus databases, on the impacts of seismic surveys and oil exploration on marine mammals. Initially, the search resulted in 448 articles, which, after screening and selection based on inclusion and exclusion criteria, resulted in 59 articles included in this study. The years with the highest number of publications were 2016 and 2020 and the most frequently studied region was Russia. About 78% of the studies analyzed are on cetaceans, and the most studied species is *Eschrichtius robustus*, known as the gray whale. The most commonly described type of seismic survey is three-dimensional (3D) and acoustic and visual monitoring methods were the most commonly reported. Among the identified impacts, behavioral aspects stand out, with most studies reporting some change or reduction in essential activities. In general, the studies included in this review make it clear that seismic surveys have the potential to impact various aspects of these organisms, varying according to the evaluated group or species.

Keywords: anthropogenic noise; cetaceans; effects; petroleum operations; pinnipeds; seismic exploration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Diagrama PRISMA do fluxo de seleção de estudos sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos, incluindo registros provenientes das bases de dados Scopus e Web of Science, remoção de duplicatas, triagem, avaliação de elegibilidade e inclusão; motivos de exclusão em texto completo detalhados no diagrama	16
Figura 2	– Número de artigos sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos por ano de publicação (1985-2024)	17
Figura 3	– Mapa de ocorrência dos locais de pesquisa sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos. Os números indicam o total de registros por região, com detalhe ampliado da Europa, mostrando números sobrepostos	18
Figura 4	– Tipos de levantamento utilizados nos estudos sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Número de artigos sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos por espécie. Status de conservação IUCN: LC - Least Concern (pouco preocupante), NT - Near Threatened (quase ameaçada), VU - Vulnerable (vulnerável), EN - Endangered (em perigo)	20
Tabela 2	– Principais efeitos observados em mamíferos marinhos nos estudos avaliados sobre exposição à sísmica e exploração de petróleo	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	METODOLOGIA	14
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1	DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS PUBLICAÇÕES	17
3.2	DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS ESTUDOS	18
3.3	GRUPOS E ESPÉCIES-ALVO	19
3.4	LEVANTAMENTO SÍSMICO	21
3.5	ABORDAGENS METODOLÓGICAS	23
3.6	PARÂMETROS AVALIADOS E RESPOSTAS OBSERVADAS	24
3.7	MEDIDAS DE MITIGAÇÃO	29
4	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Os mamíferos marinhos abrangem cerca de 139 espécies (COMMITTEE ON TAXONOMY, 2025). Esse grupo inclui os cetáceos (baleias, golfinhos e botos), os pinípedes (leões marinhos, focas e morsas) os sirênios (peixes-boi) e outros grupos, como os mustelídeos (lontras) e os ursídeos (ursos-polares). Cada espécie tem sua particularidade, podendo ser encontradas em diferentes habitats e em diferentes regiões geográficas (JEFFERSON et al., 2008). O som se propaga na água de forma mais eficiente do que a luz (ERBE et al., 2018; ERBE et al., 2025) e com isso, ao longo de sua evolução, os mamíferos marinhos desenvolveram adaptações que os tornam altamente dependentes desse sentido para comportamentos essenciais, como vocalização, reprodução e socialização (BERTA et al., 2006; JEFFERSON et al., 2008; ERBE et al., 2018; TYACK, 2000). As vocalizações dos mamíferos marinhos exercem uma função crucial na comunicação intra e interespecífica, reconhecimento do indivíduo e interações sociais (JANIK & SLATER, 1998; TYACK, 2000). Esse repertório vocal apresenta uma grande variação entre espécies, englobando desde cliques de alta frequência até cantos mais elaborados (DUNLOP et al., 2020; JOHNSON et al., 2007). Como parte de suas adaptações, esses animais também desenvolveram uma audição altamente sensível, fundamental para alimentação, comunicação e orientação no ambiente marinho, que, associada às vocalizações, faz com que esses organismos sejam susceptíveis às consequências do ruído produzido pela ação humana (KYHN et al., 2019).

Em geral, o ruído subaquático, sobretudo o resultante da ação humana, pode resultar em alterações comportamentais - englobando aspectos como comunicação, alimentação e reprodução -, físicas e também fisiológicas (DUNLOP et al., 2020). De acordo com o Comitê do Conselho Nacional de Pesquisa dos EUA (1994), níveis altos podem perturbar os mamíferos marinhos, além da possibilidade de causar alterações em suas atividades vitais, como a migração para longe de áreas de alimentação e reprodução, além de mudanças no comportamento das presas desses animais. Segundo TYACK (2000), altos níveis de exposição podem reduzir a sensibilidade auditiva, podendo resultar na perda desta em casos de longa exposição. O autor também menciona que o som tem o potencial de provocar reações de estresse, que implicam em outros custos para esses animais, como maior gasto energético, alterações no comportamento social, entre outros.

As atividades humanas, desde o período da Revolução Industrial, foram responsáveis por acrescentar uma quantidade significativa de ruído nos oceanos (ERBE et al., 2025). Apesar disso, o conflito entre esses organismos e as interferências antrópicas causadas pela emissão de ruído foi aceito apenas na década de 1970 (ERBE et al., 2018). Por isso, compreender como o ruído pode impactar os mamíferos marinhos é extremamente importante, visto que esse impacto ocorre há um período de tempo extenso e sua preocupação é relativamente recente (NOWACEK et al., 2007).

O ruído antropogênico pode ter várias fontes, como por exemplo tráfego marítimo, ruído de embarcações e, especialmente, levantamentos sísmicos, considerados um problema emergente (HILDEBRAND, 2009; JEFFERSON et al., 2008; NOWACEK et al., 2015).

Operações sísmicas são utilizadas em diversas formas de pesquisa, sendo a exploração de petróleo a principal e mais comum, na qual se realizam levantamentos para mapear o fundo do mar na intenção de encontrar reservatórios (ERBE et al., 2025; KAVANAGH et al., 2019). Essa técnica é aplicada para adquirir informações como aspectos físicos dos materiais e arranjo estrutural do subsolo e pode ter diferentes configurações (REYNOLDS, 2011). Para serem realizadas, essas atividades precisam de uma fonte de emissão sonora que irá transmitir esse som e depois captar a energia gerada em uma matriz de hidrofones (ERBE et al., 2025). Essas operações utilizam canhões de ar, conhecidos como *airguns*, que produzem pulsos capazes de impactar mamíferos marinhos, independentemente da quantidade utilizada na pesquisa (HERMANNSEN et al., 2015).

Este efeito tem sido amplamente reconhecido por organizações internacionais, que ressaltam a ameaça cada vez maior que o ruído de operações sísmicas representa para a biodiversidade marinha. De acordo com a IUCN (International Union for Conservation of Nature), atividades como a exploração de petróleo têm contribuído para o aumento da poluição sonora que afeta mamíferos marinhos (IUCN, 2021). Por meio da Convenção sobre Diversidade Biológica, a Organização das Nações Unidas também reconhece esses impactos e ressalta a necessidade de políticas de mitigação (ONU, 2014).

