

Universidade Federal de Juiz de Fora
Pós-Graduação em Ciências Biológicas
Mestrado em Comportamento e Biologia Animal

Anna Beatriz de São Pedro Batista

BUSCANDO CETÁCEOS NO OCEANO ATLÂNTICO SUL ATRAVÉS DA
BIOACÚSTICA

Juiz de Fora

2020

Anna Beatriz de São Pedro Batista

Buscando cetáceos no Oceano Atlântico Sul através da bioacústica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia e Comportamento Animal da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Artur Andriolo

Coorientadora: Dr^a. Franciele Rezende de Castro

Juiz de Fora

2020

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

Batista, Anna Beatriz de São Pedro.

Buscando cetáceos no Oceano Atlântico Sul através da bioacústica / Anna Beatriz de São Pedro Batista. -- 2020.
40 f. : il.

Orientador: Artur Andriolo

Coorientadora: Franciele Rezende de Castro

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Comportamento Animal, 2020.

1. Monitoramento acústico . 2. Bioacústica. 3. Cetáceos. I. Andriolo, Artur , orient. II. Rezende de Castro, Franciele, coorient. III. Título.

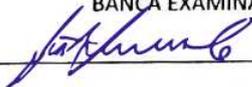
Anna Beatriz de São Pedro Batista

Buscando cetáceos no Oceano Atlântico Sul através da bioacústica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia e Comportamento Animal da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

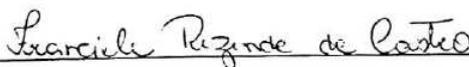
Aprovada em 20 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Artur Andriolo (Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora



Dra. Franciele Rezende de Castro (Co-orientadora)

Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dra. André de Camargo Guaraldo

Universidade Federal de Juiz de Fora



Dr. Giovane Ambrosio Ferreira

Fundação Espírito-santense de Tecnologia

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Artur Andriolo, pela oportunidade que me ofereceu quando precisei, por acreditar em mim e pelo incentivo. Por ser minha inspiração e me incentivar a cada conversa e a cada aula assistida, a cada reunião. Por todo encorajamento, por todas as vezes que acreditou em mim quando eu mesma não acreditei. Por ter me permitido crescer nesses dois anos.

A minha coorientadora Fran, pelo seu apoio, por estar sempre presente quando precisei, por todas as dúvidas em que me ajudou, e por todo o incentivo para continuar. Pelo seu jeito calmo que passa tranquilidade nas horas difíceis.

Aos colegas de laboratório pelas conversas, colaboração, amizade.

Aos colegas da UFJF e da FURG que proporcionaram os dados para que ela pesquisa pudesse ser realizada.

A coordenação da pós-graduação.

A minha família. Meus pais pelo incentivo e apoio para seguir o caminho que eu escolhi desde os seis anos. Aos meus irmãos por existirem e serem as pessoas mais importantes da minha vida, por todos os abraços, todas as risadas, todos os choros, toda a companhia, toda a delícia que é ter vocês três comigo, independente da distância. Por serem minha força, por serem o que nunca me permitiu desistir.

Ao meu pequeno monstrinho, Bob, por toda a companhia que me fez nas noites solitárias em uma cidade nova, por todo o trabalho que me deu, por todos os dias me fazer ter um motivo pra voltar pra casa.

A Thaisa, que me perdoou ter causado essa distância entre a gente, e continua aturando minhas ansiedades há anos, e sempre me incentivando a continuar. E sendo a melhor amiga que alguém poderia ter.

A Universidade Federal de Juiz de Fora e ao departamento de Ciências biológicas.

Ao órgão financiador do projeto, CAPES.

RESUMO

Os cetáceos tem grande importância biológica, e frente ao crescimento de atividades antropogênicas que os afetam, o interesse por sua conservação vem aumentando. Para muitas espécies ainda não existem informações suficientes para definir em qual categoria de ameaça se encontram, assim, são necessárias mais pesquisas de levantamento de informações sobre cetáceos. E essas pesquisas são desafiadoras devido ao ambiente em que os cetáceos vivem. Por viverem boa parte de seu tempo submersos, existe uma dificuldade inerente de acessar informações sobre os cetáceos. O modo de pesquisa mais utilizado comumente é o de observação visual em transectos lineares, porém como todo método, este tem suas desvantagens, como a necessidade de que os animais estejam na superfície para serem acessíveis, a necessidade de luz solar, de um clima adequado a pesquisa, além de dependerem de pessoal especializado e serem custosas. A pesquisa acústica é uma alternativa, que consegue sobrepujar alguns desses problemas. Não depende de luz solar, podendo ser realizada 24 horas por dia, é mais independente de clima, é um dos poucos métodos capazes de detectar animais submersos, e é menos. Como os cetáceos utilizam o som de forma vasta na sua ecologia, é possível utilizar este método para uma série de estudos com diferentes intenções. O monitoramento acústico também está entre os métodos mais utilizados para acompanhar cetáceos atualmente, porém poucos estudos de comparação entre os dois métodos foram realizados. Foram comparadas ambas as formas de monitoramento quando foram realizadas de forma simultânea, e identificada a eficiência na detecção de cetáceos, e como o monitoramento visual se comporta em relação ao horário do dia e ao estado de mar. O número de detecções, em geral, foi maior no monitoramento acústico, porém não teve um valor significativo ($p > 0,05$) em um teste de permutação. O método acústico permitiu detecções durante a noite, que seriam impossíveis ao visual pela falta de luminosidade, e teve um maior número de detecções quando o estado de mar estava maior. Os resultados estão dentro do esperado, mostrando que o monitoramento acústico pode ser um complemento ou alternativo ao método visual, aumento o número de detecções e maximizando o esforço, possibilitando o aumento do número de informações sobre cetáceos.

Palavras-chave: Cetáceos. Bioacústica. Odontocetos. Matriz de arrasto. Monitoramento acústico passivo

ABSTRACT

Cetaceans have great biological importance, and in view of the growth of anthropogenic activities that affect, or the interest for their conservation has been occurring. For many species, no information is yet available to define which threat category can be found, so further research on cetacean information is needed. And this research is challenging due to the environment in which cetaceans live. Because most of your life is submerged, there is an inherent difficulty in accessing information about cetaceans. The most commonly used survey mode is visual observation in linear transects, but like every method, it has its advantages, such as the need for animals to be allowed on the surface for use, a need for sunlight, a suitable climate, a survey, and a rely on specialized staff and be costly. An acoustic search is an alternative that can find some of these problems. It does not depend on sunlight, can run 24, is more weather independent, is one of the few methods capable of detecting underwater animals, and is less so. Because users use or form a vast form in their ecology, it is possible to use this method for a range of studies with different intentions. Acoustic monitoring is also among the most commonly used methods for tracking cetaceans today, but few comparative studies between the two methods performed. Structures were compared as monitoring when executed simultaneously, and identified as cetacean detection, and how visual monitoring behaves in relation to time of day and sea state. The number of detections was generally higher in acoustic monitoring, but did not have a significant value ($p > 0.05$) in the permutation test. The acoustic method allowed to detect detections at night, which made it impossible to see because of the lack of light and had a greater number of detections when the sea state was higher. The results are as expected, showing that acoustic monitoring can be a complement or an alternative method to visual, increase the number of detections and maximize effort, enable the increase of information about cetaceans.

