

Universidade Federal de Santa Catarina
Coordenadoria Especial de Oceanografia

Maria Luiza Simões de Oliveira

**Revisão de detecções acústicas de delfinídeos em projetos de prospecção sísmica:
subsídios para a fiscalização ambiental**

Florianópolis

2022

Maria Luiza Simões de Oliveira

**Revisão de detecções acústicas de delfínídeos em projetos de prospecção sísmica:
subsídios para a fiscalização ambiental**

Projeto de pesquisa submetido ao Curso de Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemática da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia
Orientador: Prof. Antonio Fernando Härter Fetter Filho, Dr.
Coorientadora: Andrea Dalben, Ma.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Simões de Oliveira, Maria Luiza

Revisão de detecções acústicas de delfínídeos em projetos de prospecção sísmica: subsídios para a fiscalização ambiental / Maria Luiza Simões de Oliveira ; orientador, Antonio Fernando Harter Fetter Filho, coorientador, Andrea Dalben, 2022.

45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Auditoria. 3. Pesquisa sísmica. 4. Monitoramento acústico passivo. 5. Golfinho. I. Harter Fetter Filho, Antonio Fernando. II. Dalben, Andrea. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Maria Luiza Simões de Oliveira

**Revisão de detecções acústicas de delfínídeos em projetos de prospecção sísmica:
subsídios para a fiscalização ambiental**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título Bacharel em Oceanografia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Oceanografia

Local, 01 de dezembro de 2022.

Profª. Alessandra Larissa D'Oliveira Fonseca, Dra.

Banca examinadora

Prof. Antonio Fernando Härter Fetter Filho, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Bianca Romeu, Ma.

Avaliadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Daiane Santana Marcondes Ma.

Avaliadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado aos que lutam por um mundo mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha mãe, Simone, sem ela a execução desse trabalho, literalmente, não seria possível. Não sei nem como descrever tanto amor e gratidão, mas vou tentar. Obrigada pelo aconchego, pelos abraços apertados, pelas fofocas acompanhados de café bem forte, pelas risadas depois da cervejinha, pelas aquarelas nas paredes, pelas biografias de artistas na cabeça, pelo amor incondicional e por me aguentar né durante a produção desse TCC. Obrigada por me ensinar a ser tão forte e resiliente como você. Te amo.

À minha maior companheira, minha irmã mais velha, Mariana. Obrigada pelo cuidado, pela parceria e pelas palhaçadas. Eu não sei o que seria da gente sem a gente, te levo comigo sempre e pra sempre. Ao meu irmãozinho, Pedro, pelas risadas e habilidade de, com tão pouca idade, soltar umas frases que me fazem refletir tanto, eu tenho muito orgulho de você e a conexão que tenho com vocês dois me faz ser quem eu sou hoje.

Agradeço também aos meus avós, Gilberto e Marilene, por cada peripécia contada nos almoços de domingo e pelos tangos tocados bem alto na hora de lavar a louça, pelas piadas, pelos trava línguas, pelas puxadas de orelha, pelas coxinhas com coca cola. Por poder colher frutas mutantes do quintal de vocês, pelas conversas no final de tarde, as vídeo chamadas e todo o apoio e amor do mundo. Vocês nem imaginam, mas são essenciais para mim.

À minha família de Florianópolis, meus amigos que me acolheram desde do dia um, Miriães, Júlio, Millennium, Gabs, Giulia, Lisa e as Brunas. Vocês são o meu ponto de equilíbrio e apoio nessa cidade, as gargalhadas, os jantarezinhos, as listas, dicas e anotações compartilhadas, as batalhas de lipsync, os desabafos e chororôs, todo instante compartilhado com vocês espantaram qualquer friaca ou ciclone que bateu de frente comigo. Eu tive muita sorte de encontrar vocês.

Continuando em família, queria agradecer ao meu padrinho Gabriel Ronaldo e à Natasha, Ísis, Bea, Sardinha, Ana Carolina e, mais uma vez, à Miriã, pela recepção na ilha, por cada conselho, cada ombro amigo e cada momento que rimos de coisas muito idiotas. A parceria de vocês durante os perrengues do cotidiano ou na celebração das pequenas e das grandes vitórias da vida adulta construíram uma nova mulher em mim. Além de abrirem a minha cabeça e me apontarem muitos caminhos, sou eternamente grata e admiro muito vocês.

Aos neymares, Mari, Lais, Wilson, Letícia, Hilary, Luana, Ju, Mica, Gabi, Pedro, Bárbara e Juana por tantos cafés, debates sobre nossos trabalhos, os “você pode tentar assim”

ou “a amiga da minha amiga trabalha com isso também, talvez ela possa te ajudar” e carinho dividido naquele prédio. Vocês tornaram a produção do meu TCC mais divertida e leve.

Ao meu orientador, Prof. Fetter. Obrigada por acreditar em mim e neste trabalho desde o início, obrigada pelos ensinamentos, pela compreensão e incentivo. À minha co-orientadora, Andrea Dalben, pelo entusiasmo e paixão pelo tema do meu trabalho que transbordou, me contagiou e incentivou a produzi-lo e a me tornar uma profissional competente e ética.

À toda equipe do IBAMA por criar e fomentar políticas públicas ambientais visando proteger o meio ambiente e promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável, em especial à Mariana, que se mobilizou para disponibilizar os dados utilizados neste trabalho, obrigada pelo apoio e mobilização, realizar esse trabalho seria impossível sem vocês.

Aos membros da banca, Bianca e Renan, e suplente, Daiane, obrigada por disponibilizarem um tempo para ler, avaliar e contribuir com esse trabalho.

Agradeço aos professores da Oceanografia UFSC, obrigada por compartilharem conhecimento que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional. Especialmente à professora Carla e aos meus dois primeiros orientadores de iniciação científica, Andrea e Pedro, que me mostraram a oceanografia de pontos de vista muito diversos, que me ensinaram tantas coisas, e que me inspiram.

Por fim, gostaria de agradecer à Universidade Federal de Santa Catarina por fomentar a ciência e cultura, e todos seus funcionários e servidores que, de alguma forma, tornaram possível a minha graduação e crescimento pessoal. Foi um privilégio poder aprender tanto e compartilhar o que aprendi nessa universidade com divulgação científica, agora mais do que nunca, quando a educação é sucateada e a ciência desvalorizada.

RESUMO

Os delfinídeos carregam uma grande importância para a regulação da biosfera e a preservação da vida terrestre como a conhecemos hoje. A comunicação por meio do som é essencial para a sobrevivência destes animais. Nas últimas décadas houve um aumento do nível de ruídos no ambiente marinho. Um de seus grandes contribuintes é a atividade de prospecção sísmica marinha, a qual se utiliza do som para mapear a subsuperfície terrestre. O som utilizado durante essa atividade tem potencial para acarretar na perda ou diminuição da sensibilidade auditiva de mamíferos marinhos, dependendo da distância que estes se encontram da fonte sísmica. Para diminuir a chance de danos à essa biota, o protocolo do IBAMA exige a varredura visual e acústica por trinta minutos completos antes da liberação das operações geofísicas para verificar a ausência de cetáceos ou quelônios marinhos a menos de 1000m das fontes sísmicas. O objetivo principal deste trabalho é investigar se há inconformidades durante a execução do que é proposto pelo IBAMA com o Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas. Os objetivos específicos são verificar se há evidência acústicas de delfinídeos nas varreduras gravadas durante o MAP que não foram reportadas pelos operadores, investigar se existe diferença na detecção de delfinídeos entre operadores ou entre empresas de consultoria ambiental prestadoras do serviço de monitoramento acústico passivo, averiguar se as varreduras foram gravadas durante o tempo indicado pela legislação brasileira (trinta minutos completos) e classificar as emissões sonoras encontradas em cliques ou assobios. Para isso, os espectrogramas das varreduras foram revisados manualmente, utilizando o programa Raven Pro, em busca de cliques e assobios de delfinídeos. Para identificar diferenças significativas entre as detecções dos operadores e empresas foi aplicado o teste de Qui-quadrado e o de Kruskal-Wallis. Ao total, foram revisadas 241 varreduras, em que 51 apresentaram emissões sonoras de delfinídeos. Foram encontradas evidências acústicas de delfinídeos nas varreduras gravadas durante o MAP de todas as empresas avaliadas. Também houveram varreduras com duração menor que o indicado pela legislação nos registros das três empresas. A empresa B entregou suas varreduras com apenas dois canais gravados, indicando divergência de metodologia. Contudo, a empresa C e dois de seus operadores (Z e V) se diferenciaram dos demais por entregarem menor quantidade de varreduras com essas emissões sonoras. Além disso, a empresa também se diferenciou das demais por apresentarem o menor número de varreduras com menos de 30 minutos gravados. A distinção nos resultados das empresas e operadores implica que há espaço para melhoria no processo de detecção das vocalizações e na elaboração de novas de pautas e critérios no Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas, de modo que orientações especificadas na legislação sejam implementadas corretamente.

Palavras-chave: Auditoria. Pesquisa sísmica. Monitoramento acústico passivo. Cetáceos. Odontoceti.

ABSTRACT

Delphinids carry great importance for the regulation of the biosphere and the preservation of terrestrial life as we know it today. Communication through sound is essential for the survival of these animals. In recent decades there has been an increase in the level of noise in the marine environment. One of its major contributors is marine seismic prospecting activity, which uses sound to map the Earth's subsurface. The sound used during this activity has the potential to cause loss or reduction of hearing sensitivity in marine mammals, depending on their distance from the seismic source. To reduce the chance of damage to this biota, IBAMA's protocol requires visual and acoustic scanning for a full 30 minutes prior to the release of geophysical operations to verify the absence of cetaceans or marine chelonians within 1000m of the seismic sources. The main objective of this work is to investigate if there are any inconsistencies during the execution of what is proposed by IBAMA with the Guide for Monitoring Marine Biota in Marine Seismic Surveys. The specific objectives are to verify if there is acoustic evidence of dolphins in the scans recorded during the MAP that were not reported by the operators, to investigate if there is difference in the detection of dolphins between operators or between environmental consulting companies providing the passive acoustic monitoring service, to find out if the scans were recorded during the time indicated by the Brazilian legislation (30 full minutes) and to classify the sound emissions found in clicks or whistles. To do this, the spectrograms of the scans were reviewed manually, using the program Raven Pro, in search of clicks and whistles of dolphins. To identify significant differences between the detections of operators and companies, the Chi-square test and the Kruskal-Wallis test were applied. A total of 241 scans were reviewed, in which 21.2% showed sound emissions of delphinids. Acoustic evidence of dolphins was found in the scans recorded during MAP from all the companies evaluated. There were also scans of shorter duration than indicated by the legislation in the records of the three companies. Company B delivered its scans with only two recorded channels, indicating divergence in methodology. However, company C and two of its operators (Z and V) differed from the others by delivering fewer scans with these sound emissions. In addition, the company also differed from the others by presenting the smallest number of scans with less than 30 minutes recorded. The distinction in the results of the companies and operators implies that there is room for improvement in the detection process of the vocalizations and in the elaboration of new guidelines and criteria in the Guide for Monitoring Marine Biota in Marine Seismic Surveys, so that the guidelines specified in the legislation are correctly implemented.