Tendo em vista que revisões sistemáticas têm como propósito identificar, analisar e sintetizar o maior número possível de estudos relevantes dentro de um escopo definido e por seguirem protocolos rigorosos e múltiplas etapas, são

consideradas uma abordagem mais robusta de evidência científica, diferenciando-se de outras formas de revisão da literatura (DE KOCK et al., 2020), buscou-se neste trabalho realizar uma revisão sistemática da literatura sobre os impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos, identificando os principais efeitos descritos, as espécies e áreas mais estudadas, os métodos empregados nos estudos e a existência de estratégias de mitigação, de modo a compilar e analisar as evidências disponíveis sobre esses impactos, identificar lacunas de pesquisa e contribuir para o desenvolvimento de estratégias que reduzam os efeitos da indústria de petróleo e gás sobre mamíferos marinhos.

2 METODOLOGIA

Foi utilizado o diagrama PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para uma abordagem de pesquisa sistemática. Esse recurso organiza todas as etapas da seleção de artigos, tornando evidente o total de estudos por fase e os critérios utilizados para exclusão, garantindo uma replicabilidade além de uma abordagem mais confiável para um trabalho de revisão (PAGE et al., 2021).

Foi feita uma busca sistemática na literatura, usando as bases de dados online *Scopus* e *Web of Science*. Inicialmente, foi feita uma pesquisa "ingênuas" (GRAMES et al., 2019) com pesquisa booleana, com base nos títulos, resumos e palavras-chave, utilizando os seguintes termos: (impact* OR interference* OR influence* OR disturbance* OR exploration* OR pollution* OR "underwater noise pollution" OR "potential impact" OR "potential effects" OR conservation*) AND (acoustic* OR bioacoustic* OR sound* OR noise* OR "noise pollution" OR "underwater noise" OR "anthropogenic noise") AND (seismic OR "seismic activity" OR "seismic survey" OR "seismic surveys" OR petroleum OR "oil exploration" OR "oil extraction" OR "offshore drilling") AND ("marine mammal*" OR cetacean* OR dolphin* OR whale* OR seal* OR "sea lion*" OR "marine environment" OR "underwater environment" OR "marine ecosystems").

Depois disso, utilizamos o pacote "*litsearchr*" no programa R para identificar palavras-chave em potencial, recurso que identifica termos mais recorrentes nos artigos coletados, possibilitando a elaboração de estratégias de busca mais precisas, minimizando a possibilidade de omissão de trabalhos relevantes

(GRAMES et al., 2019). Com base nos resultados, foi elaborado um *string* de pesquisa mais específico, incorporando os termos adicionais, e então fizemos a busca oficial nas bases de dados mencionadas, usando os seguintes termos: (impact* OR interference* OR influence* OR disturbance* OR exploration* OR pollution* OR "underwater noise pollution" OR "potential impact" OR "potential effects" OR conservation* OR "impact assessments" OR "negative impacts" OR "potential impacts") AND (acoustic* OR bioacoustic* OR sound* OR noise* OR "noise pollution" OR "underwater noise" OR "anthropogenic noise" OR "acoustic environment" OR "acoustic signals" OR "acoustic communication" OR "acoustic emission" OR "anthropogenic sound" OR "anthropogenic noise sources" OR "frequency noise" OR "underwater acoustic" OR "underwater sound" OR "acoustic disturbance") AND (seismic OR "seismic activity" OR "seismic survey" OR "seismic surveys" OR petroleum OR "oil exploration" OR "oil extraction" OR "offshore drilling" OR "active seismic" OR "seismic operations" OR "seismic exploration" OR "offshore seismic" OR "seismic activities" OR "seismic noise" OR "seismic sound") AND ("marine mammal*" OR cetacean* OR dolphin* OR whale* OR seal* OR "sea lion*" OR "marine environment" OR "underwater environment" OR "marine ecosystems" OR "cetacean species" OR "marine mammal species" OR "marine mammal population*" OR "whale population" OR "baleen whale*" OR "beaked whale*" OR "bottlenose dolphin" OR "bowhead whale*" OR "humpback whale*" OR "sperm whale*" OR mysticeti OR odontoceti) AND ("marine environment" OR "underwater environment" OR "marine ecosystem*" OR ocean OR "marine habitat*" OR "ocean ambient" OR "ocean environment" OR underwater OR sea).

A busca resultou em 322 artigos na Scopus e 281 artigos na Web of Science, totalizando 603 artigos. Após a remoção de duplicatas, obteve-se um total de 448 artigos (Figura 1). Esses artigos foram avaliados com base nos títulos e resumos para verificar se atendiam aos critérios de inclusão.

A elegibilidade dos artigos foi verificada com base nos seguintes critérios de inclusão: 1. Artigos que abordam impactos em mamíferos marinhos; 2. Artigos que abordam exclusivamente as respostas a levantamentos sísmicos; e 3. Artigos que investigam o impacto acústico. Artigos que não atenderam a esses critérios foram removidos. Também não foram considerados documentos sem dados suficientes e artigos de revisão, que também foram removidos. Cabe ressaltar que não foi estabelecido um intervalo temporal para a seleção dos estudos.

No total, 59 artigos atenderam aos critérios e foram incluídos na análise final, como mostra a Figura 1.