Keywords: cetaceans. Bioacoustics. Odontocetes. towed array. passive acoustic monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Mapa 1 -	Mapa da área de estudo, do Chuí (RS) a Cabo Frio (RJ), com representação dos transectos seguidos em cada talude.	17
Figura 1 -	Matriz de arrasto de três elementos, medindo 300m	20
Figura 2 -	Representação do funcionamento de uma matriz de arrasto de três elementos para captação de sons de cetáceos.	20
Figura 3 -	Representação de clicks e <i>burst</i> de cetáceos	22
Figura 4 -	Representação de assobio de cetáceos.	23
Gráfico 1 -	Gráfico de registros visuais e acústicos que tiveram <i>match</i> ou foram independentes.	23
Gráfico 2 -	Gráfico de registros visuais e acústicos relacionados ao estado de mar.	24
Gráfico 3 -	Gráfico de registros visuais e acústicos relacionados ao período do dia.	24
Mapa 2 -	Localização dos registros de odontocetos, quando estes foram acústicos simultâneos ao visual ou exclusivamente acústico, no talude do Atlântico Sul, separados por símbolos.	26

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Valor de p para comparação do número de registros visuais e acústicos em cada estado de mar. 25
- Tabela 2** – Lista de espécies encontradas por detecção acústica no Oceano Atlântico Sul. 25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
1.1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	ÁREA DE ESTUDO	17
3.2	COLETA DE DADOS	18
3.2.1	Registros visuais	18
3.2.2	Registros acústicos	19
3.3	ANÁLISE DE DADOS	20
4	RESULTADOS	22
5	DISCUSSÃO	28
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os cetáceos (infraordem Cetacea, Brisson, 1762) são os mamíferos mais bem adaptados ao meio exclusivamente aquático, presentes em praticamente todos os habitats de oceanos de polo a polo, em zonas neríticas sobre a plataforma continental, regiões oceânicas e rios, (e.g. BALLANCE, 2009; LODI; BOROBIA, 2013; ZERBINI et al., 2004). Estão divididos em dois grupos vivos: Mysticetos (baleias de barbatana – 14 espécies) e Odontocetos (baleias com dentes e golfinhos – 75 espécies); os representantes do grupo Archeoceti estão todos extintos (COMMITTEE ON TAXONOMY, 2019; JEFFERSON et al., 2011). Algumas espécies são cosmopolitas e outras são endêmicas (LODI; BOROBIA, 2013). Um total de 47 espécies estão presentes em ambientes aquáticos do Brasil (CYPRIANO-SOUZA et al., 2017; SANTOS et al., 2010). Odontocetos possuem dentes, com homodontia, utilizados para captura de presas individuais, enquanto mysticetos possuem placas de queratina suspensas no céu da boca e realizam filtragem de zooplâncton ou pequenos peixes (AU, 2000; BANNISTER, 2009; JEFFERSON, 2011; LODI; BOROBIA, 2013; VALLARTA HERNÁNDEZ, 2009). Também existem diferenças no orifício de respiração (que é um só nos odontocetos), na simetria do crânio e na articulação de costelas com o externo (BANNISTER, 2009). Hipoteticamente todos os odontocetos são capazes de ecolocalização (produzir sons especializados e processar os ecos recebidos para navegação e encontrar presas, evitar predadores e entre outros), embora se tenha confirmado experimentalmente para somente algumas espécies em cativeiro (DUDZINSKI et al., 2009; JEFFERSON et al., 2011).

Os mysticetos realizam algumas das mais longas migrações, indo no verão para águas frias dos polos para se alimentar e no inverno para águas tropicais para acasalamento e procriação e apesar de algumas aproximações com a costa de algumas espécies, a maior parte da vida ocorre em oceanos profundos (BANNISTER, 2009; INSTITUTO..., 2005; JEFFERSON, 2011; DE CALAZANS, 2011); geralmente ocorrem em grupos menores que odontocetos e com organização mais simples (BANNISTER, 2009; JEFFERSON et al., 2011). Enquanto odontocetos não costumam ter uma migração sazonal tão grande, com exceção do cachalote que tem movimentação em grande escala; outros tem migrações menores seguindo movimentos de presas ou algumas mudanças sazonais de distribuição (BJØRGE, 2012; HOOKER, 2009).

Os cetáceos são espécies importantes ecologicamente com influência na dinâmica do ecossistema, tanto em processos *top-down* quanto *bottom-up* (AGUAYO-LOBO, 1999;

BALLANCE, 2009; FÉLIX, 2014). São sentinelas do oceano, servindo como indicadores de saúde do habitat onde estão presentes (ANDRIOLO et al., 2018; LODI; BOROBIA, 2013). Algumas espécies são predadores de topo de cadeia, mantendo o equilíbrio das populações, outras são consumidoras secundárias que consomem toneladas de espécies herbívoras tendo impacto no ecossistema, são recicladoras de nutrientes ao consumirem biomassa e liberarem nuvens fecais cheias de nitrogênio, de ferro e de outros elementos na superfície, desta forma estimulam a produtividade primária no oceano, adicionando nutrientes que não apareceriam de outra forma, não fosse pelo hábito de se alimentarem em grandes profundidades ou migrarem entre áreas de alimentação e reprodução (BALLANCE, 2009; LODI; BOROBIA, 2013; PÍRIZ, 2019; RATNARAJAH et al., 2014; DE CALAZANS, 2011). Além disso, suas carcaças são uma importante fonte de matéria orgânica, servem de alimento e abrigo para várias outras espécies (BALLANCE, 2009; BANNISTER, 2009; LODI; BOROBIA, 2013). Também possuem relação comensal ou de parasitismo com diferentes espécies, sendo algumas dependentes destes em todo o ciclo de vida (BALLANCE, 2009). São consideradas espécies guarda-chuva para a conservação, ou seja, a proteção a eles garante a proteção a várias outras espécies por serem animais com grandes áreas de vida (ROBERGE; ANGELSTAM, 2004). Os misticetos são animais ícones para conservação pelo apelo populacional, por serem carismáticos (LODI; BOROBIA, 2013; LODI; TARDIN, 2018; REEVES, 2003).

Podendo a água ser até 800 vezes mais densa que o ar, a morfologia, locomoção e tamanho dos cetáceos possuem adaptações únicas a este ambiente (BALLANCE, 2009). Considerado o grupo de mamíferos mais derivado (com exceção talvez dos morcegos), com evolução a partir de ancestrais terrestres e adaptados à vida na água sem precisar de acesso à terra firme (JEFFERSON, 2011), os cetáceos possuem sistema nervoso muito desenvolvido, estando entre os animais mais inteligentes, com formas complexas de comunicação que incluem dialetos regionais e alto grau de aprendizagem, com comportamento social sofisticado, estando entre os poucos grupos que possuem cultura (FOX et al., 2017; LODI; BOROBIA, 2013; MARINO et al., 2007).

Devido a evolução na água, ocorreram modificações nos sentidos dos cetáceos, que os tornaram mais adequados a este habitat. Como sua respiração diferenciada, subir à superfície, que restringiu o olfato destes animais menos útil no ambiente aquático. Os respiradouros se mantem fechados, exceto durante a respiração. a luminosidade limitada na água, diminuiu a necessidade de visão, apesar de possuírem exibições visuais, como comportamentos, cores e características morfológicas; as papilas gustativas possuem sensibilidade à acidez, ao doce, ao

amargo e ao salgado; no que tange à resposta tátil há o contato suave entre co-específicos se acariciando, com contato frequente, ou aceitando carícias humanas, mas não há evidência de higienização entre mãe e filhote; o toque também ajuda a remover pele morta, e o fluxo de água os ajudam a identificar a velocidade ou profundidade (AU, 2000; DUDZINSKI et al., 2009).

A comunicação entre cetáceos ocorre principalmente com a produção de sons, por viverem em um ambiente onde a luz somente penetra nas primeiras dezenas de metros, mesmo em águas límpidas, tendo assim luminosidade limitada, e por, além disso, costumarem viver principalmente em águas mais produtivas e turvas, ademais alguns podem mergulhar até profundidades onde a luz é ausente (AU, 2000; GORDON; TYACK, 2002; LODI; BOROBIÁ, 2013; SOUSA-LIMA, 2013). Os sons são usados para forrageio, seleção de presas, detecção de obstáculos (KELLOGG, 1995; LODI; BOROBIÁ, 2013), além de relacionamentos sociais de acasalamento (FRANKEL et al., 1995), e identificação individual (KING; JANIK, 2013). Odontocetos também utilizam som para ecolocalização (BALLANCE, 2009; CRANFORD, 2000; ZIMMER, 2011). O papel dos sons produzidos pelos golfinhos em sua ecologia é grande devido a sua abundância e variedade (SANTOS et al., 2005). A água é um ambiente propício para comunicação sonora e todos os cetáceos possuem audição sensível, sendo a maioria muito vocal (ANDRIOLO et al., 2018; GORDON; TYACK, 2012). A velocidade do som na água chega a 1.500m/s, ou seja, mais de 4 vezes que no ar, o que, somado a baixa visibilidade, torna a água um ambiente propício para comunicação sonora (AU, 2000; LODI; BOROBIÁ, 2013). Cetáceos usam vários tipos de sinais, com faixa de frequência desde 15Hz, usada pela baleia azul por exemplo, até mais de 100kHz emitidos por alguns golfinhos; variando ainda de sons que duram 30 segundos até outros mais rápidos de milissegundos (AU, 2000; GORDON; TYACK, 2002).