Key words: Auditing. Passive acoustic monitoring. Cetaceous. Dolphins.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação por meio de espectrogramas de (a) cadeias de cliques de ecolocalização (dentro dos quadrados vermelhos) (b) cadeias de cliques de sons explosivos (dentro do quadrado vermelho) (c) assobios (dentro do retângulo vermelho) de delphinídeos no tempo (s) em função da frequência (kHz).....	16
Figura 2 - Representação esquemática da atividade sísmica de prospecção.	17
Figura 3 - Mapa com a localização da Área de Estudo, área de aquisição de dados do Projeto A aconteceu dentro da área representada em roxo, a área de aquisição de dados do Projeto B em azul e a do C em laranja.	21
Figura 4 - Fluxograma Metodológico.	27
Figura 5 -Varreduras com ausência ou presença de vocalizações. O eixo y representado por n indica o número de varreduras revisadas, o eixo x foi dividido em duas categorias onde o ausente apresenta as varreduras sem detecções em seus registros e o presente representa a ocorrência.....	28
Figura 6- Varreduras com ausência ou presença de vocalizações de cada empresa, onde no eixo y n é o número de varreduras revisadas e o eixo x foi dividido em duas categorias por empresa, presente e ausente, que representam se foram ou não encontradas vocalizações nas varreduras. As empresas foram diferenciadas por cores, onde a empresa A é representada por laranja, a B por azul e a C por verde.	29
Figura 7 - Varreduras com ausência ou presença de vocalizações por operadores. O eixo y, representado por n indica o número de varreduras revisadas, no eixo x, os operadores. Este eixo foi dividido por operadores de cada empresa responsáveis pelas varreduras. O ausente, em laranja, representa varreduras sem emissões sonoras detectadas e o presente, em azul, as varreduras com vocalizações.	30
Figura 8 - O teste de Qui-quadrado comparando operadores, em que o eixo y representa as categorias, presente (vocalizações encontradas) e ausente (sem detecções), o eixo x, os operadores responsáveis pelas varreduras. O resíduo de Pearson representa a diferença do dado observado com o dado esperado.	31
Figura 9- Teste de Qui-quadrado comparando empresas. No eixo y estão as categorias, presente (vocalizações encontradas) e ausente (sem detecções), o eixo x, indica as empresas. O resíduo de Pearson representa a diferença do dado observado com o dado esperado.....	32
Figura 10 - Varreduras com duração menor que 30 min de cada empresa, onde no eixo y, n é o número de varreduras e o eixo x duração em minutos de cada varredura. As empresas foram	

diferenciadas por cores, onde a empresa A é representada por laranja, a B por azul e a C por verde.....33

Figura 11- Teste de Kruskal-Wallis sobre a duração da gravação das varreduras de cada empresa. O eixo y representa o período pelo qual as varreduras foram gravadas em minutos (min), o eixo x indica as empresas responsáveis pelas varreduras diferenciadas por cores, onde a empresa A está em azul, a B em amarelo e a C em cinza.34

Figura 12 - Espectrograma com apenas dois canais produzido pelo programa Raven Pro, a partir do arquivo em .wav de varredura disponibilizado pela empresa B.35

Figura 13 - Varreduras com ausência ou presença de vocalizações. O eixo y representado por n indica o número de vocalizações emitidas durante as varreduras, o eixo x foi dividido em duas categorias por empresa, cliques e assobios, e as empresas foram diferenciadas por cores, onde a empresa A é representada por laranja, a B por azul e a C por verde.....36

Figura 14 - Horário em que as varreduras foram gravadas. O eixo y representa o horário pelo qual as varreduras foram gravadas dividido em quatro categorias, (noite, dia, anoitecer e amanhecer), o eixo x indica a quantidade de varreduras, onde as empresas estão diferenciadas por cores, empresa A está em laranja, a B azul e a C em verde.37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gênero e espécies de delfínídeos encontrados nas Bacias de Santos e Campos. .24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IPeC – Instituto de Pesquisa Cananéia.

MAP – Monitoramento acústico passivo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. HIPÓTESE E OBJETIVO	19
2.1. Perguntas de Pesquisa	19
2.2. Hipótese Nula.....	20
2.3. Objetivos	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Área de Estudo	21
3.2. Aquisição de Dados	22
3.3. Seleção de Dados	24
3.4. Classificação dos dados	25
3.5. Fluxograma Metodológico.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. Comparação das Detecções entre as Empresas e os Operadores	28
4.2. Sinais Bioacústicos Encontrados	35
5. CONCLUSÃO	38
6. SUGESTÕES	39
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

Os cetáceos são mamíferos adaptados exclusivamente à vida aquática, agrupados em duas superfamílias, Odontoceti e Mysticeti (OLIVEIRA, 2015). Odontocetos, são predadores de topo de cadeia com alta mobilidade, regulam populações-chave de outros níveis tróficos e participam da ciclagem de nutrientes (ROMAN; MCCARTHY, 2010). Desempenham diversos papéis ecológicos fundamentais para o oceano e são responsáveis por funções que garantem o equilíbrio de ecossistemas costeiros e oceânico (TERBORGH; ESTES, 2013).

A família Delphinidae, pertencente à superfamília Odontoceti, é a mais diversa e numerosa dentre os cetáceos (BERTA *et al.*, 2005). Ela é composta por 18 gêneros e 37 espécies, das quais 21 se encontram em águas brasileiras, (MORENO, 2008; MIRANDA *et al.*, 2019). Assim como para os demais cetáceos, a utilização do som é essencial para este grupo, pois está relacionada com diversos aspectos de sua ecologia (SONG *et al.*, 2020).

Delfínídeos emitem basicamente dois tipos de sons: os cliques e os assobios. Cliques, são sons sequenciais que dispersam energia em uma ampla faixa de frequência, já os assobios são sons tonais e contém energia concentrada em uma estreita faixa de frequência que é modulado ao longo do tempo (LAMMERS *et al.*, 2003).

Os assobios são exclusivamente utilizados para comunicação social (NEMIROFF, 2009). Podem ser usados para manter a coesão do grupo, o que é essencial para a segurança dos indivíduos, e também para reconhecimento individual, pois podem ser percebidos por outros indivíduos devido ao seu padrão de modulação de frequência (SAYIGH, 2013). Embora a extensão da frequência de assobios geralmente seja entre 5 e 15kHz, algumas espécies podem produzir assobios além de 20kHz (ROSÁRIO, 2022).

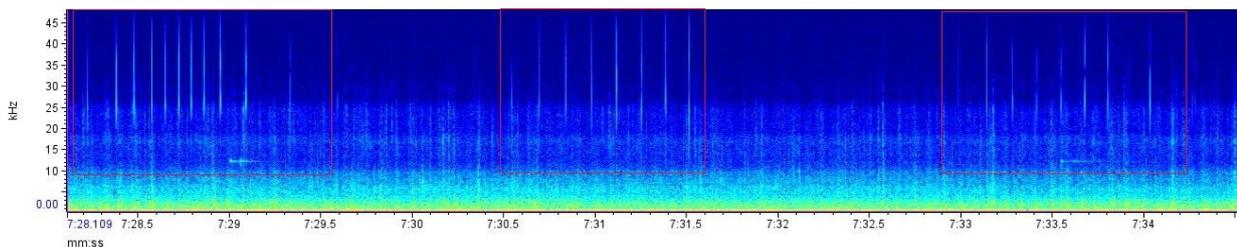
Os cliques podem ser divididos em cadeias de cliques de ecolocalização e cadeias de cliques de sons explosivos, os quais contém variados componentes de frequência e podem se estender por mais de 100kHz. Devido ao fato de altas frequências sofrem rápido decaimento sonoro com a distância, esses sinais apenas são detectados quando há grande proximidade ao animal, comumente menos de 1.000m (PHILPOTT *et al.* 2007, ELLIOTT *et al.* 2011).

Cadeia de cliques de ecolocalização são usados para identificar informações sensoriais sobre o ambiente, cumprindo a função de forrageio e navegação. Desse modo, em uma cadeia de cliques, cliques sequenciais são normalmente emitidos após o retorno do eco do clique anterior. Essas emissões sonoras podem ser caracterizadas por sofrerem uma aceleração na taxa de repetição durante a trajetória de seu emissor quando se aproxima do objeto inspecionado pela ecolocalização (NUUTTILA *et al.* 2013).

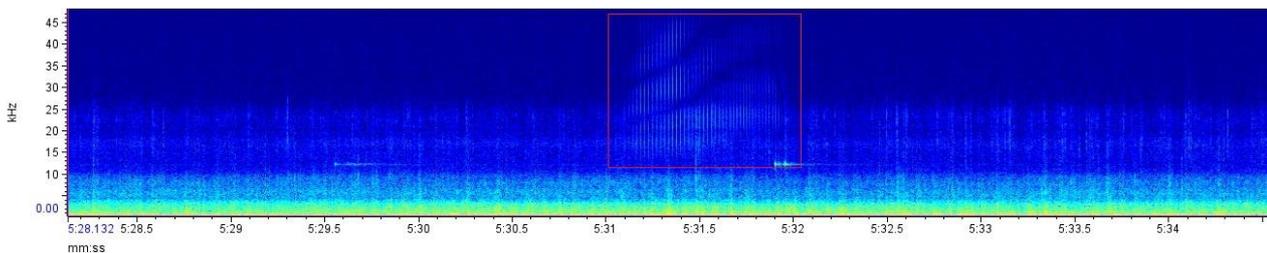
Para estudar esses sinais, pode-se realizar uma inspeção visual e análise de espectrogramas. Espectrogramas são uma representação gráfica de um som com um eixo representando o tempo e o outro eixo ortogonal representando a frequência (LU; ZHANG, 2009) (Figura 1). A partir deles, é possível verificar diversos parâmetros de frequência, energia e duração, como a forma do contorno dos assobios e a taxa de repetição ou intervalo entre os cliques. (AU; HASTINGS, 2008).

Figura 1 - Representação por meio de espectrogramas de (a) cadeias de cliques de ecolocalização (dentro dos quadrados vermelhos) (b) cadeias de cliques de sons explosivos (dentro do quadrado vermelho) (c) assobios (dentro do retângulo vermelho) de delfínídeos no tempo (s) em função da frequência (kHz).

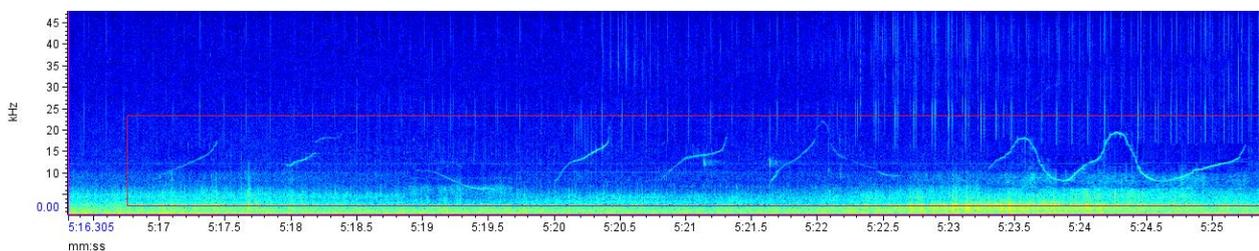
a)



b)



c)



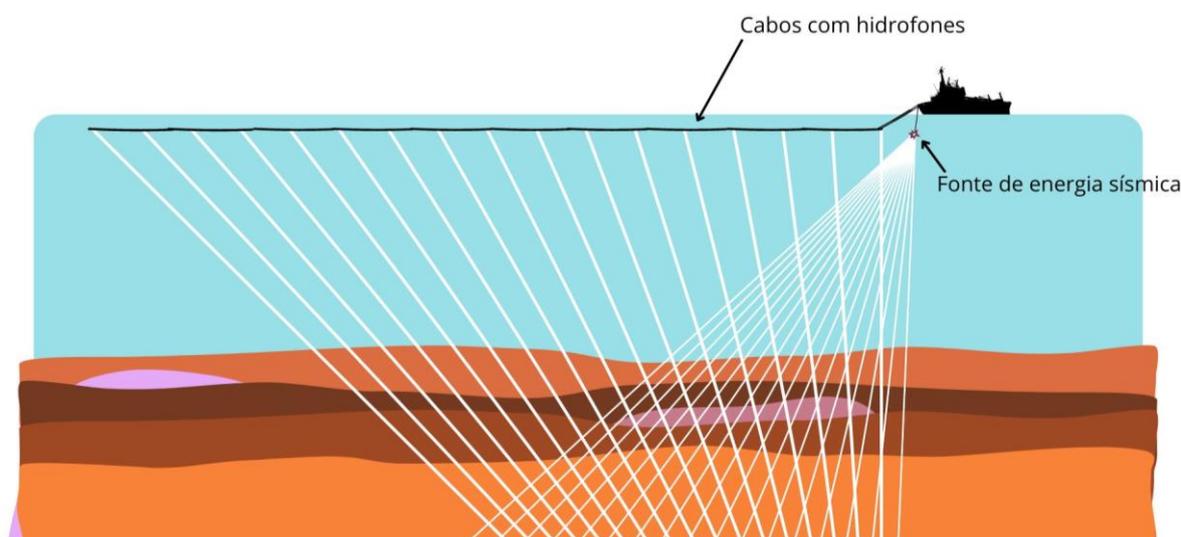
Fonte: Autora

Nas últimas quatro décadas, as atividades humanas têm aumentado a incidência de ruídos no ambiente marinho em intensidade, frequência e diversidade de fontes, resultando em potenciais impactos à vida marinha (GUAN *et al.*, 2022; GORDON, 2018). Dentre essas atividades está a prospecção sísmica marinha, técnica geofísica, que obtém propriedades geológicas do assoalho oceânico a partir da interação de ondas sonoras com o ambiente

(DONDURUR, 2018). Essa técnica é utilizada principalmente pela indústria do petróleo para mapear estruturas geológicas favoráveis à concentração de óleo e gás na subsuperfície dos oceanos (SONG *et al.*, 2012).