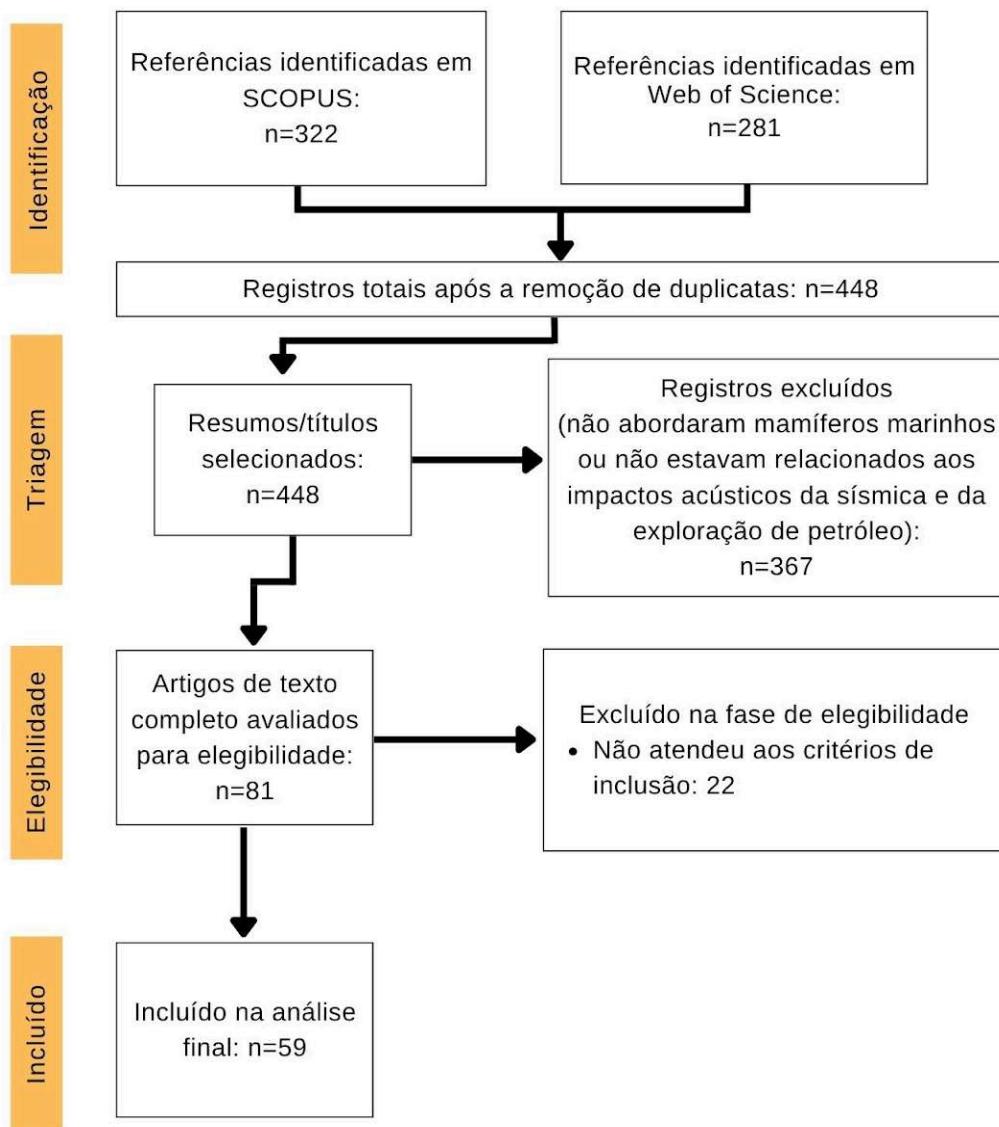


Figura 1 – Diagrama PRISMA do fluxo de seleção de estudos sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos, incluindo registros provenientes das bases de dados Scopus e Web of Science, remoção de duplicatas, triagem, avaliação de elegibilidade e inclusão; motivos de exclusão em texto completo detalhados no diagrama.

Foram extraídas informações dos trabalhos selecionados, diretamente dos textos dos artigos, tabelas e figuras. Entre as informações extraídas dos artigos estão o grupo e a espécie estudada, o local e o período de coleta dos dados, os métodos utilizados, o tipo de resposta observada, os aspectos avaliados nos artigos, se os animais analisados estavam em vida livre ou em cativeiro, o tipo de levantamento sísmico, número de *airguns* utilizados, distância entre o animal e a

fonte sonora e se o artigo menciona medidas de mitigação. Além disso, foi coletada informação a respeito do status de conservação (IUCN, 2025) das espécies mencionadas nos estudos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS PUBLICAÇÕES

Ao analisar os anos de publicações dos artigos, pode-se observar uma concentração de publicações nas últimas décadas, evidenciando uma ampliação do interesse e da produção científica em relação ao tópico. Os anos com maior número de estudos foram 2016 e 2020, respectivamente, como podemos ver na Figura 2. Também nota-se que existem estudos sobre os impactos do ruído em mamíferos marinhos desde 1985, indicando que a investigação sobre o tema tem se desenvolvido ao longo do tempo. Além disso, a presença de estudos nos últimos anos nos mostra que essa área continua se expandindo, refletindo um interesse crescente no assunto.



Figura 2 – Número de artigos sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos por ano de publicação (1985-2024).

A data de coleta dos dados é variável, com muitos artigos mencionando a coleta em vários anos, como THODE et al. (2020), no qual esse processo foi feito de 2008 a 2014. Também se observa que vários estudos não mencionam esse aspecto.

3.2 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS ESTUDOS

A região com maior ocorrência de estudos nessa revisão foi a Rússia, com cerca de 11 artigos (Figura 3). Todos os artigos originados desse país e incluídos na revisão, têm como foco a Ilha de Sakhalin. Trata-se de uma área de ocorrência de baleias-cinzentas, que também possui vários projetos de exploração e produção de petróleo e gás (JOHNSON et al., 2007).



Figura 3 – Mapa de ocorrência dos locais de pesquisa sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos. Os números indicam o total de registros por região, com detalhe ampliado da Europa, mostrando números sobrepostos.

Outro local com grande número de estudos foi o Golfo do México, uma área de sobreposição entre rotas de mamíferos marinhos e pesquisas sísmicas (BARKASZI & KELLY, 2024). Há também vários estudos mencionando o Mar de Beaufort, outra área na qual ocorre essa sobreposição (ROBERTSON et al., 2016).

Podemos ver uma concentração de pesquisas na Europa, na América do Norte e na Oceania, enquanto não foram encontrados artigos da América do Sul e África nesta análise, o que pode não refletir necessariamente polos de pesquisa ou regiões pouco exploradas, mas sim que os termos utilizados na busca sistemática não contemplaram esses locais.

Apesar da concentração de estudos nas regiões mencionadas, a falta de estudos nas demais regiões não significa que não há impacto. Mamíferos marinhos possuem uma distribuição global (COMMITTEE ON TAXONOMY, 2024), por isso indivíduos presentes em áreas pouco representadas por essa revisão também estão expostos ao ruído sísmico. Dessa forma, mesmo que a sobreposição entre rotas de mamíferos marinhos e projetos de exploração e produção de petróleo e gás seja importante, não é necessariamente a única justificativa para a distribuição encontrada.

No Brasil, tais atividades são extensas, incluindo operações sísmicas e extração petrolífera, que são realizadas por empresas como a Petrobras (LIMA et al., 2024), e informações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2023) evidenciam como essas ações são contínuas e numerosas no país. Esse cenário também se repete na África, área na qual a exploração de petróleo é responsável por causar diversos impactos (OKAFOR-YARWOOD, 2018). Assim, isso demonstra a importância de ações nacionais e ressalta as possíveis restrições decorrentes da estratégia de busca utilizada, sobretudo em relação aos termos da pesquisa.

3.3 GRUPOS E ESPÉCIES-ALVO

Nessa revisão, o maior número de estudos foi sobre os cetáceos, com cerca de 50 artigos. Três deles abordam os cetáceos de forma geral, 30 apresentam estudos sobre misticetos e 17 sobre odontocetos. Os pinípedes são mencionados em oito artigos. Outros seis estudos discutem os mamíferos marinhos em uma abordagem geral. Esse predomínio de estudos com cetáceos pode estar relacionado ao fato de que, entre os mamíferos marinhos, esse grupo apresenta maior sensibilidade ao ruído, uma vez que dependem significativamente do som para funções essenciais (ERBE et al., 2018).

A espécie de maior ocorrência é *Eschrichtius robustus*, ou baleia-cinzenta, presente em 11 artigos, como podemos ver na Tabela 1. A espécie *Balaena mysticetus*, conhecida como baleia da Groenlândia, está presente em sete estudos, seguida pela *Megaptera novaeangliae* e *Phocoena phocoena*, que são mencionadas em seis artigos.