O grupo emite tipos diferentes de sons, que são divididos entre sons pulsados e sons tonais (AU, 2000; DUDZINSKI et al., 2009). Os sons pulsados podem ser divididos em trens de pulso (*clicks*) ou sons de explosão (*burst*), sendo os cliques usados principalmente para ecolocalização. Sons pulsados tem frequências menores e viajam mais longe que assobios. Em odontocetos, alguns sons pulsados são usados para ecolocalização, outros tem sons sociais. Sons tonais são assobios que parecem ter função somente de comunicação, mas não são produzidos em todos as espécies. Existem chamados estereotipados específicos de espécies (chamados em orcas e codas em cachalotes), incluindo transmissão cultural (DUDZINSKI et al., 2009). Odontocetos são divididos entre os que produzem cliques e apitos tonais e os que produzem apenas cliques (GORDON; TYACK, 2002).

Esses sons citados acima são vocalizações produzidas pela passagem de ar através de órgãos de produção sonora. Porém cetáceos também produzem sons não vocais, como ao bater nadadeiras ou cauda na superfície água, saltos, barulhos causados pelas bolhas, sendo alguns desses sons são propositais e outros não (DUDZINSKI et al., 2009; GORDON; TYACK, 2002).

1.1 Introdução

Os mamíferos marinhos em geral são vulneráveis devido à sua estratégia reprodutiva K, em que suas taxas de aumento intrínsecas são baixas porque amadurecem tardiamente, têm uma única prole por episódio reprodutivo com baixas taxas de mortalidade natural, de modo que o recrutamento é fortemente restrito (PERRIN, 2002). Eles são vulneráveis à interferência humana e entre as atividades antropogênicas que os afetam estão interações com pesca (emalhe), capturas acidentais ou intencionais, exploração de óleo de gás, colisões com embarcações, poluição química e sonora, pesca de espécies consumidas por odontocetos, perda de habitat e mudanças climáticas (INSTITUTO..., 2005; FAIS et al., 2016; JEWEL et al., 2012; LODI; BOROBIA, 2013). Os conhecimentos necessários para definir o *status* de conservação de muitas espécies ainda são deficientes (Data deficient – DD.) (IUCN, 2019).

O monitoramento de cetáceos pode nos dar informações sobre seus hábitos, comportamentos, abundância e distribuição, para que o manejo marinho ocorra de forma a poupar essas espécies de eventuais danos. A distribuição latitudinal no Brasil é conhecida, mas ainda faltam informações de variação espaciais e dos fatores que afetam a distribuição, movimentação e sazonalidade (DI TULLIO et al., 2016; SANTOS et al., 2019 ZERBINI, 2004). O hábito aquático dos cetáceos, os longos mergulhos de algumas espécies, e sua grande mobilidade dificultam seu monitoramento, por estarem em um ambiente pouco acessível, principalmente durante a migração quando os locais e movimentos são menos previsíveis (LODI; BOROBIA, 2013; RISCH et al., 2014; SOUSA-LIMA, 2013). Além das restrições políticas e legais ao pesquisar espécies protegidas (BALLANCE, 2009). Há dificuldade de coletar dados de distribuição em grandes períodos ou extensões no meio marinho, devido a alto custo e clima, sendo, em alguns locais, até impossível durante o inverno (BURHAM et al., 2016). Esses animais passam 90% do tempo submersos, em ambientes as vezes remotos ou severos, tornando seu monitoramento desafiador (READ, 2009).

Alguns métodos são utilizados mais frequentemente para o monitoramento de cetáceos. Todos os métodos têm suas vantagens e desvantagens e nenhum é desprovido de erros. Parte dos dados obtidos ainda vem de plataformas de pesquisa de petróleo e gás, e não são padronizados, nem possuem métodos de amostragem ou pesquisadores experientes (DI TULLIO, 2016; PARENTE et al., 2007). Para espécies costeiras a acessibilidade é maior, enquanto para espécies pelágicas o custo associado é maior e a logística mais complicada, e geralmente as pesquisas são feitas de forma oportunística em embarcações turísticas, mercantes ou cruzeiros oceanográficos não dedicados (DE CALAZANS, 2011).

Monitoramento visual: é o método mais utilizado, onde a área de estudo é amostrada visualmente da plataforma de pesquisa e feito em embarcações seguindo principalmente transectos lineares, funcionando bem para espécies facilmente detectáveis e dispersas, (BUCKLAND et al., 2001; BUCKLAND; YORK, 2009; HAMMOND, 2002), permitindo obtenção de estimativas de densidade e abundância (DE CALAZANS, 2011). Este método pode ser aplicado usando desde lanchas até navios oceanográficos. A altura da plataforma de observação também é variável. Porém, a observação de cetáceos depende da disponibilidade visual dos mesmos, dependendo dos momentos em que eles vêm até a superfície, e a probabilidade de detecção diminui com a distância do animal ao transecto (HAMMOND, 2012; WARD et al., 2012). Também é afetada por fatores como luminosidade, clima, e estado do mar (escala Beaufort, que considera a velocidade do vento) (NIELSEN; MOHL, 2006). Esses fatores podem prejudicar ou impedir a observação, fazendo com que só uma fração dos animais seja observada (MELLINGER; BARLOW, 2003). Também necessita de observadores treinados em identificação de cetáceos (NIELSEN; MØHL, 2006), além dessas pesquisas serem custosas, trabalhosas, limitadas em cobertura espacial e temporal (WARD et al., 2012). Dependem da quantidade de observadores, da velocidade de plataforma utilizada, altura dos olhos do observador e experiência em detectar animais, da obtenção de medidas precisas de ângulo e distância, estimativa de tamanho de grupo, desenho dos transectos, animais disponíveis, espécies mais fáceis de ouvir do que ver (EVANS; HAMMOND, 2004; HAMMOND, 2002; ZIMMER, 2011). Por outro lado, tem a vantagem da proximidade com o animal possibilitando reconhecer mais facilmente diferentes espécies e contar números diretamente (AKAMATSU, 2001). A velocidade baixa das embarcações também possibilita detectar indivíduos que exibem mergulhos mais longos (PETROBRÁS, 2018). O monitoramento também pode ser feito em aeronaves ao longo de linhas de transecção,

apresentando a vantagem de cobrir áreas mais extensas em menor tempo porem apresentam significativo risco de segurança (PETROBRÁS, 2018; WARD et al., 2012).

Monitoramento acústico: Devido ao vasto uso de sons pelos cetáceos, é possível utilizar bioacústica no seu monitoramento, de forma alternativa e muito eficaz (AKAMATSU et al., 2001; RAYMENT et al., 2009). O método utiliza-se hidrofones (microfone subaquático) para se registrar os sons embaixo da água. O uso de monitoramento acústico subaquático promove maior entendimento da biologia, comportamento e ecologia animal (ANDRIOLO et al., 2018). Desenvolvimento de gravadores fixos de som subaquáticos na década de 90 reduziu os custos para monitorar sons de mamíferos marinhos por longos períodos de tempo (SOUSA-LIMA, 2013). O monitoramento acústico pode ser feito de forma ativa ou passiva. No primeiro, é transmitido um som e o eco de retorno é analisado (MELLINGER et al., 2007; ZIMMER, 2011). No passivo, o instrumento não produz nenhum som e somente captura sons ao redor (BARLOW; GINISER, 2006; MELLINGER et al., 2007).

O monitoramento acústico passivo (PAM) tem a vantagem de não interferir no comportamento dos animais se for feito de forma adequada e possui dispositivos que podem ser implantados simultaneamente em vários locais por longos períodos, é um dos únicos métodos que permitem o estudo das espécies quando submersos (HENEHAN et al., 2016; ZIMMER, 2011). Para cetáceos, o PAM é mais utilizado que a forma ativa (MELLINGER et al., 2007).