O método mais tradicional de aquisição desses dados é a sísmica de reflexão (Figura 2), que opera fontes sísmicas conhecidas como canhões de ar comprimido rebocados pela popa do navio para gerar o pulso acústico (KEAREY *et al.*, 2009). Essas fontes, geram ondas sonoras que atingem as camadas do solo oceânico, sofrem reflexão e são captadas por matrizes de hidrofones rebocadas pelo navio sísmico. A partir disso, esses dados são tratados e formam imagens do solo marinho e seu subterrâneo (VILARDO; BARBOSA, 2018). Devido ao tamanho da área a ser mapeada, esse tipo de pesquisa pode levar meses para ser finalizada (SIMMONDS *et al.*, 2003).

Figura 2 - Representação esquemática da atividade sísmica de prospecção.



Fonte: Autora

O mascaramento pode intensificar alguns danos que essas atividades podem causar à biota marinha (CLARK *et al.*, 2009; SILVA, 2019). Ele ocorre quando o sinal de interesse ainda é audível, porém, não se consegue diferenciá-lo completamente de um ruído que possui características semelhantes (BRUNGART, 2005; SILVA, 2019). Em situações como essa, emissões sonoras importantes para a biologia de delfínidos podem não chegar ao destino com sucesso, interrompendo de forma abrupta as relações sociais e ecológicas de indivíduos ou até de populações inteiras (CLARK *et al.*, 2009; LUCKE *et al.*, 2009; FINNERAN *et al.*, 2002; ERBE *et al.*, 2019).

Dos potenciais danos que essas operações podem causar aos delphinídeos, está a perda ou diminuição, temporária ou permanente, da capacidade auditiva, gerada pela proximidade com os canhões durante os disparos sísmicos (PARSONS *et al.*, 2009). Isto pode gerar estresse e causar a interrupção de algumas atividades como repouso, alimentação, interações sociais (ERBE *et al.*, 2018) e desencadear no aumento da captura acidental, colisões com embarcações e encalhes em massa (SILVA *et al.* 2020). Tudo isso, compromete a qualidade de vida dos indivíduos, bem como a capacidade das populações de exercerem seus papéis ecológicos (FAIR; BECKER, 2000).

A fim de evitar que as fontes sísmicas permaneçam em operação ou sejam acionadas na proximidade de mamíferos marinhos, o Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas, produzido pelo IBAMA, (IBAMA, 2018) estabelece o Monitoramento Acústico Passivo (MAP) ao longo do turno diurno e noturno durante todas as atividades de pesquisa sísmica marítima em águas brasileiras. Esse é um protocolo padronizado, que deve ser adotado pelo operador de MAP, visando o monitoramento acústico das vocalizações desses animais dentro da Área de Exclusão (1.000m ao redor do centro do arranjo dos canhões de ar).

Além do Brasil, em muitos países já se reconhece os possíveis impactos da atividade sísmica sobre esses animais. Por isso, foram desenvolvidas diretrizes que buscam mitigar os efeitos dessa atividade sobre o grupo. O Guia do IBAMA, é considerado um dos mais completos no que se refere a conservação da fauna marinha (COMPTON *et al.*, 2008, PARSONS *et al.*, 2009, WRIGHT, COSENTINO, 2015) e vem sendo indicado e seguido como modelo por países da América Latina (MAMACOCOSEA, 2015, REYES *et al.*, 2016; MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2021).

De acordo com o Guia, o operador de MAP possui autoridade para solicitar a interrupção dos disparos das fontes sísmicas caso identifique cetáceos que possam estar em um raio de 1.000m das fontes e somente autorizar o acionamento das fontes após uma varredura acústica de trinta minutos completos sem a detecção dos animais na Área de Exclusão (IBAMA, 2018). Desta maneira, os operadores de MAP estão monitorando, percebem um sinal acústico emitido normalmente por golfinhos ou baleias, e somente então iniciam a gravação de uma varredura.

A varredura acústica é definida como monitoramento com duração mínima de trinta minutos de gravação sonora de quatro dos hidrofones sem detecções de mamíferos marinhos na área, ou seja, trinta minutos de gravação sem vocalizações de cetáceos para que seja determinada a ausência desse grupo dentro da Área de Exclusão e a atividade sísmica retorne

a acontecer. Caso se identifique a presença dessa biota ao longo de uma varredura, esta é cancelada e se inicia outra até que trinta minutos de áudio sejam gravados onde não há emissões sonoras de delfínídeos (IBAMA, 2018).

Para fins de auditoria, as varreduras acústicas devem ser gravadas e entregues ao IBAMA no final das atividades de pesquisa. No entanto, devido ao grande volume de dados recebidos e a falta de corpo técnico capacitado, ainda não é possível realizar auditoria dessas gravações e fiscalizar os procedimentos executados durante as investigações sísmicas.

Sendo assim, esse trabalho tem o intuito de revisar varreduras entregues ao IBAMA, para investigar se há inconformidades durante a execução do que é proposto pelo Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas, como averiguar se as varreduras foram gravadas ao longo do tempo determinado pelo órgão (trinta minutos completos), averiguar se há evidências acústicas de delfínídeos não identificadas e não reportadas em planilha durante as varreduras gravadas no decorrer do MAP, avaliando a efetividade das detecções das varreduras e verificando se existe diferença de eficácia entre operadores ou entre as empresas de consultoria ambiental prestadoras do serviço de monitoramento acústico passivo em águas brasileiras.

Para este trabalho a eficácia é definida como a capacidades das empresas e operadores de identificarem emissões sonoras de delfínídeos durante as varreduras em tempo real, cancelar essas varreduras com detecção e iniciar outra varredura até que sejam apenas gravados registros de varreduras sem vocalizações. Outros objetivos do trabalho, são classificar as emissões sonoras encontradas entre cliques e assobios e investigar quando, dentro de 24 horas de operação, há a maior quantidade de varreduras gravadas.

2. HIPÓTESE E OBJETIVO

2.1. Perguntas de Pesquisa

- A. Existem evidências acústicas de delfínídeos não reportadas e identificadas durante as varreduras gravadas no decorrer do MAP?
- B. Quais os tipos de emissões sonoras, entre assobio e cliques, são encontrados nas varreduras gravadas no MAP?
- C. Existe diferença de eficácia entre operadores do MAP na detecção de delfínídeos?

- D. Existe diferença de eficácia entre empresas de consultoria ambiental prestadoras do serviço de MAP na detecção de delfínídeos?
- E. As varreduras foram gravadas ao longo do intervalo de tempo determinado pelo IBAMA (trinta minutos completos)?
- F. Em quais períodos foram executadas a maior quantidade de varreduras?

2.2. Hipótese Nula

As orientações especificadas no Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas estão sendo implementadas corretamente, de modo que, não existem sinais bioacústicos de delfínídeos nas varreduras gravadas e as varreduras são gravadas dentro do intervalo de tempo determinado pela legislação.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo Geral

Investigar se há inconformidades no procedimento indicado no Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas durante o MAP.

2.3.2. Objetivos Específicos

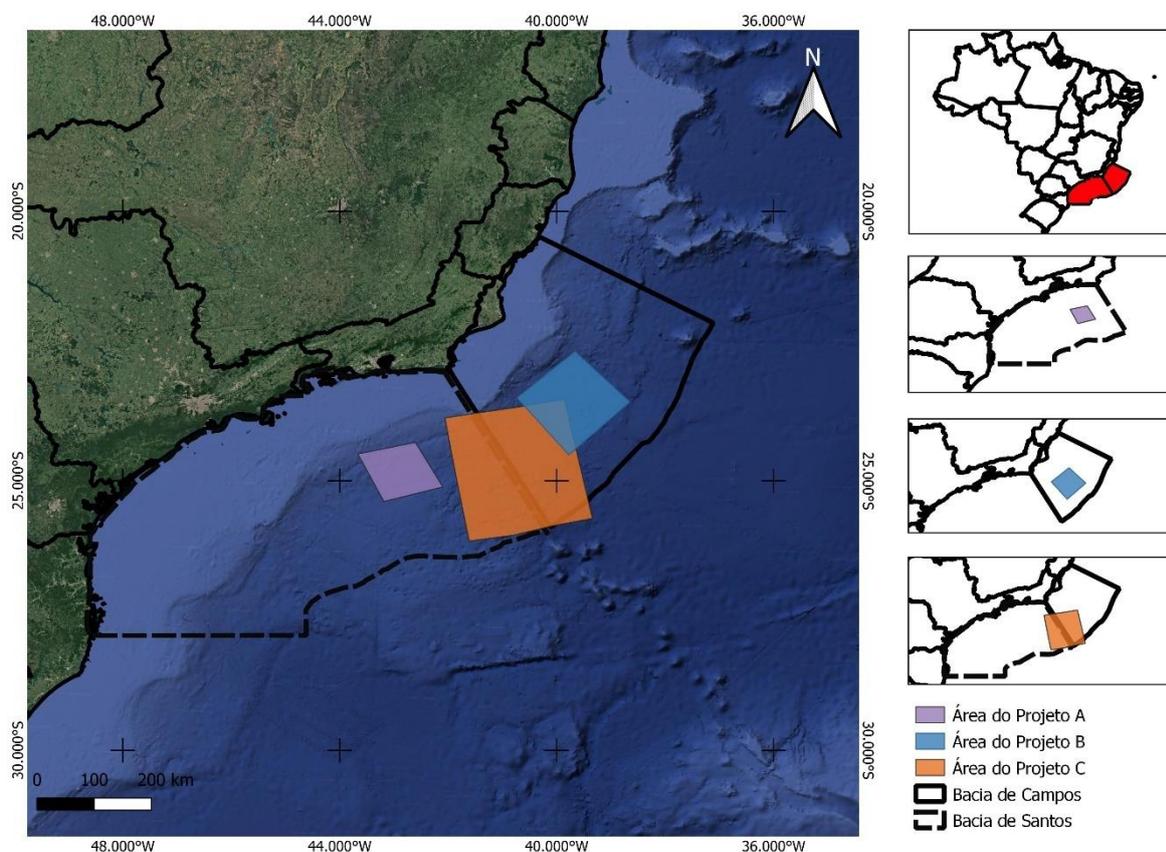
- Avaliar se há evidência acústicas de delfínídeos nas varreduras gravadas durante o MAP.
- Verificar se existe diferença na detecção de delfínídeos entre operadores ou entre empresas de consultoria ambiental prestadoras do serviço de monitoramento acústico passivo.
- Classificar as emissões sonoras encontradas entre cliques ou assobios.
- Averiguar se as varreduras foram gravadas pelo tempo indicado pela legislação brasileira.
- Investigar em quais períodos do dia foram executadas a maior quantidade de varreduras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

O trabalho abrange dados coletados em três projetos de prospecção sísmica diferentes, um compreende a Bacia de Santos, outro a Bacia de Campos e o último se deu entre as duas bacias. Deste modo, a área de estudo do presente trabalho se estende da Bacia de Santos à Bacia de Campos (Figura 3). De acordo com a Lei Federal N° 10.650, de 16 de abril de 2003, não é permitida a divulgação do nome dos projetos, caso, por qualquer meio, venha a divulgar os dados. Por esse motivo, os projetos serão referidos como A, B e C, implementados pelas empresas A, B e C, respectivamente.