Espécies	Nome popular	Estado de conservação (IUCN)	N de artigos
<i>Eschrichtius robustus</i>	Baleia cinzenta	LC	11
<i>Balaena mysticetus</i>	Baleia da Groenlândia	LC	7
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Baleia jubarte	LC	6
<i>Phocoena phocoena</i>	Toninha comum	LC	6
<i>Balaenoptera musculus</i>	Baleia azul	EN	5
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalote	VU	4
<i>Phoca hispida</i>	Foca anelada	LC	3
<i>Balaenoptera physalus</i>	Baleia fin	VU	3
<i>Monodon monoceros</i>	Narval	LC	2
<i>Phoca largha</i>	Foca pintada	LC	2
<i>Erignathus barbatus</i>	Foca barbuda	LC	2
<i>Hyperoodon ampullatus</i>	Baleia nariz de garrafa do norte	NT	2
<i>Tursiops truncatus</i>	Golfinho nariz de garrafa	LC	2
<i>Phoca vitulina</i>	Foca comum	LC	1
<i>Arctocephalus forsteri</i>	Foca pele nova da Nova Zelândia	LC	1
<i>Ziphius cavirostris</i>	Baleia de bico de Cuvier	LC	1
<i>Mesoplodon bidens</i>	Baleia de bico de Sowerby	LC	1
<i>Delphinus delphis</i>	Golfinho comum	LC	1
<i>Leptonychotes weddellii</i>	Foca de Weddell	LC	1
<i>Delphinapterus leucas</i>	Beluga	LC	1
<i>Halichoerus grypus</i>	Foca cinzenta	LC	1

Tabela 1 – Número de artigos sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos por espécie. Status de conservação IUCN: LC - Least Concern (pouco preocupante), NT - Near Threatened (quase ameaçada), VU - Vulnerable (vulnerável), EN - Endangered (em perigo).

A maioria dos estudos analisados foca apenas em uma espécie. Porém, diversos artigos abordam mais de um grupo ou espécie, como COSTA et al. (2016), cujo estudo foi feito com baleias jubarte e baleias azuis. Outro exemplo é HERMANNSEN et al. (2015), no qual o estudo foi feito com toninhas comuns e focas comuns. Esses estudos oferecem uma compreensão mais ampla dos efeitos da sísmica, possibilitando uma comparação das respostas e a identificação de espécies ou grupos mais vulneráveis a esse impacto (ERBE et al., 2018; NOWACEK et al., 2007).

Cerca de 85% dos estudos analisados são com espécies classificadas como pouco preocupantes pela Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas (IUCN, 2025). Apenas um estudo menciona uma espécie classificada como quase ameaçada (NT), *Hyperoodon ampullatus*. Cinco estudos abordam uma espécie considerada em perigo (EN), *Balaenoptera musculus*. Outros sete estudos referem-se a espécies vulneráveis (VU), sendo três sobre *Balaenoptera physalus* e quatro sobre *Physeter macrocephalus*. É importante mencionar que EN e VU são definidas como categorias de ameaça pela IUCN. Por isso, compreender os impactos do ruído gerado pela sísmica em espécies ameaçadas é essencial para a conservação, já que elas desempenham papéis centrais na manutenção da biodiversidade marinha. Apesar da predominância de estudos focados em espécies menos preocupantes, a atenção às espécies ameaçadas contribui para o desenvolvimento de medidas de mitigação mais eficazes.

3.4 LEVANTAMENTO SÍSMICO

Todos os artigos têm como tema principal os impactos da sísmica, porém alguns artigos analisam outros impactos no mesmo artigo. DUNLOP et al. (2020) também analisam o impacto do ruído de navios. FARMER et al. (2018) analisam os impactos da sísmica e da exposição ao petróleo em cachalotes. Em MORANO et al. (2020), foi feita uma análise dos padrões de ocorrência de uma população de cachalotes após o derramamento de óleo. Em SCIACCA et al. (2016), foi analisado o impacto da sísmica e do ruído de navios em baleias-fin. Esses estudos nos mostram que os impactos da sísmica não ocorrem isoladamente, além de indicar a importância de se considerar efeitos cumulativos em ações voltadas à proteção de mamíferos marinhos.

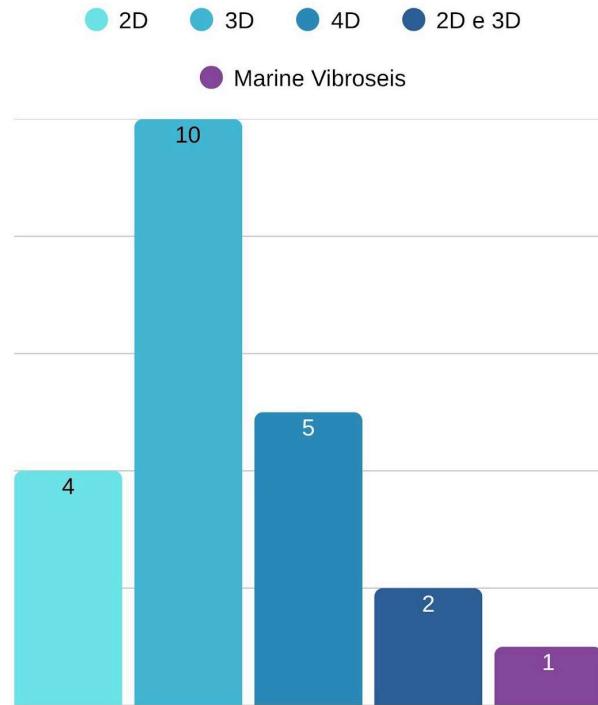


Figura 4 – Tipos de levantamento utilizados nos estudos sobre impactos acústicos da sísmica e da exploração de petróleo em mamíferos marinhos.

O tipo de levantamento sísmico mais utilizado foi o tridimensional (3D), sendo mencionado em 10 estudos (Figura 4). Também temos estudos utilizando levantamentos 2D e 4D, com menor incidência. Em KYHN et al. (2019) e MCGEADY et al. (2016) foram feitos levantamentos sísmicos 2D e 3D no mesmo estudo.

O levantamento 2D faz uso de uma fonte e um *streamer* para gerar uma representação vertical com linhas de levantamento distribuídas em intervalos largos (ERBE et al., 2025). Já o levantamento sísmico 3D é realizado com base em vários *streamers* e com linhas em intervalos menores, representando um volume da estrutura do subsolo (ERBE et al., 2025; KEAREY et al., 2002). Também são feitos levantamentos 4D, nos quais a fonte é rebocada e os hidrofones ficam no solo oceânico, e o tempo é a variável (KEAREY et al., 2002). Essas diferenças entre os tipos de levantamentos sísmicos mostram que é preciso considerá-las, já que levantamentos 3D e 4D, por exemplo, tendem a gerar níveis mais altos de ruído, aumentando o risco de impacto.

Em MATTHEWS et al. (2020) foi feito um estudo comparando o uso de *airguns*, que é o mais comum, com *Marine Vibroseis* (MV), sendo o único artigo desta revisão a mencionar esse método. *Marine Vibroseis* ou vibradores marinhos são um método alternativo aos *airguns* comumente usados em levantamentos

sísmicos, que é considerado mais seguro e pode causar menos impactos (DUNCAN et al. 2017). Essa técnica consiste em gerar sinais acústicos controláveis deslocando o volume de água através de uma placa vibratória, permitindo a modificação desses sinais que comparado aos produzidos por *airguns*, são geralmente mais baixos (MATTHEWS et al., 2020).