O monitoramento acústico permite detectar animais que não estão disponíveis visualmente (BARLOW; GINISER, 2006; RAYMENT et al., 2009). Permite ainda ser operado automaticamente e com limiar de detecção idêntico ao longo do tempo, além de lidar com algumas dificuldades relacionadas ao monitoramento visual noturno e outras condições que impediriam avistamentos (AKAMATSU et al., 2001; JEWELL et al., 2012; MELLINGER et al., 2007).

Em relação ao estado de mar (escala de Beaufort), os registros acústicos costumam ser mais vantajosos porque vocalizações são mais independentes das condições do mar, principalmente para espécies que vocalizam muito (EVANS; HAMMOND, 2004). Os hidrofones fixos são úteis para cobrir uma grande quantidade de tempo e são menos dispendiosos, além de serem um método mais silencioso e com menos uso de carbono, enquanto os hidrofones rebocados são melhores para cobrir grandes áreas de amostra e permitem o

monitoramento móvel e em tempo real podendo ser combinados com o monitoramento visual (HENEHAN, 2016; MELLINGER et al., 2007; VON BENDA-BECKMANN et al., 2010).

Matrizes acústicas também podem ser usadas para definir a vulnerabilidade de cetáceos aos efeitos de poluição sonora subaquática antropogênica, gerando medidas de mitigação para perturbação e potencial de mascaramento acústico (BURHAM et al., 2016), logo além de importante método de pesquisa, pode ser empregado na mitigação possíveis danos antropogênicos (ZIMMER, 2011). As desvantagens do método acústico estão na necessidade de gerenciar o cabo pesado do hidrofones, na perda de manobrabilidade e velocidade da embarcação, no risco de danos a hélices, na necessidade de uma equipe experiente (EVANS; HAMMOND, 2004; NIELSEN; MOLH, 2006). O modo detecta os animais que estão vocalizando, não conseguindo detectar animais que estão silenciosos durante atividades específicas ou determinadas épocas do ano (BARLOW; GINISER, 2006; EVANS; HAMMOND, 2004; HENEHAN, 2016). Efeito dos ruídos ocorrem, bem como o fluxo de água quando esta passa pelo hidrofone, ainda que os efeitos de mascaramento sonoro possam ser minimizados com embarcações mais silenciosas e matrizes com cabos mais longos (HAMMOND, 2002; NIELSEN; MOLH, 2006). Como em geral, ruídos são principalmente de baixa frequência, se os registros são de frequência alta, pode haver filtragem do som (HAMMOND, 2002; SAYIGH et al., 1993).

PAM possibilita vários estudos, como monitoramento de populações (THOMPSON et al., 1998), abundância e densidade, migração, modelos de habitat, comunicação (BARLOW; TAYLOR, 2005; BURHAM et al., 2016; MARQUES et al., 2009; MELLINGER; BARLOW, 2003; MORETI et al., 2010; ZIMMER, 2011). Esta técnica permite coleta de dados sobre vocalizações, distribuição, abundância relativa e novos táxons (BALLANCE, 2009). O PAM pode ser usado para investigar a distribuição espacial e sazonal de espécies pelágicas, difíceis de monitorar visualmente, além de poder identificar corredores migratórios e períodos de migração; pode também delinear habitats importantes (RISCH et al., 2014). Para modelos do uso do habitat, o PAM pode auxiliar numa boa representação de presença e atividade de cetáceos, melhorando a precisão do modelo, que seriam prejudicados pela falta de dados noturnos ou em condições climáticas adversas (SOLDEVILLA, 2011).

O método acústico passivo vem sendo muito utilizado para complementar o método visual (RAYMENT et al., 2011), e estes métodos têm vantagens e desvantagens e, quando

combinados, permitem um monitoramento mais informativo e mais preciso (ANDRIOLO et al., 2018; HENEEHAN et al., 2016; RISCH et al., 2014; SOLDEVILLA et al., 2011).

Em algumas pesquisas visuais e acústicas realizadas simultaneamente, o método acústico detectou mais cetáceos que o visual (BARLOW; TAYLOR, 2005; MCDONALD; MOORE, 2002; RANKIN et al., 2007), principalmente quando a espécie é críptica ou de baixa densidade (RAYMENT et al., 2011). O alcance acústico também é maior que o visual e pode acessar informações quanto a interações co específicas e interespecíficas que não podem ser vistas na superfície (BURHAM et al., 2016; MELLINGER; BARLOW 2003).

A identificação de espécies é possível, porém são necessários muitos registros com confirmação visual da espécie alvo para poder vincular a vocalização a esta espécie, pois pode haver contaminação de sons de espécies não visíveis no momento (GORDON; TYACK, 2002). Pesquisas acústicas e visuais simultâneas foram realizadas porém nunca na costa brasileira, e isso pode nos fornecer novas informações sobre a ecologia populacional dos cetáceos, além de mostrar como é a relação dos dois métodos e quais seriam as limitações da implementação de um método acústico nesse local (por exemplo: Akamatsu et al., 2001; Kimura et al., 2009; Oleson et al., 2007; Richman et al., 2014).

2 OBJETIVOS

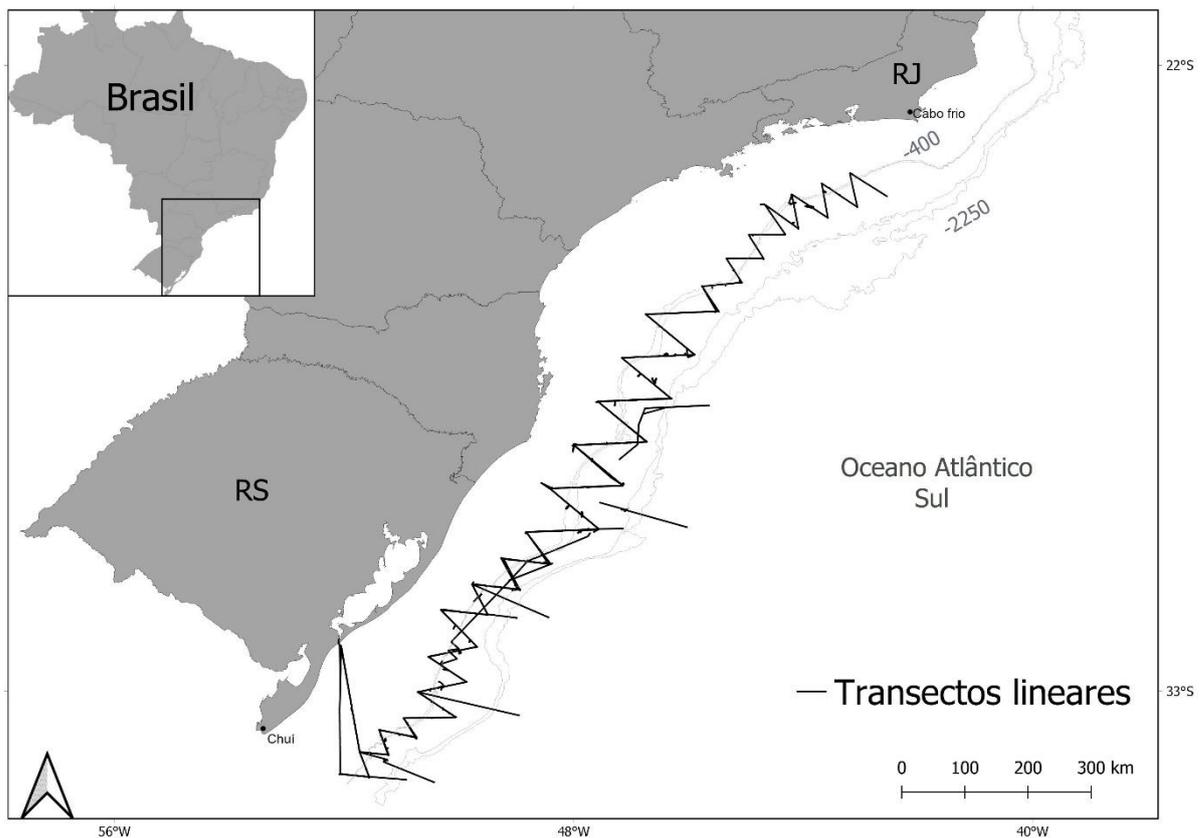
Comparar se há diferença na eficiência do monitoramento acústico em relação ao visual quando realizados simultaneamente e identificar sua eficiência na detecção de cetáceos, bem como identificar como os fatores período do dia e estado de mar afetam os registros acústicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Os registros acústicos e visuais foram coletados na região da quebra da plataforma continental externa e talude sul do Brasil, entre Chuí, RS (33°41'S, 53°27'O) e Cabo Frio, RJ (22°52'S, 42°01'O) (mapa 1).