Figura 3 - Mapa com a localização da Área de Estudo, área de aquisição de dados do Projeto A aconteceu dentro da área representada em roxo, a área de aquisição de dados do Projeto B em azul e a do C em laranja.



Fonte: Autora

A Bacia de Santos é a maior bacia sedimentar offshore do país, com 272.000km², encontra-se entre os paralelos 23°S e 28°S. Limitando-se ao norte com a Bacia de Campos pelo

Alto de Cabo Frio, e ao sul com a Bacia de Pelotas pela Plataforma de Florianópolis (MOREIRA *et al.*, 2007, LEITE, 2018). O Projeto A foi realizado nesta bacia, a uma distância mínima de 150km da costa da cidade do Rio de Janeiro e profundidade mínima de 1.100 m. A área de aquisição de dados sísmicos e bioacústicos compreendeu 2.150km² de área de aquisição sísmica.

O Projeto B foi realizado na Bacia de Campos. Essa bacia situa-se aproximadamente entre os paralelos 21°S e 23°S, contém cerca de 100.000km², sendo a Bacia do Espírito Santo seu limite ao norte, dado pelo Alto de Vitória, e o limite ao sul, a Bacia de Santos, pelo Alto de Cabo Frio (RANGEL *et al.*, 1994). O projeto B obteve 9.568,55km² de área de aquisição sísmica. O ponto mais próximo da área de atividade até a costa fica a 150km do município de Arraial do Cabo.

A área de atividade do Projeto C compreendeu ambas as bacias e foi realizada a 100km da costa. Para a área de aquisição sísmica, a profundidade mínima foi de 1300m e 35.806km² de área de aquisição sísmica.

3.2. Aquisição de Dados

Para monitorar a área de exclusão a bordo dos navios dos três projetos, os operadores de MAP instalaram arranjos de captação acústica constituídos por dois pares de hidrofones ao longo de cabos rebocados a, no mínimo, 200m da popa dos navios com fontes sísmicas. Esses equipamentos também continham um espaçamento mínimo de 100m entre os pares de hidrofones e estavam a, no mínimo, 20m de profundidade, como exigido no Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas (IBAMA, 2018).

Nesse trabalho, foi optado a utilização de varreduras que foram gravados em arquivos de áudio de formato .wav, com taxa de amostragem de 96kHz em quatro canais, utilizando o Pamguard, *Open Source Software For Passive Acoustic Monitoring*, (PAMGUARD, 2020), software de uso sugerido pelo Guia durante a execução do MAP (IBAMA, 2018). O Pamguard cria espectrogramas utilizando a técnica de Transformada de Fourier de curto prazo (STFT) para determinar o conteúdo de frequência do sinal, permitindo que o operador de MAP visualize graficamente a representação do ambiente acústico subaquático durante a operação geofísica e identifique indícios sonoros produzidos por cetáceos (PAMGUARD, 2020).

A STFT produz uma representação digital de um sinal sonoro por meio de uma sequência de valores numéricos que representam a amplitude da forma de onda original em pontos discretos e uniformemente espaçados no tempo.

O software também possibilita a localização de delfínídeos a partir do sinal acústico recebido, desde que este seja reconhecido pelos detectores automáticos do software (*click detector* ou *whistle and moan detector*) pelos dois pares de hidrofones. A localização do indivíduo é dada pelo cruzamento dos ângulos gerados nos dois pares de hidrofones. O limitante desta técnica é que o animal deve estar a no máximo 10 vezes a distância que existe entre os pares de hidrofones (BOOTH *et al.*, 2017).

Ao final das varreduras, os operadores de MAP produziram planilhas indicando os horários iniciais e finais das detecções dos sinais bioacústicos encontrados dentro da área de exclusão ao longo das operações e o horário de desligamento das fontes sísmicas, essas foram anexadas aos relatórios do projeto. Os relatórios e os dados gravados são de acesso público, são enviados ao IBAMA, que os disponibilizou para o trabalho.

3.3. Seleção de Dados

Após averiguar na planilha geral de detecção, o horário de desligamento dos canhões de ar e o horário final das detecções, quando houve pausa na operação sísmica devido a identificação de vocalizações de mamíferos marinhos durante o MAP, as varreduras acústicas gravadas foram revisadas em busca de cliques e assobios de delfínídeos, em frequência até 48kHz. O objetivo desse procedimento é avaliar se os sinais desses grupos foram reconhecidos em tempo real nas varreduras durante as pesquisas de aquisição de dados sísmicos.

Os arquivos de áudios foram revisados de acordo com a metodologia de Moron *et al.*, (2015) utilizando o programa Raven Pro 1.6 para geração de espectrogramas, na busca manual por cliques e assobios dos delfínídeos. O programa Raven Pro 1.6 utiliza a mesma metodologia do Panguard para produzir espectrogramas, contudo ele permite que seu usuário possa pausar e visitar instantes passados do áudio, possibilitando uma maior assertividade durante a seleção e identificação dos sons.

A família dos delfínídeos foi escolhida pelo fato de, segundo o Guia Ilustrado de Mamíferos Marinhos do Brasil produzido pelo Instituto de Pesquisa Cananéia (IPeC), 19 espécies de delfínídeos ocorrem nessas bacias (Tabela 1). Além disso, compõem a maior parte dos sinais bioacústicos registrados nos programas de MAP em navios de pesquisa sísmica nas Bacias de Campos e Santos (BRITTO, 2009; PARENTE *et al.*, 2017).

Tabela 1 - Gênero e espécies de delfínídeos encontrados nas Bacias de Santos e Campos.

Subordem Odontoceti <i>Flower</i> 1867 Família Delphinidae <i>Gray</i> , 1821	
Gênero	Espécie
<i>Steno</i> Gray, 1846	<i>Steno bredanensis</i>
<i>Sotalia</i> Gray, 1866	<i>Sotalia guianensis</i>
<i>Tursiops</i> Gervais, 1855	<i>Tursiops truncatus</i>
	<i>Tursiops gephyreus</i>
<i>Stenella</i> Gray, 1866	<i>Stenella frontalis</i>

Subordem Odontoceti <i>Flower</i> 1867 Família Delphinidae <i>Gray</i> , 1821	
Gênero	Espécie
	<i>Stenella attenuata</i>
	<i>Stenella longirostris</i>
	<i>Stenella clymene</i>
	<i>Stenella coeruleoalba</i>
<i>Delphinus</i> Linnaeus, 1758	<i>Delphinus delphis</i>
<i>Langenodelphis</i> Fraser, 1956	<i>Lagenodelphis hosei</i>
<i>Langenorhynchus</i> Gray, 1846	<i>Lagenorhynchus australis</i>
<i>Lissodelphis</i> Gloger, 1841	<i>Lissodelphis peronii</i>
<i>Grampus</i> Gray, 1828	<i>Grampus griseus</i>
<i>Peponocephala</i> Nishiwaki & Norris, 1966	<i>Peponocephala electra</i>
<i>Feresa</i> Gray, 1870	<i>Feresa attenuata</i>
<i>Pseudorca</i> Reinhardt, 1862	<i>Pseudorca crassidens</i>
<i>Orcinus</i> Fitzinger, 1860	<i>Orcinus orca</i>
<i>Globicephala</i> Lesson, 1828	<i>Globicephala melas</i>
	<i>Globicephala macrorhynchus</i>

Fonte: Elaborada pela autora a partir de MORENO, 2008, MONTEIRO-FILHO 2016 e MIRANDA, *et al.*, 2019.

3.4. Classificação dos dados

As varreduras revisadas que apresentaram sinais bioacústicos de delfínídeos foram enviadas para a coordenadora deste trabalho para que fosse atribuída uma segunda opinião sobre o que foi encontrado e se confirmassem as detecções. Varreduras com a devida validação de presença de vocalizações de delfínídeos foram contabilizadas. Em caso de identificação dessas emissões, essas foram classificadas entre cliques e assobios. As ocorrências foram comparadas considerando operador e empresa consultora como variáveis, no caso dos

operadores foram consideradas varreduras assinadas por apenas uma pessoa. Para manter o anonimato dos operadores, estes foram nomeados aleatoriamente de A a Z, sendo representantes da empresa A as letras de A a G, da empresa B, H a Q, e R a Z representando a empresa C.

Considerando-se que as variáveis escolhidas seguem a distribuição binomial, foi utilizado o teste de Qui-quadrado de Pearson, simbolizado por X^2 , que ao ser associado ao valor-p indica se há relação estatística significativa entre as classes e se é possível identificar diferenças entre as classes, o teste é definido por:

$$X^2 = \sum \frac{(O_k - E_k)^2}{E_k}$$

K refere-se à quantidade de classes, neste trabalho foram aplicadas duas classes divididas entre presente, quando ocorreu detecção, e ausente para eventos sem detecção. O é o valor observado de uma determinada classe e E é o valor esperado desta classe. A partir dele, pode-se dizer que dois grupos se comportam de forma semelhante se as diferenças entre as frequências observadas e as esperadas em cada categoria forem muito pequenas, próximas a zero. Desta maneira é possível comparar as possíveis divergências entre as frequências com que um determinado acontecimento observado em uma amostra se desvia significativamente ou não da frequência com que ele é esperado (CONTI, 2009; WAINER *et al*, 2007).

Nesta pesquisa, a técnica estatística de Qui-quadrado de Pearson foi realizada por meio de comparações entre empresas e ocorrência de vocalizações e entre operadores e episódios de vocalizações para avaliar a efetividade das detecções das varreduras, verificando se existe diferença de eficácia entre operadores ou entre as empresas de consultoria ambiental prestadoras do serviço de monitoramento acústico passivo em águas brasileiras. Lembrando que, neste trabalho eficácia foi definida como a capacidades das empresas e operadores de identificarem emissões sonoras de delfinídeos durante as varreduras em tempo real, cancelar essas varreduras com detecção e iniciar outra varredura até que sejam apenas gravados registros de varreduras sem vocalizações.

Foi utilizado o pacote VCD, do R studios, produzido por Zeileis *et al*. (2007) para a realização gráfica e visualização do resultado do teste. De acordo com Wainer *et al*. (2007), o teste só pode ser usado se o número de eventos em cada categoria é no mínimo 5, por isso, operadores responsáveis por menos de 5 varreduras não foram considerados para o teste.