Alguns dos estudos incluídos nesta revisão mencionam o número de *airguns*, como SARNOCIŃSKA et al. (2020). Neste artigo foi mencionado que utilizaram um conjunto com 21 *airguns* ativos. Já DUNLOP et al (2024) descreve que o levantamento utilizou apenas um *airgun*. Isso evidencia uma grande variação no número de *airguns* utilizados, podendo estar relacionado com a intensidade do ruído gerado, uma vez que um maior número de *airguns* pode produzir sons mais intensos, influenciando diretamente os efeitos sobre mamíferos marinhos.

Há também artigos que mencionam a distância do animal a fonte de emissão sonora. TERVO et al. (2023) diz que a proximidade entre a embarcação e os narvais variou entre 1 a 63 km durante o estudo. Em HARRIS et al. (2001), focas foram observadas à 150-250 m da embarcação. Esses estudos mostram a relevância de se considerar esse assunto para compreender os potenciais impactos do ruído da sísmica, uma vez que a intensidade do som diminui à medida que a distância aumenta, podendo orientar estratégias de mitigação, como zonas de exclusão, por exemplo.

3.5 ABORDAGENS METODOLÓGICAS

Os métodos de monitoramento de mamíferos marinhos mais encontrados nos artigos incluídos são monitoramento acústico, presente em 29 estudos, e monitoramento visual, presente em 24. Ambos os métodos foram empregados em sete estudos. Há também estudos utilizando telemetria, totalizando cinco estudos. RACCA & AUSTIN (2016) utilizam esse método em conjunto com os dois mencionados anteriormente. Outros cinco estudos baseiam-se em estudos previamente publicados para analisar os impactos da sísmica. MCGEADY et al. (2016) desenvolveram sua pesquisa com base no banco de dados de encalhes de cetáceos. Em ROMANO et al. (2004) foi feita uma coleta sanguínea dos indivíduos presentes no estudo para avaliar os efeitos fisiológicos da exposição ao ruído sísmico. Esses diferentes métodos nos mostram que nenhum deles, isoladamente, é

capaz de compreender toda a extensão dos impactos da sísmica em mamíferos marinhos, e que utilizá-los em conjunto permite uma abordagem mais ampla e confiável desses impactos.

A grande maioria dos estudos foi realizada com animais em vida livre, os quais são de grande importância para estudar esses impactos em condições naturais, porém há três estudos com animais em cativeiro, envolvendo belugas e golfinhos nariz de garrafa (ROMANO et al., 2004), focas pintadas e focas aneladas (SILLS et al., 2017), e focas-barbudas (SILLS et al., 2020), característica que garante um maior controle do experimento. Dessa forma, essas abordagens podem ser consideradas complementares, considerando que cada uma apresenta uma perspectiva diferente sobre o impacto, ambas essenciais para sua compreensão.

3.6 PARÂMETROS AVALIADOS E RESPOSTAS OBSERVADAS

Aspectos comportamentais foram os fatores mais avaliados nos estudos incluídos nesta revisão. Embora alguns estudos mostrem que o que foi avaliado não resultou em efeitos significativos, a maior parte aponta para alguma mudança comportamental ou redução em atividades essenciais. A Tabela 2 apresenta um resumo dessas alterações comportamentais observadas nos diferentes trabalhos. Em seguida, serão apresentados alguns dos artigos incluídos, bem como as respostas obtidas na pesquisa.

Aspecto Avaliado	Resultados / Respostas Observadas
Comportamento geral	Evasão, mudanças em deslocamento, socialização e vocalização
Alimentação e forrageamento	Redução ou alteração no comportamento alimentar
Mergulho e respiração	Alterações no padrão e duração dos mergulhos
Comunicação e interações	Redução na comunicação e nas interações sociais
Reprodução	Mudanças nas táticas de acasalamento e custos energéticos
Densidade populacional	Redução, redistribuição e variação na densidade de chamados
Fisiologia e sistema imunológico	Alterações hormonais, bioenergéticas e imunológicas
Audição	Perda auditiva temporária, mascaramento e danos auditivos
Encalhe	Aumento da taxa de encalhe relacionada a sísmica

Tabela 2 – Principais efeitos observados em mamíferos marinhos nos estudos avaliados sobre exposição à sísmica e exploração de petróleo.

Em HEIDE-JØRGENSEN et al. (2021) foram analisadas respostas comportamentais ao experimento sísmico, que nesse caso provocou alterações em narvais em longas distâncias e inclusive em decorrência da presença de embarcações. Essas alterações incluem evasão, na qual os animais alteravam sua trajetória e deslocavam-se para a costa, e aumento na velocidade de deslocamento.

TERVO et al. (2023) estudaram mudanças no forrageamento e no comportamento de mergulho gerados pela sísmica. Esse trabalho identifica uma redução significativa no forrageamento, acompanhada de um aumento expressivo nas atividades relacionadas ao mergulho, evidenciando alterações comportamentais relevantes e a sensibilidade de narvais ao ruído.

Em ROBERTSON et al. (2013) foi analisado como operações sísmicas impactam o comportamento de superfície, respiração e mergulho, chamado de SRD (surface-respiration-dive behavior), da baleia da Groenlândia. Como resultados, esse estudo menciona que houve alterações no tempo de mergulho e comportamentos de “surfacings” mais curtos, sobretudo quando esses animais estavam socializando e em conjunto com filhotes.

Estudos mais antigos, como os de RICHARDSON et al. (1985) e RICHARDSON et al. (1986), abordaram os efeitos da sísmica no comportamento de

baleias da Groenlândia. O primeiro, indicou alterações no comportamento de comunicação, mergulho e alimentação, enquanto o segundo indicou alterações no comportamento de SRD e deslocamento do local da pesquisa.

DUNLOP et al. (2020) avaliaram os impactos nas interações sociais e neste trabalho podemos ver que tanto a sísmica quanto o ruído das embarcações causaram redução de interações sociais em baleias-jubarte.

FARMER et al. (2018) avaliaram os impactos cumulativos da exposição ao óleo e ao ruído sísmico. Os resultados incluem redução da alimentação, mudanças no comportamento de mergulho, efeitos fisiológicos e bioenergéticos.

SARNOCIŃSKA et al. (2020) analisaram os impactos da sísmica na atividade de ecolocalização. Como resultado, houve uma diminuição na intensidade dessa atividade e na presença de toninhas.

DUNLOP et al. (2024) investigaram mudanças nas táticas de acasalamento durante a exposição ao levantamento sísmico, que nesse caso, geraram alteração nos comportamentos reprodutivos. Já em SCHWARZ et al. (2022), foi dito que uso do habitat e o sucesso reprodutivo de baleias cinzentas não é afetado pela sísmica, porém como se tratava de um estudo de modelagem mais abrangente, também foi dito que há uma possibilidade dessa avaliação não ter sido precisa.

GALLAGHER et al. (2021) investigaram as consequências populacionais do impacto sísmico e, como resultado desse estudo, temos que os impactos mais significativos estavam relacionados aos custos energéticos do período reprodutivo.

Em ROMANO et al. (2004) foram avaliados os efeitos da sísmica na ativação do sistema nervoso e na função imunológica da beluga e do golfinho nariz de garrafa. Mostra-se que sons altos e impulsivos provocam alterações claras nos níveis hormonais e no sistema imunológico, enquanto sons mais suaves geram alterações mais sutis.