Mapa 1 - mapa da área de estudo, do Chuí (RS) a Cabo Frio (RJ), com representação dos transectos seguidos em cada talude.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A região do talude Sul brasileiro inclui os estados Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nessa área se localizam parcialmente as bacias de Pelotas e de Santos. A região apresenta uma zona de convergência tropical do Atlântico Sul com encontro de duas correntes marinhas distintas – Brasil (quente) e Malvinas (fria), (o que pode ter um grande efeito sobre a fauna marinha (BUCKUP; THOMÉ, 1962; LEÃO et al., 2009; SANTOS, 2009; SICILIANO, 2001). A circulação superficial se dá por um fluxo de águas frias

para o norte no sul, e um fluxo de águas quentes para o sul no norte; enquanto a circulação profunda consiste em fluxos opostos das correntes Malvinas e Brasil (GORDON, 1989; PIOLA et al., 2000; PALMA et al., 2008). A variação de temperatura da água é forte no verão e fraca no inverno e distribuição de salinidade indica que há variabilidade sazonal na circulação superficial (HAIMOVICI et al., 2009; MATANO et al., 2010; PIOLA et al., 2000). A transição entre as águas se dá em cerca de 33°S, misturando a água salgada e quente do Norte com a fresca e fria da parte sul (PIOLA et al., 2000).

Na bacia de Santos, localizada no sudeste da margem continental brasileira, entre os paralelos 23° e 28° sul, compreendendo os litorais dos estados Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, e sendo limitada ao sul pela bacia de Pelotas (MOREIRA et al., 2007; MACHADO, 2010; CHANG et al., 2008). A corrente do Brasil possui águas com temperaturas maiores que 20°C e salinidade maior que 36,4.

A bacia de Pelotas possui temperatura superficial da água entre 17° e 21° C, estando sob influência da corrente do Brasil na primavera e da corrente das Malvinas no verão (SICILIANO, 2001). Corresponde a margem continental sul-americana (MOREIRA et al., 2007), no extremo sul do continente, fazendo fronteira com águas territoriais uruguaias (MOHRIAK, 2003).

3.2 Coleta de dados

O monitoramento acústico foi conduzido em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), de forma contínua a bordo do navio oceanográfico R/V Atlântico Sul, durante cinco cruzeiros do Projeto de Monitoramento Visual de Mamíferos Marinhos (Projeto Talude), seguindo transectos lineares em zig-zag, durante os anos de 2013 a 2015 (outono de 2013 e 2015 e primavera de 2014).

3.2.1 Registros visuais

Os registros visuais foram feitos por pesquisadores treinados para detecção de cetáceos dispostos da seguinte maneira no navio: dois observadores no tijuá do navio (altura

aproximada de 8,6 metros), um a bombordo e outro a boreste, fazendo uma varredura desde a proa até 90° de seu respectivo bordo, utilizando-se de um binóculo reticulado Fujinon® 7x50 ou olhos nus. Um pesquisador assistente, auxiliava na identificação das espécies e nas estimativas do tamanho de grupo; e um anotador, utilizando o software WinCruz®, registrava os dados de esforço (data, hora, coordenadas e escala Beaufort) e observação (como espécie observada e tamanho do grupo). O programa estava conectado ao sistema de navegação da embarcação. Seis a oito observadores treinados rotacionavam nas posições de observação a cada 30 minutos. O tamanho de grupo foi definido por consenso entre observador e assistente, e a identificação foi feita ao menor nível taxonômico possível (Conforme Di Tullio et al., 2016).

3.2.2 Registros acústicos

A obtenção de sinais acústicos foi feita a uma velocidade de aproximadamente 8 a 10 nós, desde 5 horas e trinta minutos até 18 horas, e em casos oportunos durante o período noturno. As gravações foram feitas em estado de mar até o nível 6 na escala Beaufort.

Foram utilizados dois tipos de matrizes:

Outono de 2013: Uso de uma matriz de hidrofones (AUSER®) de 250 metros, com três elementos omnidirecionais equidistantes cinco metros e a mesma distância da extremidade, acoplada a um gravador digital Fostex® FR-S LE, com frequência de amostragem de 96kHz/24bits.

Primavera de 2014 e outono de 2015: matriz AUSER® composto por três elementos omnidirecionais distantes entre si cinco e três metros respectivamente, dispostos a 5 metros da extremidade de um cabo de 300 metros (figura 1). Tal configuração permitiu reduzir a influência do ruído ambiental e do navio nas gravações. Utilizado um gravador Fostex® FR-2 LE com frequência de amostragem de 96kHz/24bits e configurado com *High pass filter* (“passa alta”) de 0,499 Hz ou, alternativamente, os sinais foram transmitidos a uma placa digitalizadora Iotech® Personal Daq/3000 Series e gravados em disco rígido em formato “.wav”, com resposta de frequência de 100kHz/24 bits.

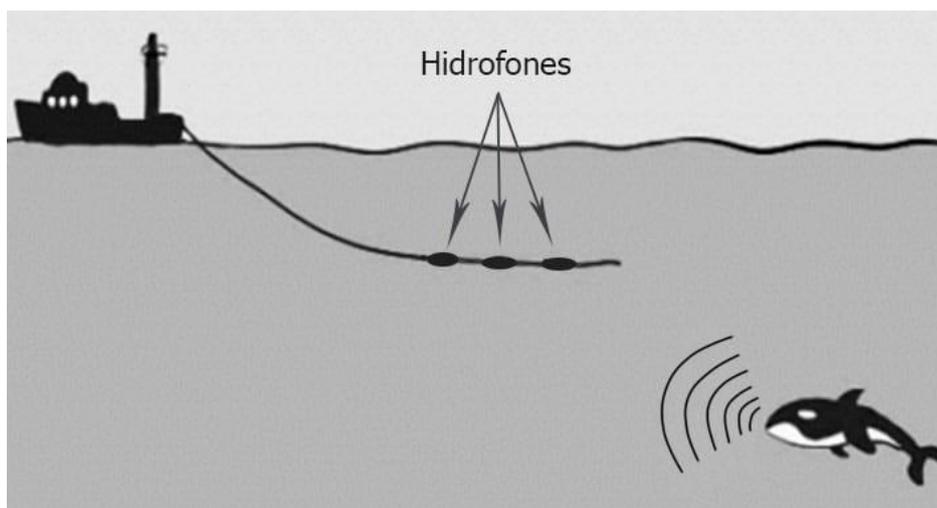
O funcionamento das matrizes de arrasto seguia o esquema da figura 2.

Figura 1 - Matriz de arrasto de 3 elementos, com 300m.



Fonte: Gustavo Miranda – reproduzido com permissão

Figura 2 - Representação esquemática do funcionamento de uma matriz de arrasto de 3 elementos para captação de sons de cetáceos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.3 Análise de dados

Os registros acústicos foram analisados visual e auralmente no software Raven Pro 1.5[®] (Cornell Laboratory of Ornithology, 2018) em busca de sinais acústicos de cetáceos. Esses sinais foram separados em blocos, caracterizados pela presença de vocalizações ininterruptas,

que incluíam quaisquer tipos de sinais reconhecidamente de cetáceos, onde para a finalização de um bloco e início de outro foi adotado um intervalo de silêncio com duração igual ou superior a cinco minutos para garantir que no próximo bloco os sinais seriam emitidos por outro indivíduo ou grupo. As ocorrências de vocalizações foram planilhadas e associadas às informações, como estado de mar, horário e as avistagens, referentes ao monitoramento visual disponíveis no Wincruz. No outono, foi considerado como dia o horário de 06 a 18h, e na primavera de 5 a 19h, seguindo a disponibilidade de luz solar. Após as 19h, foi considerado noite e o monitoramento acústico só foi utilizado de forma esporádica. O estado de mar foi considerado seguindo a escala Beaufort, que é uma escala de força de vento variando de 0 (calma) a 12 (furacão), correspondendo a intensidade do vento.