Também foi realizada uma comparação entre a quantidade de varreduras gravadas, de cada empresa, e o intervalo de tempo indicado pela legislação brasileira. Para isso, foi realizado

o teste de Kruskal-Wallis (H), empregado por Britto (2009), que associado ao valor-p, indica se há relação estatística significativa entre as amostras. O teste é calculado a partir de:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

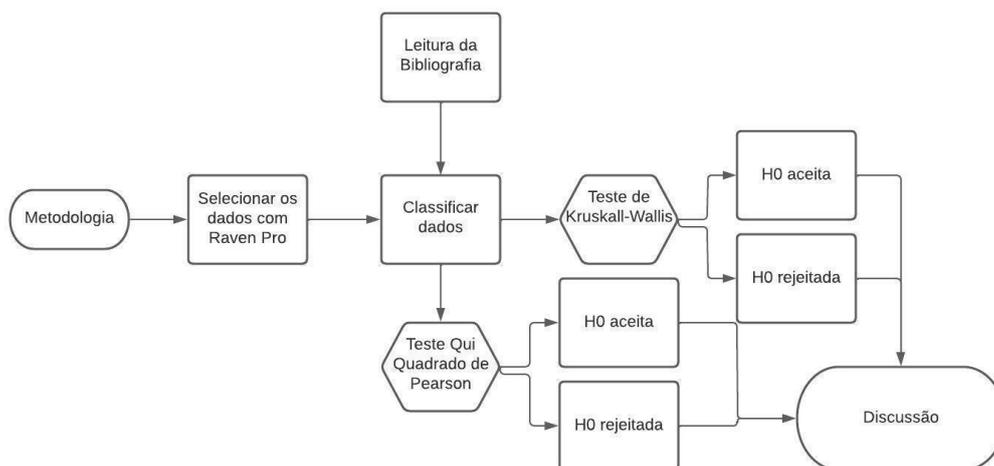
Onde n_i é o número de observações de cada grupo, N é a soma das observações em todos os grupos e R_i a soma dos postos (ranques) de cada grupo. Esse teste é uma alternativa não-paramétrica para comparar três ou mais amostras, ele assume que a variável em estudo é contínua e que foi medida em pelo menos uma escala ordinal. Assim, a interpretação do teste de Kruskal-Wallis é baseada nos postos que as amostras ocupam e não em suas médias. A representação gráfica do teste foi produzida de acordo com Kassambara (2020) a partir do uso do pacote PPGUBR do software R studios.

Como aplicado por Panicker *et al.*, (2022), foram atribuídas as categorias "amanhecer", "dia", "anoitecer" e "noite" para os períodos diários em que as varreduras foram gravadas. Dez horas de cada intervalo entre 24 horas foram designadas a cada dia e noite, enquanto apenas duas horas, às categorias amanhecer (das 5 às 6 horas da manhã) e anoitecer (17 às 18 horas). Isso para contabilizar em quais momentos foram executadas a maior quantidade de varreduras.

3.5. Fluxograma Metodológico

A representação da estratégia metodológica do presente Trabalho de Conclusão de Curso (Figura 4).

Figura 4 - Fluxograma Metodológico.



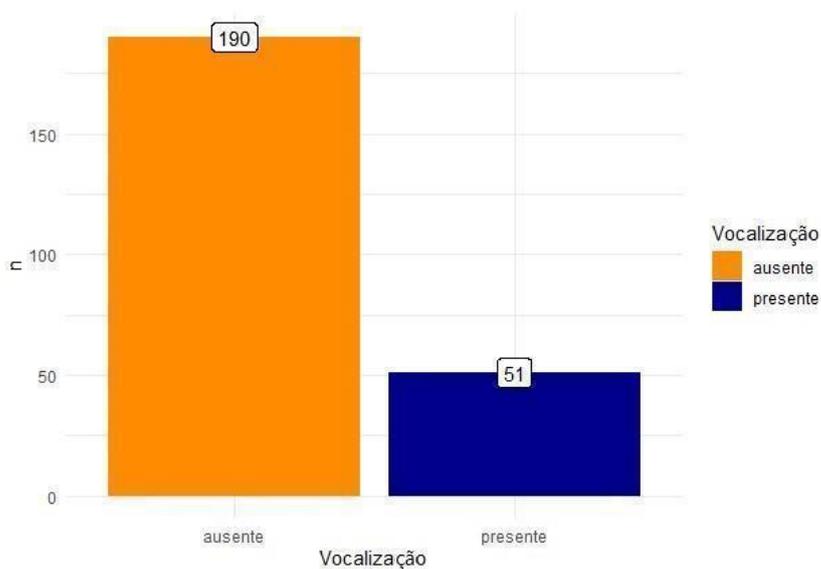
Fonte: Autora

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Comparação das Detecções entre as Empresas e os Operadores

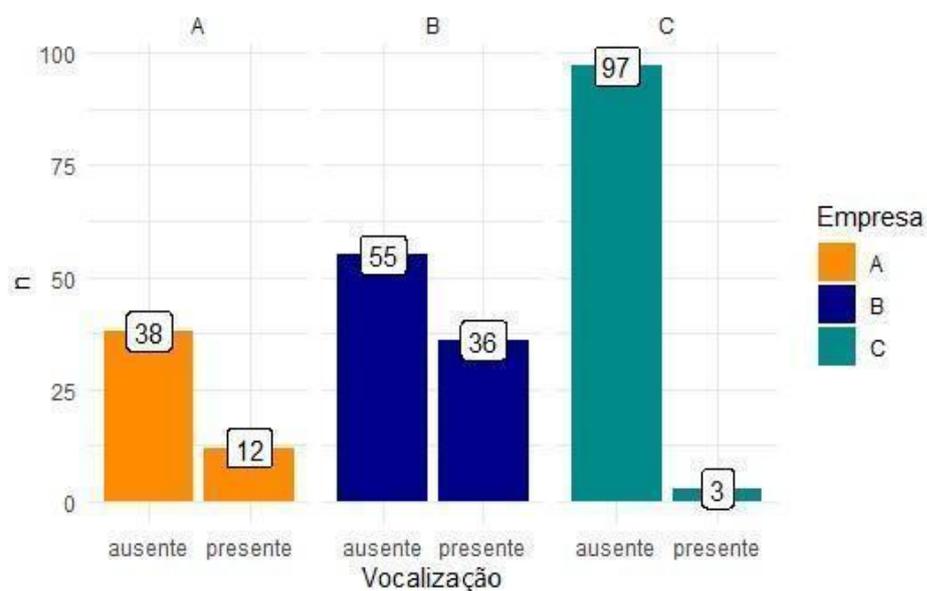
A partir das detecções e horários de desligamento das fontes sísmicas indicadas nas planilhas pelos três projetos, foram revisadas 241 varreduras, em que 51 apresentaram emissões sonoras de delfínídeos (Figura 5). As empresas A, B e C disponibilizam, respectivamente, 50, 91 e 100 varreduras. Dos registros acústicos da empresa A, 12 apresentaram esses sinais sonoros. Na B, 36 e na C, 3 continham vocalizações (Figura 6).

Figura 5 -Varreduras com ausência ou presença de vocalizações. O eixo y representado por n indica o número de varreduras revisadas, o eixo x foi dividido em duas categorias onde o ausente apresenta as varreduras sem detecções em seus registros e o presente representa a ocorrência.



Fonte: Autora

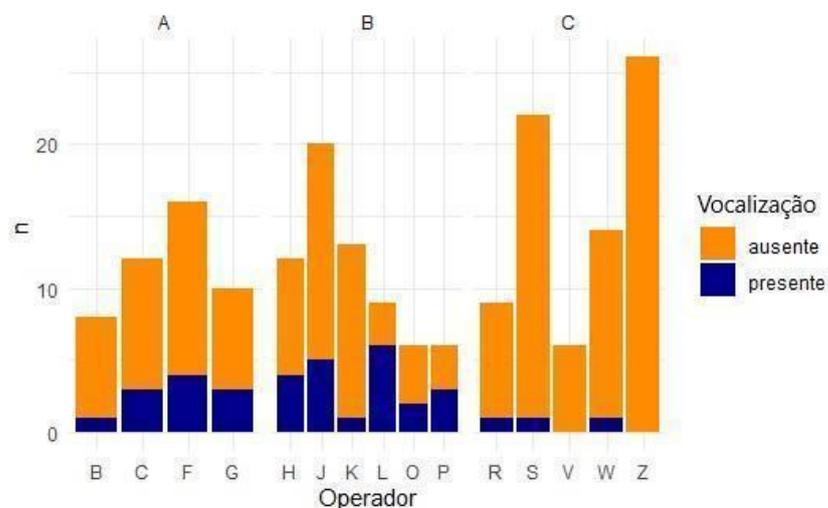
Figura 6- Varreduras com ausência ou presença de vocalizações de cada empresa, onde no eixo y n é o número de varreduras revisadas e o eixo x foi dividido em duas categorias por empresa, presente e ausente, que representam se foram ou não encontradas vocalizações nas varreduras. As empresas foram diferenciadas por cores, onde a empresa A é representada por laranja, a B por azul e a C por verde.



Fonte: Autora

Foi realizada uma representação gráfica para contabilizar e comparar a quantidade de varreduras que apresentaram vocalizações por operador (Figura 7). Nessa representação foi possível perceber que, de 15 operadores, apenas dois (V e Z) foram responsáveis por registros em que não foram encontradas emissões sonoras de delfínídeos. Também é importante salientar que o operador Z foi responsável por 26 varreduras, a maior quantidade de varreduras por operador fornecida pelos projetos.

Figura 7 - Varreduras com ausência ou presença de vocalizações por operadores. O eixo y, representado por n indica o número de varreduras revisadas, no eixo x, os operadores. Este eixo foi dividido por operadores de cada empresa responsáveis pelas varreduras. O ausente, em laranja, representa varreduras sem emissões sonoras detectadas e o presente, em azul, as varreduras com vocalizações.

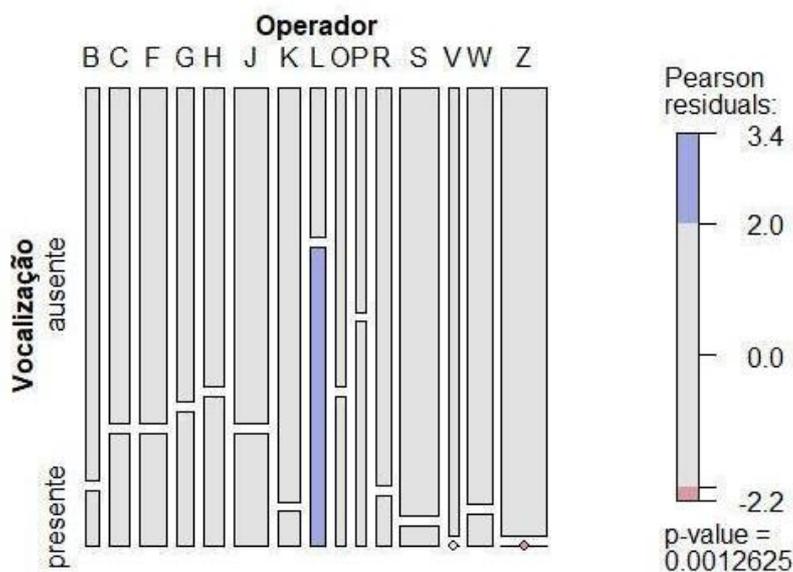


Fonte: Autora

O teste de Qui-quadrado resultou ($X^2 = 35,45$ com valor-p menor que 0,05) (Figura 8), o que implica na existência de associação estatística significativa. Com exceção dos operadores L e Z, todos os operadores obtiveram a quantidade esperada de presente e ausente. Contudo, o operador L apresentou um significativo resíduo de Pearson positivo em relação a quantidade de presente e o Z, obteve resíduo negativo em relação a quantidade de presente encontrados. O resíduo de Pearson representa a diferença do dado observado com o dado esperado.

Isso destaca a distinção dos operadores L e Z entre si e sobre os demais, sendo que Z se diferencia pela menor proporção esperada de detecções presentes em suas varreduras e L por apresentar maior proporção, do que a esperada, de vocalizações em suas varreduras. Desta maneira, é possível afirmar que há diferença de eficácia entre operadores do MAP na detecção de vocalizações de delfínídeos.