Há também artigos como THOMPSON et al. (2013) e MORANO et al. (2020) que avaliam a ocorrência de, respectivamente, toninhas e cachalotes, em áreas de prospecção sísmica. Enquanto as toninhas apresentaram pequenos efeitos, as cachalotes tiveram uma redução nessa taxa.

Outro artigo avalia a densidade de avistamentos de cetáceos e o resultado foi uma redução desse aspecto e redistribuição dos indivíduos (KAVANAGH et al., 2019). GAILEY et al. (2022) analisaram a densidade local das baleias cinzentas, na qual o impacto causou a diminuição dessa taxa à medida que a exposição

aumentava. THODE et al. (2020) avaliaram as densidades de chamados de baleias da Groenlândia e notaram que houve um aumento nos chamados quando o ruído é menor, e diminuição quando os ruídos sísmicos são muito altos.

Em JOHNSON et al. (2007) e YAZVENKO et al. (2007), dois estudos conduzidos na Rússia, foram avaliados os impactos da sísmica na atividade de alimentação. Foi dito que, respectivamente, houve alterações no comportamento de alimentação e deslocamento, e não tiveram efeitos mensuráveis nessa atividade.

HÜCKSTÄDT et al. (2020) e COSTA et al. (2016) realizaram estudos que avaliaram a exposição de baleias azuis e baleias jubarte, a uma perturbação sísmica. Em ambos foi dito que essa exposição é maior em certas áreas e que esse fator depende de cada população.

KYHN et al. (2019) fizeram uma análise do nível de exposição sonora e disseram que o ruído sísmico prejudica esses organismos, podendo causar mascaramento, danos auditivos e alterações no comportamento.

BREITZKE et al. (2010) estudaram os impactos da sísmica nos limiares auditivos de mamíferos marinhos. Esses riscos podem incluir perda auditiva temporária, alterações no comportamento e na recepção do som. Em SILLS et al. (2020) foram avaliados os efeitos auditivos, nos quais os impactos da sísmica foram responsáveis por alterações na vocalização, padrões de mergulho, comportamento social, deslocamento e mudanças na alimentação.

WITTEKIND (2016) estudou os impactos da sísmica na comunicação de baleias azuis, baleias fin e focas de Weddell, e os resultados indicaram que tais efeitos podem levar à diminuição do alcance comunicativo.

MCGEADY et al. (2016) discutiram sobre os efeitos de levantamentos sísmicos na taxa de encalhe de odontocetos, que incluem o aumento desta taxa.

Há também artigos como SILLS et al. (2017), sobre focas pintadas e focas aneladas, ROBERTSON et al. (2016), sobre baleias da Groenlândia, e GAILEY et al. (2007), sobre baleias cinzentas, nos quais não houve efeitos significativos da sísmica nos grupos e espécies estudados.

De forma resumida, os estudos presentes nessa revisão evidenciam que o ruído sísmico pode gerar diversos impactos no comportamento, fisiologia e ecologia dos mamíferos marinhos, que podem variar de acordo com a espécie ou grupo e a intensidade da exposição.

Ao analisar as respostas e compará-las aos tipos de levantamentos sísmicos podemos ver que independente do tipo, são observadas respostas diversas, incluindo ausência de efeitos significativos e também impactos notáveis, como os mencionados acima. Nessa revisão, nota-se que mesmo quando os estudos indicam ausência de efeitos significativos, em alguns casos foram observadas mudanças sutis, sugerindo que os resultados encontrados podem estar relacionados a vários fatores - como o método utilizado, proximidade e duração da exposição e a resposta da espécie ou grupo - e não necessariamente a ausência de impacto (ROBERTSON et al., 2016; THOMPSON et al., 2013).

Pode-se observar que, em geral, estudos com animais em vida livre abordam alterações comportamentais nos indivíduos estudados (deslocamento, atividade de mergulho, forrageamento etc.) e, em contrapartida, estudos com animais em cativeiro tendem a mencionar alterações fisiológicas (atividades hormonais e bioenergéticas). Também podemos correlacionar as respostas e os grupos estudados: misticetos usualmente apresentam mudanças no comportamento e diminuição de atividades essenciais, enquanto odontocetos e pinípedes frequentemente exibem mudanças em interações sociais e deslocamento. Isso mostra que a complexidade dos impactos da sísmica e da exploração de petróleo depende de vários fatores, como a sensibilidade de cada grupo e o ambiente em que se encontram.

Apesar das diferentes respostas encontradas, a concentração de estudos em alterações comportamentais em comparação a estudos referentes a aspectos fisiológicos pode estar associada à maior facilidade de observação desses animais utilizando monitoramento acústico e visual, abordagens mais frequentes nessa revisão (BARKASZI; KELLY, 2024; HEIDE-JØRGENSEN et al., 2021). Por outro lado, a menor ocorrência de estudos sobre aspectos fisiológicos pode ser explicada pela necessidade de procedimentos mais invasivos, como coleta sanguínea e análises em cativeiro (FARMER et al., 2018). Isso coloca em discussão se a predominância do comportamento está relacionada à maior impacto nesse aspecto ou se reflete os métodos utilizados nos estudos, além de reforçar a importância de abordagens mais diversificadas para uma compreensão mais ampla desses efeitos.

Além disso, as distintas abordagens usadas nos estudos - métodos (monitoramento acústico, visual, telemetria etc.), número de *airguns* utilizados, distância entre o animal e a fonte sonora, estudos em vida livre ou cativeiro - têm

relação direta com as respostas encontradas e a intensidade do impacto, o que explica os diversos efeitos mencionados, abrangendo de mudanças sutis à mais expressivas. Também é importante mencionar que os impactos mais citados - comunicação, reprodução e deslocamento, por exemplo - podem se acumular com o decorrer dos anos, podendo afetar custos energéticos, sucesso reprodutivo e crescimento populacional, representando risco para populações pequenas e grupos e espécies ameaçadas (FARMER et al., 2018; GAILEY et al., 2022; GALLAGHER et al., 2021).

Portanto, essa revisão mostra que as respostas encontradas estão relacionadas a diversos aspectos e como eles interagem entre si. Então, associar métodos, grupos e espécies em diferentes contextos é extremamente importante para uma avaliação mais completa dos impactos da sísmica em mamíferos marinhos.

3.7 MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

Ao todo, 25 artigos (cerca de 42,4% do total avaliado) mencionaram medidas de mitigação. Entre as medidas mencionadas estão: desligamento de canhões de ar (*shutdown*), *soft-start (ramp-up)*, zona de exclusão, planejamentos e protocolos regulatórios e outras medidas específicas. Essas estratégias são comumente utilizadas em conjunto.

Apesar de não terem sido incluídos artigos do Brasil nessa revisão, o país possui legislações que contemplam algumas dessas medidas (IBAMA, 2018). Já no cenário internacional, diversos países possuem medidas visando a proteção de mamíferos marinhos e, embora alguns estabeleçam protocolos rigorosos, outros incluem regulamentações pouco eficazes ou ainda não adotam tais medidas (DFO, 2017; NOAA, 2016).