Foram considerados somente os registros acústicos e visuais identificados no período onde os dois operavam simultaneamente a fim de possibilitar uma comparação, a fim de avaliar possíveis diferenças entre estas duas formas de registro. Foram considerados como *match* (potencialmente o mesmo registro) quando o visual ocorria no mesmo período do acústico, ou quando havia no máximo cinco minutos de diferença entre os dois tipos de registros. Para a identificação da espécie emissora do sinal acústico, utilizou-se os dados das espécies identificadas visualmente e que compuseram os match's.

Foi realizado um teste de permutação no software estatístico R (Cornell Laboratory of Ornithology, NY 2019), para verificar a diferença entre os registros visuais e acústicos, onde a hipótese nula é de que os dados são significativamente iguais, e a hipótese um é que eles são diferentes. Também foi feito o mesmo teste para números de registros em cada estado de mar de um a seis para verificar se havia diferença entre estes.

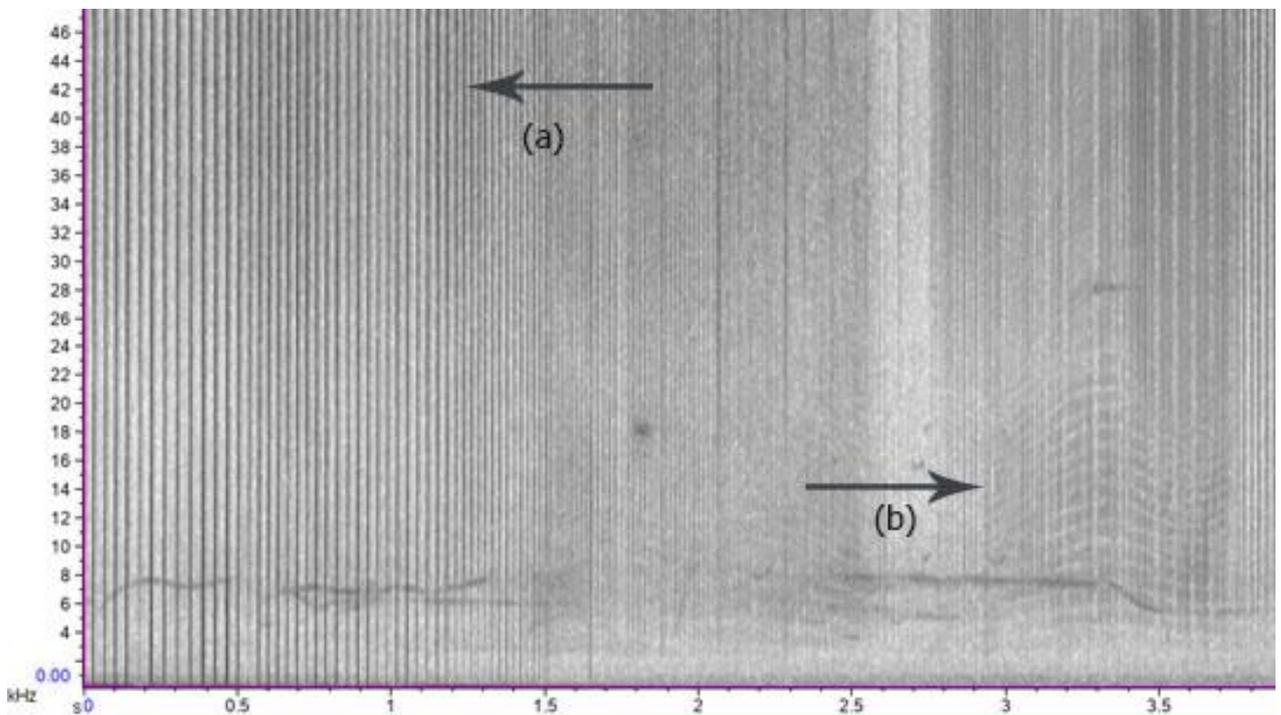
Os registros acústicos que não possuíam esforço visual ocorrendo simultaneamente foram analisados separadamente, divididos em dois grupos: (1) registros acústicos com informações das condições ambientais simultâneas ou com dados ambientais registrados em horário próximo, (2) registros acústicos sem informações ambientais correspondente ou aproximada. Uma vez que informações ambientais, particularmente, o estado do mar e horário do registro, estavam disponíveis estas foram relacionados ao registro acústico a fim de avaliar em que condição estes foram registrados.

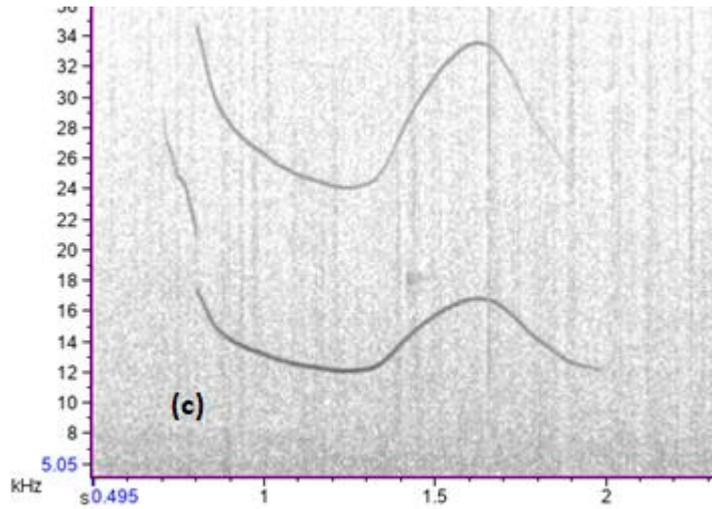
Os registros acústicos encontrados tanto no tempo de esforço acústico simultâneo ao visual quanto no esforço somente acústico foram plotados no software qGis, seguindo suas coordenadas geográficas para uma melhor visualização de onde ocorreram os registros.

4 RESULTADOS

Considerando o tempo de esforço visual e acústico simultâneo, ocorreram 174 horas de esforço. Foram encontrados 60 registros acústicos e 29 visuais. Na inspeção dos registros acústicos foram encontrados *clicks*, *bursts* (fig. 3) e assobios (fig. 4). Dos registros acústicos, 12 possuíram *match* com o visual e 48 foram independentes, ou seja, ocorreram sem que houvesse avistagem de algum cetáceo. O gráfico 1 mostra a quantidade dos *match's* e dos registros independentes em cada tipo de monitoramento.

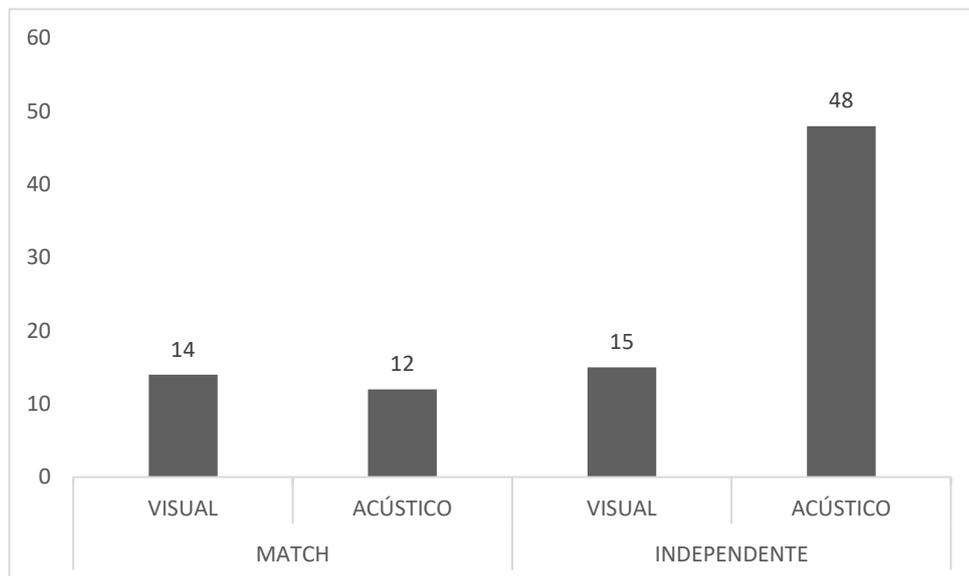
Figuras 3 e 4 - Representação espectral no software Raven® dos diferentes tipos de sinais acústicos produzidos por odontocetos no talude do Atlântico Sul: A) Cliques de ecolocalização; B) Sons pulsados explosivos (*bursts*); C) Assobios. O eixo y representa a frequência do sinal em kHz e o eixo x o tempo de duração em escala de segundos.





Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Gráfico 1 - Gráfico do número de registros visuais e acústicos de cetáceos que tiveram *match* entre si ou foram independentes (isto é, sem um registro oposto simultâneo), no talude do Atlântico Sul.

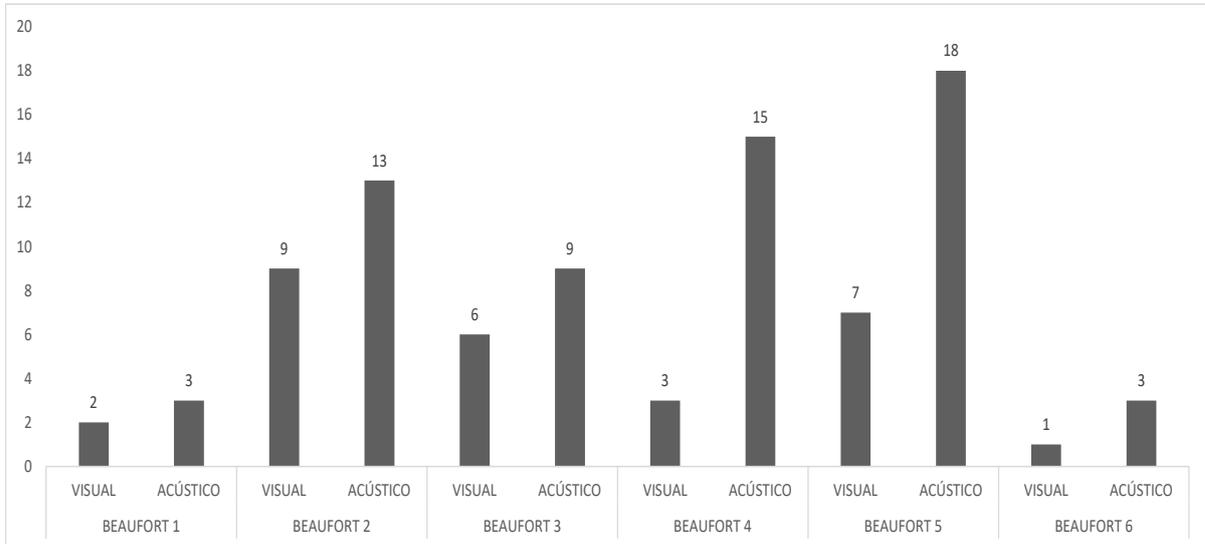


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Os registros acústicos foram relacionados a Beaufort e ao período (dia/noite) (gráficos 2 e 3). E houve um aumento da proporção de registros acústicos em relação as avistagens conforme o estado de mar aumentou. Durante o tempo simultâneo, houveram poucos registros acústicos noturnos porque o visual não é operado a noite, então o acústico também não foi muito utilizado, mas houve um único registro que teve foi acústico. O tempo de visual considerado

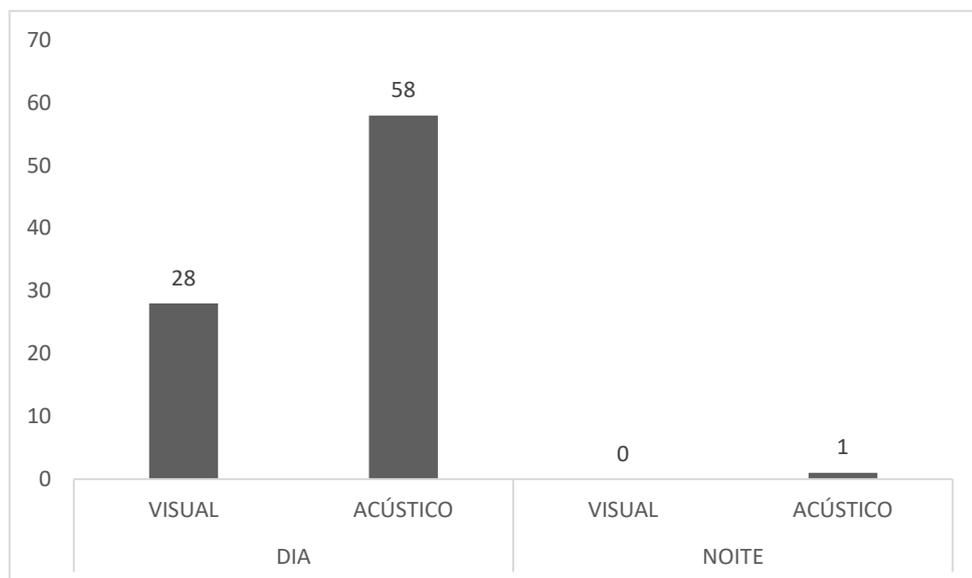
noturno ocorreu por ainda haver alguma disponibilidade de luz crepuscular devido a época do ano e por isso a pesquisa continuar sendo conduzida.

Gráfico 2: Gráfico do número de registros visuais e acústicos de odontocetos relacionados ao estado de mar (Beaufort), no talude do Atlântico Sul.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Gráfico 3: Gráfico de registros visuais e acústicos de odontocetos relacionados ao período do dia, no talude do Atlântico Sul.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

O teste de permutação para os registros nos diferentes estados de mar, em geral, não mostrou diferença nos valores, mas o estado de mar 4 possui um valor que mostra uma diferença significativa (tab. 1). Para o número total de registros, o valor de p foi de 0,07.

Tab. 1: Valor de p para comparação do número de registros visuais e acústicos em cada estado de mar.

ESTADO DE MAR	VALOR DE p
BEAUFORT 1	1
BEAUFORT 2	0.76
BEAUFORT 3	0.63
BEAUFORT 4	0.02
BEAUFORT 5	0.37
BEAUFORT 6	0.73

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Oito espécies de odontocetos foram registradas. Dos registros acústicos, 21 possuíam identificação (tab. 2). Um registro acústico possuía *match* com identificação visual de duas espécies ao mesmo tempo.