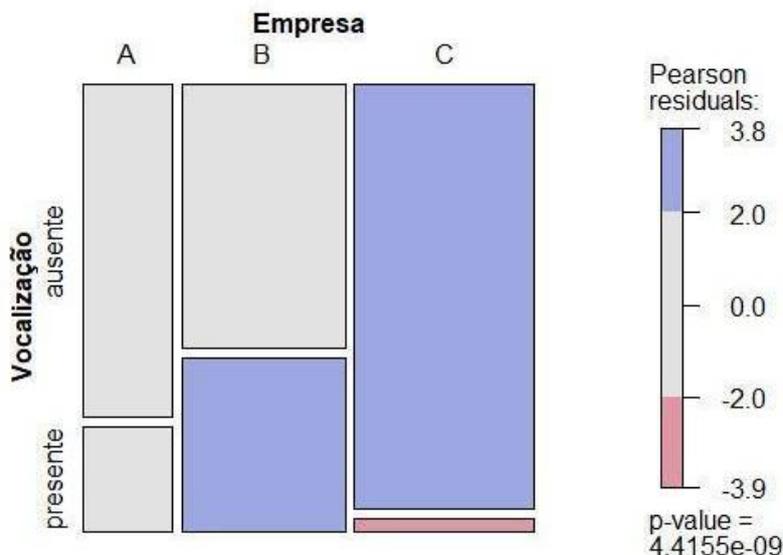
Figura 8 - O teste de Qui-quadrado comparando operadores, em que o eixo y representa as categorias, presente (vocalizações encontradas) e ausente (sem detecções), o eixo x, os operadores responsáveis pelas varreduras. O resíduo de Pearson representa a diferença do dado observado com o dado esperado.



Fonte: Autora

O teste de Qui-quadrado de Pearson comparando as empresas apresentou (X^2 de 38,48 com valor-p menor que 0,05) (Figura 9), apontando que existe associação estatística significativa e que é possível identificar diferenças entre as variáveis, rejeitando a hipótese nula deste trabalho. Além disso, foi possível perceber que a empresa A representa o que é esperado de presente e ausente em amostragem, por outro lado, foram expressos resíduos positivos de Pearson na empresa B e C.

Figura 9- Teste de Qui-quadrado comparando empresas. No eixo y estão as categorias, presente (vocalizações encontradas) e ausente (sem detecções), o eixo x, indica as empresas. O resíduo de Pearson representa a diferença do dado observado com o dado esperado.



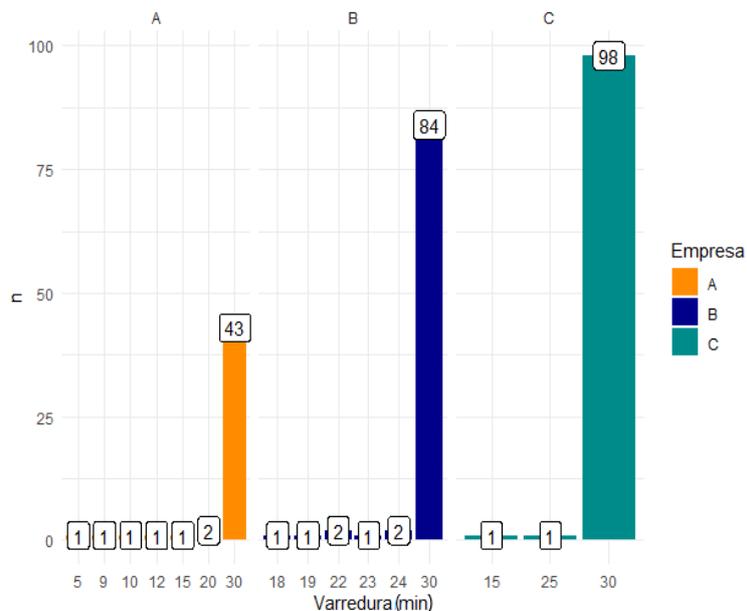
Fonte: Autora

A empresa B apresentou a quantidade esperada de ausente e uma maior quantidade que a esperada de presente. Na C houve proporção inesperada de ausente e presente, com resíduo negativo para presente e resíduo positivo para o ausente, ou seja, houve mais varreduras sem emissões sonoras que o esperado. Desta maneira, a empresa C se diferenciou por apresentar os maiores e menores resíduos, B se diferenciou com os maiores resíduos em presente. As empresas A e B não se diferenciam pela quantidade de ausente, mas pela proporção de detecções encontradas nas varreduras, sendo que a empresa B apresentou mais varreduras com vocalizações que o esperado.

Desta maneira, é evidenciado que também ocorre diferença de eficácia entre empresas de consultoria ambiental prestadoras do serviço de MAP na detecção de delphinídeos. Com os dados disponibilizados pelas empresas não foi possível averiguar as causas desta distinção.

Foi realizada uma representação gráfica para contabilizar e comparar a quantidade de varreduras com a duração exigida na legislação (Figura 10). Em todas as empresas foram encontradas varreduras com duração menor que trinta minutos, na empresa A essa situação aconteceu em 7 das varreduras, na empresa B, 7 e apenas 2 na C.

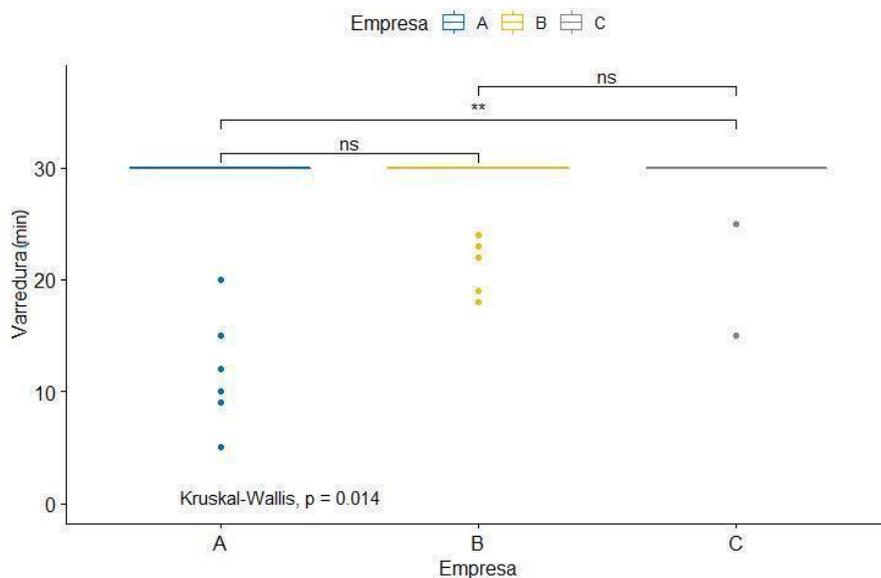
Figura 10 - Varreduras com duração menor que 30 min de cada empresa, onde no eixo y, n é o número de varreduras e o eixo x duração em minutos de cada varredura. As empresas foram diferenciadas por cores, onde a empresa A é representada por laranja, a B por azul e a C por verde.



Fonte: Autora

Ao avaliar a existência de diferenças significativas entre as empresas e o número de varreduras gravadas com duração menor que o indicado pela legislação, o teste de Kruskal-Wallis (Figura 11) resultou nos valores de $H = 0,77$ com valor- $p = 0,014$. A partir do gráfico é possível notar que existe diferença significativa entre as empresas A e C, mas não houve diferença significativa entre A e B ou B e C.

Figura 11- Teste de Kruskal-Wallis sobre a duração da gravação das varreduras de cada empresa. O eixo y representa o período pelo qual as varreduras foram gravadas em minutos (min), o eixo x indica as empresas responsáveis pelas varreduras diferenciadas por cores, onde a empresa A está em azul, a B em amarelo e a C em cinza.

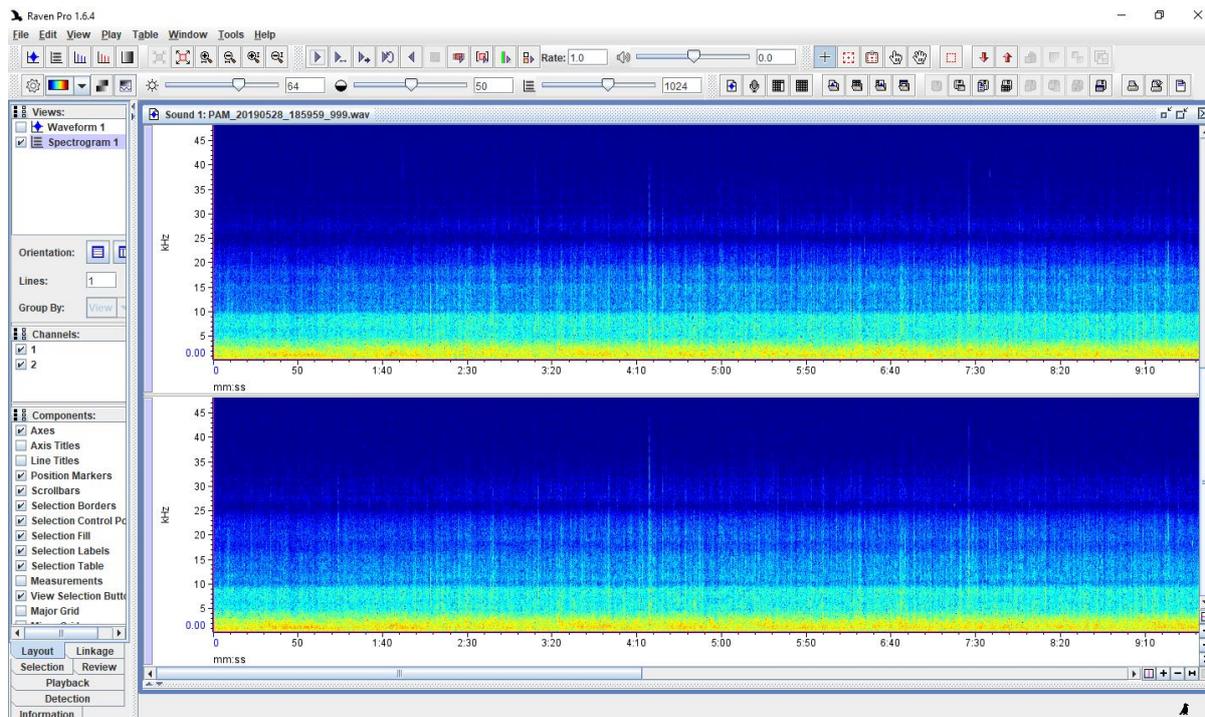


Fonte: Autora

O Guia especifica que as varreduras contenham duração mínima de trinta minutos dessa maneira, encontrou-se inconformidades na duração da gravação das varreduras em todos os projetos de pesquisa sísmica analisados neste trabalho. Isso expõe a necessidade de fiscalizar os procedimentos executados durante as investigações sísmicas pelo órgão fiscalizador, o IBAMA, e averiguar os motivos dessa diferenciação.

Apesar de não ser objetivo do trabalho, foi possível notar que a empresa B disponibilizou apenas dois canais gravados em todas as suas varreduras (Figura 12).

Figura 12 - Espectrograma com apenas dois canais produzido pelo programa Raven Pro, a partir do arquivo em .wav de varredura disponibilizado pela empresa B.



Fonte: Autora

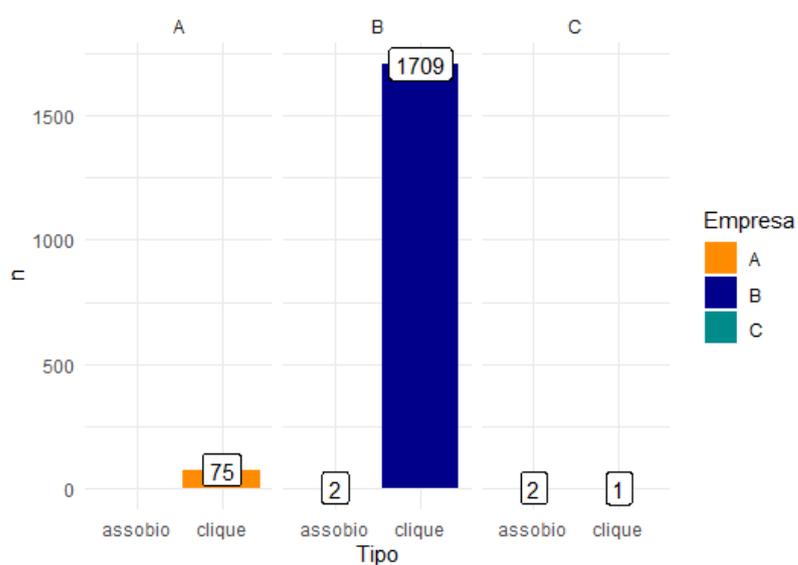
Vários trabalhos sugerem que sons pulsados com função de ecolocalização produzidos por várias espécies de delfínídeos são direcionais (AU *et al.*, 1986; AU *et al.*, 1999; RASMUSSEN *al.*, 2004; WAHLBERG *et al.*, 2011). Não é comum detectar vocalizações direcionais em ambos pares de hidrofones, o que levanta a importância de gravar todos os canais durante a varredura para garantir a ausência de delfínídeos dentro da área de exclusão. Sendo assim, recomenda-se que seja adicionado no Guia uma pauta definindo como norma a gravação dos quatro canais amostrados durante a aquisição sísmica marinha.