Em LALAS & MCCONNELL (2016), um dos artigos incluídos na análise, foi dito que existiam protocolos que estipulavam a interrupção do uso de *airguns* na presença de animais a menos de 200 metros, porém essa medida não foi requerida nem implementada neste estudo. Esse foi um estudo no qual os dados foram coletados durante o ano de 2009 na Nova Zelândia, país que possui diretrizes nacionais para a mitigação de impactos acústicos em mamíferos marinhos desde 2005, incluindo o monitoramento contínuo de zona de segurança entre 1 e 1,5 km

(COMPTON et al., 2008). Isso mostra que apesar da existência de medidas de mitigação, sua aplicação ainda apresenta fragilidades, seja pela falta de fiscalização ou por outras razões.

4 CONCLUSÃO

Este estudo apresenta dados de várias pesquisas que abordam os impactos da sísmica em mamíferos marinhos. Os resultados evidenciaram o aumento do interesse científico em torno desses efeitos, focados em regiões específicas, com grandes lacunas em áreas como América do Sul e África. A maioria das pesquisas incluídas na análise se concentra em cetáceos pouco ameaçados e utilizam, em sua maioria, monitoramento acústico e visual. É predominante o estudo de respostas comportamentais, enquanto abordagens fisiológicas e de telemetria são menos exploradas. Os efeitos diferem, a depender da intensidade do ruído e do tipo de levantamento sísmico realizado. Os impactos mais comuns são alterações comportamentais, diminuição do forrageamento e danos auditivos, embora alguns estudos não tenham encontrado efeitos significativos. Futuras pesquisas devem priorizar o estudo de espécies vulneráveis e regiões menos estudadas anteriormente. Além disso, é essencial considerar estratégias de mitigação para garantir uma conservação eficaz desses organismos frente à expansão da sísmica. Desse modo, o presente estudo demonstra a importância de compreender os efeitos do ruído gerado por tais atividades em diferentes grupos e espécies de mamíferos marinhos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Boletim de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural - 2023. Rio de Janeiro: ANP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivos-bmppgn/2023/encarte-boletim-dezembro.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2025.

BARKASZI, M. J.; KELLY, C. J. Analysis of protected species observer data: strengths, weaknesses, and application in the assessment of marine mammal responses to seismic surveys in the northern Gulf of Mexico 2002-2015. *PLoS ONE*, v. 19, n. 3, p. e0300658, 2024.

BERTA, A. et al. Introduction. In: **Marine Mammals**. [S.I.]: Elsevier, 2006. p. 1–11.

BREITZKE, M.; BOHLEN, T. Modelling sound propagation in the Southern Ocean to estimate the acoustic impact of seismic research surveys on marine mammals. *Geophysical Journal International*, 2010.

COMMITTEE ON TAXONOMY. List of Marine Mammal Species and Subspecies. Society for Marine Mammalogy, 2025. Disponível em: <https://marinemammalscience.org/science-and-publications/list-marine-mammal-species-subspecies/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

COMPTON, R. et al. A critical examination of worldwide guidelines for minimising the disturbance to marine mammals during seismic surveys. *Marine Policy*, v. 32, n. 3, p. 255–262, 2008.

CONVENÇÃO SOBRE DIVERSIDADE BIOLÓGICA - ONU. Relatório do workshop sobre biodiversidade marinha e costeira: impactos do ruído submarino antropogênico. InforMEA, 2014. Disponível em: <https://www.informeia.org/en/decision/marine-and-coastal-biodiversity-impacts-marine-and-coastal-biodiversity-anthropogenic>. Acesso em: 06 ago. 2025.

COSTA, D. P. et al. Assessing the exposure of animals to acoustic disturbance: towards an understanding of the population consequences of disturbance. *Acoustical Society of America*, 2016.

DE KOCK, S. et al. Systematic review search methods evaluated using the Preferred Reporting of Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses and the Risk of Bias in Systematic Reviews tool. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, v. 37, n. 1, p. e18, 2020.

Department of Fisheries and Oceans Canada - DFO. Statement of Canadian practice with respect to the mitigation of seismic sound in the marine environment. Ottawa: DFO, 2017.

DUNCAN, A. J. et al. A modelling comparison between received sound levels produced by a marine Vibroseis array and those from an airgun array for some typical seismic survey scenarios. *Marine Pollution Bulletin*, v. 119, n. 1, p. 277–288, 2017.

DUNLOP, R. A.; MCCAULEY, R. D.; NOAD, M. J. Ships and air guns reduce social interactions in humpback whales at greater ranges than other behavioral impacts. *Marine Pollution Bulletin*, v. 154, p. 111072, 2020.

DUNLOP, R.; NOAD, M. Male humpback whales switch to singing in the presence of seismic air guns. *Communications Biology*, v. 7, n. 1, p. 1232, 2024.

ERBE, C.; DUNLOP, R.; DOLMAN, S. Effects of noise on marine mammals. In: **Effects of Anthropogenic Noise on Animals**. New York: Springer, 2018. p. 277–309.

- ERBE, C. et al. Communication masking in marine mammals: a review and research strategy. *Marine Pollution Bulletin*, v. 103, n. 1–2, p. 15–38, 2016.
- ERBE, C. et al. (Ed.). **Marine Mammal Acoustics in a Noisy Ocean**. Cham: Springer, 2025.
- FARMER, N. A. et al. Population consequences of disturbance by offshore oil and gas activity for endangered sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Biological Conservation*, v. 227, p. 189–204, 2018.
- GAILEY, G.; WÜRSIG, B.; MCDONALD, T. L. Abundance, behavior, and movement patterns of western gray whales in relation to a 3-D seismic survey, Northeast Sakhalin Island, Russia. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 134, n. 1–3, p. 75–91, 2007.
- GAILEY, G. et al. Gray whale density during seismic surveys near their Sakhalin feeding ground. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, n. Suppl 1, p. 739, 2022.
- GALLAGHER, C. A. et al. Movement and seasonal energetics mediate vulnerability to disturbance in marine mammal populations. *The American Naturalist*, v. 197, n. 3, p. 296–311, 2021.
- GRAMES, E. M. et al. An automated approach to identifying search terms for systematic reviews using keyword co-occurrence networks. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 10, n. 10, p. 1645–1654, 2019.
- GOMEZ, C. et al. Predicted distribution of whales at risk: identifying priority areas to enhance cetacean monitoring in the Northwest Atlantic Ocean. *Endangered Species Research*, v. 32, p. 437–458, 2017.
- HARRIS, R. E.; MILLER, G. W.; RICHARDSON, W. J. Seal responses to airgun sounds during summer seismic surveys in the Alaskan Beaufort Sea. *Marine Mammal Science*, v. 17, n. 4, p. 795–812, 2001.
- HEIDE-JØRGENSEN, M. P. et al. Behavioral response study on seismic airgun and vessel exposures in narwhals. *Frontiers in Marine Science*, v. 8, 2021.
- HERMANNSEN, L. et al. Characteristics and propagation of airgun pulses in shallow water with implications for effects on small marine mammals. *PLoS ONE*, v. 10, n. 7, p. e0133436, 2015.
- HILDEBRAND, J. A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, v. 395, p. 5–20, 2009.
- HÜCKSTÄDT, L. A. et al. A dynamic approach to estimate the probability of exposure of marine predators to oil exploration seismic surveys over continental shelf waters. *Endangered Species Research*, v. 42, p. 185–199, 2020.

ambiental e mitigação de impactos acústicos em mamíferos marinhos. Brasília: IBAMA, 2018.