4.2. Sinais Bioacústicos Encontrados

Dos registros que apresentaram vocalizações, foram selecionadas 1789 vocalizações de delfínídeos (Figura 13), em que 1785 foram cadeias de cliques e 4 foram assobios (distribuídos igualmente entre as empresas B e C), isso representa um baixo índice de assobios presentes nas varreduras revisadas neste trabalho. O mascaramento acústico de sons pode ser um desafio para a atividade do MAP. Clark *et al.* (2009) e Silva (2019) afirmaram que os ruídos causados pelo motor de embarcações produzem mascaramento dificultando a identificação dos assobios durante o MAP.

Dentre todas as empresas analisadas no trabalho, nas varreduras da empresa B encontrou-se a maior quantidade de cliques, 1709 de 91 varreduras, nos registros da empresa C, foram encontradas apenas três vocalizações, uma cadeia de clique e dois assobios, ao longo das suas 100 varreduras. Evidenciando, mais uma vez, que existe diferença, entre as empresas, na eficácia da detecção de sinais acústicos durante as varreduras.

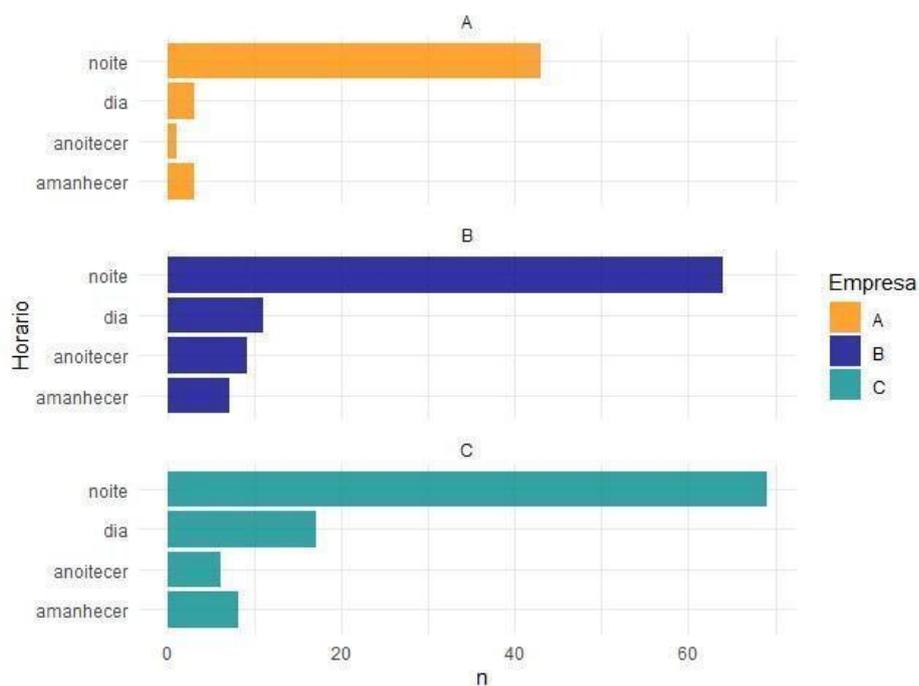
Figura 13 - Varreduras com ausência ou presença de vocalizações. O eixo y representado por n indica o número de vocalizações emitidas durante as varreduras, o eixo x foi dividido em duas categorias por empresa, cliques e assobios, e as empresas foram diferenciadas por cores, onde a empresa A é representada por laranja, a B por azul e a C por verde.



Fonte: Autora

O período em que as varreduras ocorreram também foram contabilizados (Figura 14). 43 das varreduras da empresa A foram gravadas à noite, na empresa B, 64 e na C, 69 também ocorreram à noite.

Figura 14 - Horário em que as varreduras foram gravadas. O eixo y representa o horário pelo qual as varreduras foram gravadas dividido em quatro categorias, (noite, dia, anoitecer e amanhecer), o eixo x indica a quantidade de varreduras, onde as empresas estão diferenciadas por cores, empresa A está em laranja, a B azul e a C em verde.



Fonte: Autora

Deconto e Monteiro-Filho (2016) mostraram que alguns delfínídeos são mais ativos acusticamente à noite, em decorrência da alta taxa de emissão de cliques nesse período, devido a necessidade do uso de vocalizações para organizar estratégias de predação noturna. Este comportamento não é incomum e foi relatado em vocalizações de orcas (*Orcinus orca*) e golfinhos-rotadores (*Stenella longirostris*) para maximizar o sucesso de caça à noite (HOWE, LAMMERS, 2021; NEWMAN, SPRINGER, 2008). Isso indica uma inclinação de diferentes delfínídeos para forragear principalmente durante esse período.

Esse comportamento pode estar associado ao fato de que, em oceanos oligotróficos, onde há baixa disponibilidade de nutrientes, há vantagens no forrageio noturno em consequência do aumento de biomassa de zooplâncton que migra em direção epipelágica nesse período e volta a maiores profundidades ao amanhecer, atraindo diversos níveis tróficos a se alimentarem a noite (HERNÁNDEZ-LEÓN *et al.*, 2019; PRIYADARSHI *et al.*, 2019; DECONTO, MONTEIRO-FILHO 2016).

5. CONCLUSÃO

As revisões das varreduras acústicas gravadas indicaram maior atividade sonora de delfínídeos durante à noite, provavelmente utilizada para o forrageio e a hipótese nula deste trabalho foi rejeitada. Isso porque foi identificado que ocorreram inconformidades no procedimento indicado no Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas durante o MAP. Dentre elas estão varreduras gravadas com duração de tempo menor que trinta minutos e detecções de emissões sonoras de delfínídeos não reconhecidas nas varreduras em tempo real durante o MAP.

Contudo, ao comparar as empresas, a empresa C entregou a menor quantidade de varreduras gravadas contendo essas emissões sonoras e menor quantidade de varreduras com período de tempo menor que o estipulado pela legislação em relação às outras duas empresas, o que implica em uma diferença no comprimento do que é imposto no Guia.

Ao comparar os operadores, também foi possível perceber uma distinção em relação à quantidade de varreduras com presença de sinais acústicos produzidos pela família alvo de investigação deste trabalho. Isso evidencia que há diferença de eficácia entre as empresas e os operadores do MAP na detecção bioacústica de delfínídeos.

A implementação de novas pautas e critérios no Guia, como tornar norma a gravação dos quatro canais amostrados durante a aquisição sísmica marinha, além da elaboração de um programa de qualificação e aperfeiçoamento das atividades do MAP promovido pelas empresas, adicionariam aos esforços empregados pelo governo brasileiro para a conservação do ecossistema oceânico e manutenção das atividades relacionadas à aquisição de dados sísmicos. Outras medidas, como notificar na planilha geral de detecção se houve varredura ou não para cada detecção e produzir uma única pasta contendo todas as varreduras gravadas durante os projetos facilitaria a realização das auditorias, viabilizando a fiscalização mais eficiente do MAP.

6. SUGESTÕES

Com os dados disponibilizados pelas empresas não foi possível averiguar as causas da distinção entre elas. De qualquer modo, a responsabilidade da implementação dos procedimentos estabelecidos no Guia de Monitoramento, além da garantia de que os operadores tenham condição para executar o monitoramento, são do empreendedor (IBAMA, 2018). Portanto, sugere-se o desenvolvimento de um programa de qualificação e aperfeiçoamento dos operadores de MAP promovido pelas empresas para que o protocolo exigido pelo Guia seja executado e se possa reduzir a diferença de eficácia das detecções nas varreduras.

O programa de MAP não exige que as empresas gravem continuamente por 24 horas durante todo o projeto. Desta maneira, os operadores de MAP estão monitorando, percebem um sinal acústico emitido normalmente por golfinhos ou baleias, e somente então iniciam a gravação. Nos casos em que o operador não reconhece o sinal, não há registro. O fato da empresa B ter apresentado 36 de 91 varreduras contendo sinais acústicos não reconhecidos levanta o questionamento se essa mesma situação não estaria gerando uma perda de detecções. Uma solução para entender melhor o que acontece seria o IBAMA solicitar que seja feita a gravação contínua de alguns projetos possibilitando um melhor entendimento sobre o que se perde.

A maior atividade sonora de delfinídeos durante à noite, provavelmente utilizada para o forrageio, levanta a importância da mitigação dos impactos da poluição sonora à essa biota, principalmente durante esses períodos. O Guia recomenda a presença de um quarto operador MAP (IBAMA, 2018). Adicionar um operador experiente com função de apoio e treinamento para os três operadores, bem como cuidar do equipamento MAP e revisar as varreduras do projeto, auxiliando a equipe do monitoramento com suas dúvidas, evitaria novos enganos, danos à biota e reduziria o erro durante a identificação de emissões acústicas ao longo das operações.

Os procedimentos de controle da atividade sísmica no Brasil já vêm sendo aperfeiçoados ao longo dos anos visando minimizar os impactos que podem ser causados aos delfinídeos. Contudo, a identificação de inconformidades com quebra do protocolo exigido pelo IBAMA implica que há espaço para melhorias na execução dos procedimentos das

operações do monitoramento conforme as especificações do Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas.

Ademais, nos últimos anos, a computação e a disponibilidade de grandes quantidades de dados permitiram o desenvolvimento de ferramentas computacionais que proporcionaram, na última década, a execução de tarefas como reconhecimento de fala, análise de imagem e etc. Nessa mesma linha, é possível aplicar e testar novos métodos para reconhecer sinais bioacústicos (BERMANT et al., 2019).

Atualmente existem projetos como o Deep Voice (<https://www.deepvoicefoundation.com>), voltados para a conservação do ambiente marinho e que oferecem de forma gratuita, através do seu time de engenheiros, a possibilidade do desenvolvimento de tecnologias para a detecção e classificação de sinais acústicos reduzindo dessa forma o número de horas exigidas para que uma pessoa possa analisar os dados. Hoje a fundação está desenvolvendo um algoritmo de classificação baseado nas redes neurais convencionais adaptadas para a análise de dados acústicos. A estrutura do trabalho é código aberto e está disponível gratuitamente no GitHub no link <https://github.com/deep-voice/soundbay>.

Por fim, sugere-se união entre diferentes atores da sociedade, como órgãos governamentais, não governamentais e universidades para que ocorra a produção e disponibilização de ferramentas/rotinas computacionais que possibilitem auditar de forma contínua as varreduras acústicas entregues ao IBAMA, de forma a avaliar se as diretrizes para a mitigação dos impactos causados aos delfínídeos pelas atividades sísmicas, estão sendo aplicadas conforme o Guia do IBAMA.

REFERÊNCIAS

- AU, W. WL; HASTINGS, M. C. **Principles of marine bioacoustics**. New York: Springer, 2008.
- AU, W. WL *et al.* Nighttime foraging by deep diving echolocating odontocetes off the Hawaiian islands of Kauai and Ni'ihau as determined by passive acoustic monitors. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 5, p. 3119-3127, 2013.
- AU, W, WL. Echolocation. In: **Encyclopedia of marine mammals**. Academic press, p. 289-299. 2018.
- AU, W. W. L., KASTELEIN, R. A., RIPPE, T., and SCHOONEMAN, N. M. “Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*),” *J. Acoust. Soc. Am.* 106, 3699–3705. 1999.
- AU, W. W. L., MOORE, P. W. B., PAWLOSKI, D. “Echolocation transmitting beam of the Atlantic bottlenose dolphin,” *J. Acoust. Soc. Am.* 80, 688–694. 1986.
- BERMANT, P. C. *et al.* Deep machine learning techniques for the detection and classification of sperm whale bioacoustics. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2019.
- BERTA, A.; SUMICH, J. L.; KOVACS, K. M. *Marine mammals: evolutionary biology*. Elsevier. 2005.
- BOOTH, C. G. *et al.* Assessing the viability of density estimation for cetaceans from passive acoustic fixed sensors throughout the life cycle of an offshore E&P field development. 2017.
- BRASIL. Lei Federal Nº 10.650, de 16 de abril de 2003. Dispõe sobre o acesso público aos dados e informações existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sisnama. Brasília: Presidência da República, 1998. Disponível em:http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.650.htm. Acesso em: 22 fev. 2022.
- BRITTO, M. K. Mamíferos marinhos, a atividade de prospecção sísmica e o uso do Sistema de Monitoramento de Mamíferos Marinhos-SIMMAM. 2009.
- BRUNGART, D. S. Informational and energetic masking effects in multitalker speech perception. In **Speech separation by humans and machines** (pp. 261-267). Springer, Boston, MA. 2005.
- CLARK, C. *et al.* Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 201–222, 3 dez. 2009.
- 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.
- CONTI, Fátima. Biometria Qui Quadrado. Laboratório de Informática ICB. Universidade Federal da Paraíba, UFPA, João Pessoa, Ceará, 2009.

DECONTO LS, MONTEIRO-FILHO ELA. Day and night sounds of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: delphinidae) in southeastern Brazil. *Acta Ethol.* 19:61–68. doi:10.1007/s10211-015-0223-y. 2016.

DONDURUR, D. Acquisition and processing of marine seismic data. [S.l.]: Elsevier, 2018.

ERBE, C.; DUNLOP, R.; DOLMAN, S. Effects of noise on marine mammals. In: **Effects of anthropogenic noise on animals**. Springer, New York, NY, p. 277-309. 2018.

ERBE, C. *et al.* The effects of ship noise on marine mammals—a review. *Frontiers in Marine Science*, v. 6, p. 606, 2019.

ERBE, C.; THOMAS, J. A. **Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1**. Springer, New York, NY. 2022.

ELLIOTT, R. G.; DAWSON, S. M.; HENDERSON, S. Acoustic monitoring of habitat use by bottlenose dolphins in Doubtful Sound, New Zealand. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 45, n. 4, p. 637-649, 2011.

FAIR, P. A.; BECKER, P. R. Review of stress in marine mammals. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, v. 7, n. 4, p. 335-354, 2000.

FINNERAN, J. J. *et al.* Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 111, n. 6, p. 2929-2940, 2002.

GORDON, C. Anthropogenic Noise and Cetacean Interactions in the 21st Century: A Contemporary Review of the Impacts of Environmental Noise Pollution on Cetacean Ecologies. 2018.

GUAN, S.; BROOKENS, T.; MINER, R. Acoustic characteristics from an in-water down-the-hole pile drilling activity. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 151, n. 1, p. 310-320, 2022.

HERNÁNDEZ-LEÓN, S. *et al.* Zooplankton and micronekton active flux across the tropical and subtropical Atlantic Ocean. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 535, 2019.

HOWE, M; LAMMERS, M. O. Investigating the Diel Occurrence of Odontocetes around the Maui Nui Region Using Passive Acoustic Techniques I. **Pacific Science**, v. 75, n. 1, p. 147-161, 2021.

IBAMA. **Mamíferos Aquáticos do Brasil: Plano de Ação, versão II**. Edições IBAMA. Brasília. 102p. 2001.

IBAMA. Guia de monitoramento de biota marinha em atividade de aquisição de dados sísmicos
ibama. 2005. **Brasil**. Disponível em:
em:<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/petroleo-e-gas/diretrizes/2005-guia-de-monitoramento-da-biota-marinha-em-ativid-de-aquisicao-de-dados-sismicos.pdf>.
Acesso em: 08 fev. 2022.

IBAMA. Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marítimas. **Brasil**. 2018. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/petroleo-e-gas/diretrizes/2018-11-01-ibama-guia_de_monitoramento_da_biota_marinha_outubro.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

KASSAMBARA, A. Package ‘ggpubr’. **R package version 0.1**, v. 6, 2020k

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. Geofísica de exploração. [S.l.]: Oficina de Textos, 2009.

LAMMERS, M. O.; AU, W. WL; HERZING, D. L. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 114, n. 3, p. 1629-1639, 2003.

LEITE, C. O. N. Processos deposicionais e diagenéticos na seção rifte do pré-sal de uma área na bacia de Santos, sudeste do Brasil. 2018.

LU, W.; ZHANG, Q. Deconvolutive short-time Fourier transform spectrogram. **IEEE Signal Processing Letters**, v. 16, n. 7, p. 576-579, 2009.

LUCKE, k. *et al.* **Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli**. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 125, n. 6, p. 4060-4070, 2009.

MAMACOCOSEA. “A review of seismic mitigation measures used along the coast of Northern South America, from north Brazil up to Colombia,” Reference Document for the MaMaCoCoSEA Steering Committee, 2015.

MIRANDA, A. V. *et al.* Guia Ilustrado de Identificação de Cetáceos e Sirênios do Brasil. 2019.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Proyecto de Resolución - Anexo I: Protocolo para la implementación del monitoreo de fauna marina en prospecciones sísmicas. República Argentina. 2021.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A. *et al.* Guia Ilustrado de Mamíferos Marinhos do Brasil. **Instituto de pesquisa Cananéia (IPEC)**. **106f**, v. 1, 2013.

MOREIRA, J.L.P.; MADEIRA, C.V.; GIL, J.A.; MACHADO, M.A.P. Bacia de Santos. *B. de Geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 531-549, 2007.

MORENO, I. B. *et al.* Relações filogenéticas entre os golfinhos da família Delphinidae: mammalia: cetacea. 2008.

MORON, J. R. Caracterização dos parâmetros acusticos do golfinho-rotador: registro na quebra da plataforma continental sul brasileira. 2015.

NEMIROFF, L. Structural Variation and Communicative Functions of Long-finned Pilot Whale (*Globicephala Melas*) Pulsed Calls and Comple Whistles. 2009.

NEWMAN K, SPRINGER AM. Nocturnal activity by mammal-eating killer whales at a predation hot spot in the Bering Sea. *Mar Mamm Sci* 24:990–999. doi:10.1111/j.1748-7692.2008.00236.x. 2008.

NUUTTILA H. K; MEIER R; EVANS P. G. H; TURNER J. R; BENNELL J. D; HIDDINK J. G. Identifying Foraging Behaviour of Wild Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) and Harbour Porpoises (*Phocoena phocoena*) with Static Acoustic Dataloggers. *Aquatic Mammals* 39:147-161. 2013.

OLIVEIRA, I. T. G.. **Diversidade e comportamento de cetáceos associado a embarcações na Baía Potiguar, Rio Grande do Norte-Brasil**. 2015. Dissertação de Mestrado. Brasil.

PAMGUARD, Open Source Software For Passive Acoustic Monitoring. 2020. Disponível em: <https://www.pamguard.org/> . Acesso em: 03 mar. 2022.

PANICKER, D; BAUMGARTNER, M. F.; STAFFORD, K. M. Fine-scale spatial and temporal acoustic occurrence of island-associated odontocetes near a mid-oceanic atoll in the northern Indian Ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 683, p. 195-208, 2022.

PARENTE, C. L. *et al.* Diversidade e distribuição de cetáceos na área de influência das atividades de E&P na Baía de Campos. **Mamíferos, quelônios e aves: caracterização ambiental regional da Baía de Campos, Atlântico Sudoeste**. Rio de Janeiro: Elsevier. **Habitats**, p. 35-61, 2017.

PARSONS, E. C. M. *et al.* A critique of the UK's JNCC seismic survey guidelines for minimising acoustic disturbance to marine mammals: Best practise?. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 5, p. 643-651, 2009.

PHILPOTT, E., ENGLUND, A., INGRAM, S., & ROGAN, E.. Using T-PODs to investigate the echolocation of coastal bottlenose dolphins. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 87(1), 11-17. (2007)

PRIYADARSHI, A. *et al.* Micro-scale patchiness enhances trophic transfer efficiency and potential plankton biodiversity. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019.

RANGEL, H. D. *et al.* Baía de Campos: Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 8. 1994.

RASMUSSEN, M. H., WAHLBERG, M., MILLER, L. A. “Estimated transmission beam pattern of clicks recorded from free-ranging whitebeaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*),” *J. Acoust. Soc. Am.* 116, 1826–1831. 2004.

ROMAN, J., MCCARTHY, J. J. A bomba de baleia: mamíferos marinhos aumentam a produtividade primária em uma baía costeira. **PloS** 1, v. 5, n. 10, p. e13255, 2010.

ROSÁRIO, L. F. S. **Vocal Signature Feature Set for the Distinction of Macaronesian Dolphin species**. Tese de Doutorado. 2022.

SAYIGH L. “Cetacean Acoustic Communication”. In: *Biocommunication of Animals*, pp. 275–297. doi: 10.1007/978-94-007-7414-8_16. 2013.

SILVA, F. J. L. *et al.* Protocolo sobre diagnóstico dos efeitos da pesquisa sísmica em mamíferos aquáticos. Brasília: ICMBio.63 p. 2020.

SILVA, L. A. C. **Alternativas técnico-metodológicas para a detecção de cetáceos durante atividades de prospecção sísmica**. Dissertação de Mestrado. Brasil. 2019.

SIMMONDS, M.; DOLMAN, S.; WEILGART, L. Oceans of noise: A WDCS science report. **Whale and Dolphin Conservation Society**, v. 164, 2003.

SONG, H.; PINHEIRO, L. M.; RUDDICK, B.; HUANG, X. Seismic oceanography: a new geophysical tool to investigate the thermohaline structure of the oceans. *Oceanography*, InTech Open Access Publisher, p. 113–128, 2012.

SONG, Z. *et al.* Biosonar emission characteristics and beam control of odontocetes. **Acta Physica Sinica**, v. 69, p. 154301-1-154301-12, 2020.

TERBORGH, J.; ESTES, J A. (Ed.). **Trophic cascades: predators, prey, and the changing dynamics of nature**. Island press, 2013.

VILARDO, C.; BARBOSA, A. Can you hear the noise? Environmental licensing of seismic surveys in Brazil faces uncertain future after 18 years protecting biodiversity. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 16, n. 1, p. 54-59, 2018.

WAHLBERG, M., JENSEN, F. H., AGUILARr SOTO, N., BEEDHOLM, K., BEJDER, L., OLIVEIRA, C., RASMUSSEN, M., SIMON, M., VILLADSGAARD, A., MADSEN, P. T. “Source parameters of echolocation clicks from wild bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus* and *Tursiops truncatus*),” *J. Acoust. Soc. Am.* 130, 2263–2274. 2011.

WAINER, J. *et al.* Métodos de pesquisa quantitativa e qualitativa para a Ciência da Computação. **Atualização em informática**, v. 1, n. 221-262, p. 32-33, 2007.

WEILGART, L. A review of the impacts of seismic airgun surveys on marine life. In: **CBD Expert Workshop on Underwater Noise and its Impacts on Marine and Coastal Biodiversity**. London, United Kingdom. 2013. p. 1-10.

WRIGHT, A, J.; COSENTINO, A. M. JNCC guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys: We can do better. **Marine Pollution Bulletin**, v. 100, n. 1, p. 231-239, 2015.

ZEILEIS A, MEYER D, HORNIK K (2007). “Residual-based Shadings for Visualizing (Conditional) Independence.” *Journal of Computational and Graphical Statistics*, **16**(3), 507–525. doi:10.1198/106186007X237856.