IUCN - International Union for Conservation of Nature. Motion 024: Restoring a peaceful and quiet ocean. Congresso Mundial de Conservação da IUCN, 2021. Disponível em: <https://www.iucncongress2020.org/motion/024>. Acesso em: 10 ago. 2025.

IUCN - International Union for Conservation of Nature. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Versão 2025-1. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 08 ago. 2025.

JANIK, V. M.; SLATER, P. J. B. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Animal Behaviour*, v. 56, n. 4, p. 829–838, 1998.

JEFFERSON, T. A.; WEBBER, M. A.; PITMAN, R. L. **Marine Mammals of the World**. San Diego: Academic Press, 2008.

JOHNSON, S. R. et al. A western gray whale mitigation and monitoring program for a 3-D seismic survey, Sakhalin Island, Russia. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 134, n. 1–3, p. 1–19, 2007.

KAVANAGH, A. S. et al. Seismic surveys reduce cetacean sightings across a large marine ecosystem. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 19164, 2019.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration**. 3. ed. Philadelphia: Blackwell Science, 2002.

KOWARSKI, K. et al. Signals from the deep: spatial and temporal acoustic occurrence of beaked whales off western Ireland. *PLoS ONE*, v. 13, n. 6, p. e0199431, 2018.

KYHN, L. A. et al. Basin-wide contributions to the underwater soundscape by multiple seismic surveys with implications for marine mammals in Baffin Bay, Greenland. *Marine Pollution Bulletin*, v. 138, p. 474–490, 2019.

LALAS, C.; MCCONNELL, H. Effects of seismic surveys on New Zealand fur seals during daylight hours: do fur seals respond to obstacles rather than airgun noise? *Marine Mammal Science*, v. 32, n. 2, p. 643–663, 2016.

LIMA, José Antonio Moreira et al. The Brazilian Santos basin underwater soundscape monitoring project (PMPAS-BS). *Frontiers in marine science*, v. 11, 2024.

MATTHEWS, M.-N. R. et al. A modeling comparison of the potential effects on marine mammals from sounds produced by marine vibroseis and air gun seismic sources. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 9, n. 1, p. 12, 2020.

MCGEADY, R.; MCMAHON, B. J.; BERRROW, S. The effects of seismic surveying and environmental variables on deep diving odontocete stranding rates along Ireland's coast. *Acoustical Society of America*, 2016.

MORANO, J. L. et al. Seasonal movements of Gulf of Mexico sperm whales following the Deepwater Horizon oil spill and the limitations of impact assessments. *Marine Pollution Bulletin*, v. 161, n. Pt A, p. 111627, 2020.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (US) COMMITTEE ON LOW-FREQUENCY SOUND AND MARINE MAMMALS. **Low-Frequency Sound and Marine Mammals: Current Knowledge and Research Needs**. Washington, DC: National Academies Press, 1994.

National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. Technical guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing. Silver Spring: NOAA, 2016.

NOWACEK, D. P. et al. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Review*, v. 37, n. 2, p. 81–115, 2007.

NOWACEK, D. P. et al. Marine seismic surveys and ocean noise: time for coordinated and prudent planning. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 13, n. 7, p. 378–386, 2015.

OKAFOR-YARWOOD, Ifesinachi. The effects of oil pollution on the marine environment in the Gulf of Guinea - the Bonga Oil Field example. *Transnational legal theory* v. 9, n. 3–4, p. 1–18, 2018.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, p. n71, 2021.

RACCA, R.; AUSTIN, M. Use of preoperation acoustic modeling combined with real-time sound level monitoring to mitigate behavioral effects of seismic surveys. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, v. 875, p. 885–893, 2016.

REYNOLDS, J. M. **An Introduction to Applied and Environmental Geophysics**. 2. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011.

RICHARDSON, W. J. et al. Behaviour of Bowhead Whales (*Balaena mysticetus*) summering in the Beaufort Sea: reactions to industrial activities. *Biological Conservation*, v. 32, n. 3, p. 195–230, 1985.

RICHARDSON, W. J.; WÜRSIG, B.; GREENE, C. R., Jr. Reactions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, to seismic exploration in the Canadian Beaufort Sea. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 79, n. 4, p. 1117–1128, 1986.

ROBERTSON, F. C. et al. Seismic operations have variable effects on dive-cycle behavior of bowhead whales in the Beaufort Sea. *Endangered Species Research*, v. 21, n. 2, p. 143–160, 2013.

- ROBERTSON, F. C.; KOSKI, W. R.; TRITES, A. W. Behavioral responses affect distribution analyses of bowhead whales in the vicinity of seismic operations. *Marine Ecology Progress Series*, v. 549, p. 243–262, 2016.
- ROMANO, T. A. et al. Anthropogenic sound and marine mammal health: measures of the nervous and immune systems before and after intense sound exposure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 61, n. 7, p. 1124–1134, 2004.
- SARNOCIŃSKA, J. et al. Harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) reaction to a 3D seismic airgun survey in the North Sea. *Frontiers in Marine Science*, v. 6, 2020.
- SCIACCA, V. et al. Shipping noise and seismic airgun surveys in the Ionian Sea: potential impact on Mediterranean fin whale. *Acoustical Society of America*, 2016.
- SCHWARZ, L. et al. Gray whale habitat use and reproductive success during seismic surveys near their feeding grounds: comparing state-dependent life history models and field data. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, n. Suppl 1, p. 733, 2022.
- SILLS, J. M.; SOUTHALL, B. L.; REICHMUTH, C. The influence of temporally varying noise from seismic air guns on the detection of underwater sounds by seals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 141, n. 2, p. 996, 2017.
- SILLS, J. M. et al. Evaluating temporary threshold shift onset levels for impulsive noise in seals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 148, n. 5, p. 2973, 2020.
- TERVO, O. M. et al. Stuck in a corner: anthropogenic noise threatens narwhals in their once pristine Arctic habitat. *Science Advances*, v. 9, n. 30, p. eade0440, 2023.
- THODE, A. M. et al. Roaring and repetition: how bowhead whales adjust their call density and source level (Lombard effect) in the presence of natural and seismic airgun survey noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 147, n. 3, p. 2061, 2020.
- THOMPSON, P. M. et al. Short-term disturbance by a commercial two-dimensional seismic survey does not lead to long-term displacement of harbour porpoises. *Proceedings. Biological Sciences*, v. 280, n. 1771, p. 20132001, 2013.
- TYACK, P. L. Functional aspects of cetacean communication. In: **Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales**. [S.I.]: University of Chicago Press, 2000. p. 270–307.
- TYACK, P. L. Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. *Journal of Mammalogy*, v. 89, n. 3, p. 549–558, 1 jun. 2008.
- WITTEKIND, D. et al. Development of a model to assess masking potential for marine mammals by the use of air guns in Antarctic waters. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, v. 875, p. 1243–1249, 2016.

YAZVENKO, S. B. et al. Feeding of western gray whales during a seismic survey near Sakhalin Island, Russia. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 134, n. 1–3, p. 93–106, 2007a.

YAZVENKO, S. B. et al. Distribution and abundance of western gray whales during a seismic survey near Sakhalin Island, Russia. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 134, n. 1–3, p. 45–73, 2007b.