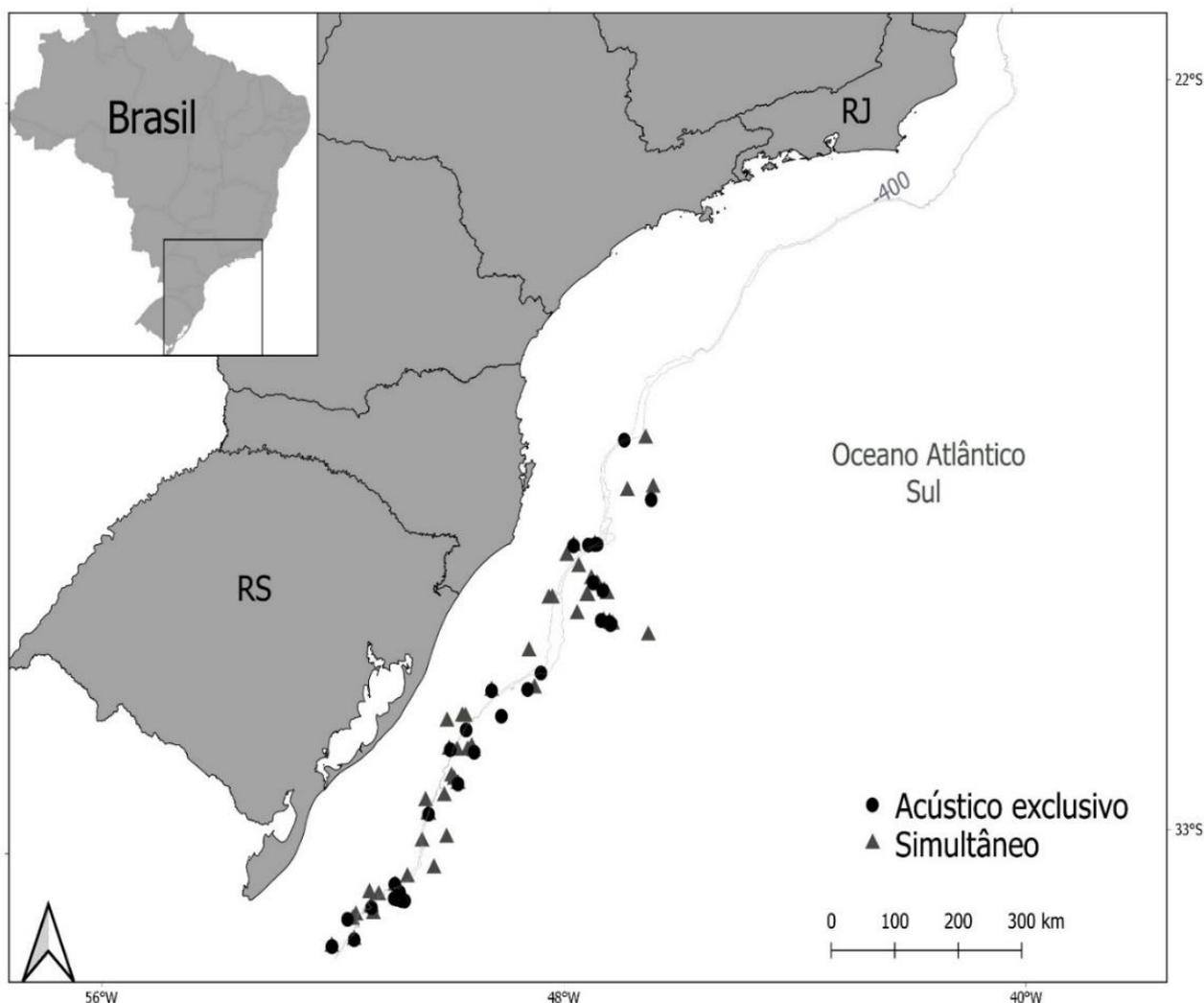
Tab. 2: Lista de espécies de odontocetos encontradas por detecção acústica, utilizando matriz de arrasto, no Oceano Atlântico Sul.

Espécie	Número de registros
<i>Delphinus delphis</i>	1
<i>Grampus griseus</i>	1
<i>Orcinus orca</i>	2
<i>Physeter macrocephalus</i>	8
<i>Stenella frontalis</i>	2
<i>Stenella longirostris</i>	2
<i>Steno bredanensis</i>	3
<i>Tursiops truncatus</i>	2
Não identificado	40

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A distribuição dos registros acústicos (mapa 2) foi regular e seguiu o mesmo padrão encontrado por Di Tulio et al. (2016) ao analisar as avistagens.

Mapa 2 - Localização dos registros de odontocetos, quando estes foram acústicos simultâneos ao visual ou exclusivamente acústico, no talude do Atlântico Sul, separados por símbolos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Os registros acústicos que ocorreram quando o visual não estava ocorrendo não foram usados para comparação. Esses registros foram analisados separadamente, como monitoramento exclusivamente acústico. Ocorrem 48 desses registros, sendo 11 durante a noite e 37 durante o dia. Destes, 37 possuíam dados relacionados de mesmo horário no Wincruz, e foram relacionados ao estado de mar, se distribuindo similarmente entre os estados de mar 2 a 5. Dos 11 que não possuíam registro relacionado no Wincruz, 6 foram noturnos, ocorrendo de forma

oportuna quando o equipamento para monitoramento visual e coleta de informações não estava ligado.

5 DISCUSSÃO

Os registros acústicos ocorreram continuamente enquanto o animal ou grupo estava vocalizando numa distância captável pelo equipamento, então alguns registros podem durar até mais de uma hora. Os registros visuais, por sua vez, ocorreram de forma pontual, quando o animal ou grupo foi avistado, fazendo com que possa existir mais de uma avistagem relacionada a um único encontro acústico. A baixa correlação entre registros acústicos e visuais mostra que os métodos podem ser complementares, e seu uso em conjunto fornece mais informações do que se fossem realizadas separadamente. O monitoramento visual teve um número semelhante de registros com match e registros independentes, e esses registros independentes ocorrem pela vocalização de cetáceos ser voluntária e não ocorrer em todos os momentos em que estes estão sendo observados. O número maior de registros acústicos sem match aponta a possibilidade de aumentar a quantidade de detecções com o uso desse método, assim a associação de esforço acústico e visual pode ampliar os resultados do monitoramento, ao evitar perda de tempo de esforço a noite ou em mau tempo (ANDRIOLO et al., 2018). É comum que em estudos comparativos, o monitoramento acústico tenha mais registros que o visual indicando tanto a possibilidade do uso em conjunto, quanto do uso do acústico somente (ver em Barlow et al., 2013; Schorr et al., 2014; Whitehead, 2002; Yack et al., 2013). E que o monitoramento acústico aumente o número de registros (PYĆ, 2016). Então os resultados vão de encontro com o esperado para o monitoramento acústico, onde o uso deste pode aumentar o número de registros.

As espécies encontradas nos registros foram todos odontocetos devido ao efeito de mascaramento produzido pelo ruído do motor, que cobre principalmente as bandas de baixa frequência. Embora a identificação de espécies seja possível através dos sinais acústicos que produzem, o processamento analítico desses sinais é necessário para a classificação correspondente das espécies, e é necessário possuir o repertório acústico de uma espécie para que ela possa ser reconhecida (STIMPERT et AL., 2011; VAN PARIJS et al., 2009). Essa abordagem já está sendo conduzida para o presente conjunto de dados (ver Amorim et al., 2019), no entanto, o número de amostras ainda é pequeno e não abrange todas as espécies. Assim, neste estudo, somente foi correlacionado o encontro visual ao acústico para se estimar qual a espécie presente. Mas pode haver sobreposição de sons emitidos por espécies não avistadas (GORDON; TYACK, 2012).

Em relação ao período, existe diferença de horário por talude por terem ocorridos em estações diferentes (outono e primavera). Como o estudo estava em uma plataforma não dedicada ao uso de PAM, este ocorreu principalmente durante o dia - quando estava sendo realizada pesquisa visual - ocorrendo esporadicamente à noite, por isso não existem muitos registros a noite. No entanto, o PAM pode ser conduzido por 24 horas sob condições apropriadas. Os registros noturnos de esforço acústico exclusivo demonstram a possibilidade do uso de PAM durante a noite.

O estado de mar é um dos fatores que mais afeta a pesquisa visual. Quanto mais o mar fica agitado, mais difícil fica para detectar cetáceos visualmente. Ao comparar os registros visuais e acústicos ao estado de mar, vemos que em geral com o aumento do estado de mar, há o aumento dos registros acústicos em detrimento dos visuais. Isso pode ser explicado pela já citada dificuldade em avistagens de animais quando o mar está mais agitado. E mostra uma das vantagens de se utilizar o monitoramento acústico.

Em geral, o teste de permutação para os diferentes estados de mar mostrou diferenças não significativas, porém o estado de mar 4 mostra diferença. O valor de p para o número total de registros acústico e visuais também mostra uma forte tendência para mostrar uma diferença entre o número dos registros, apontando um possível aumento do número de registros quando se é utilizado o monitoramento acústico. Devido ao método de monitoramento acústico com matriz de arrasto ainda estar sendo desenvolvido e ajustado para funcionar da melhor forma possível, durante a época da pesquisa, houve uma grande variação entre as repetições utilizadas no teste, causadas por mau funcionamento do equipamento, que podem estar afetando o resultado final.

O tempo de esforço visual sem esforço acústico simultâneo ocorreu porque os dados foram coletados em uma plataforma não dedicada para pesquisa acústica. Problemas logísticos e falha de equipamento geraram uma redução no número de registros comparáveis entre ambos os métodos. Aqui os registros visuais não foram analisados, mas seus resultados podem ser encontrados em Di Tulio et al., 2016.

Durante seu desenvolvimento, o PAM gera um conjunto de dados que nos mostra os resultados esperado em relação as suas potenciais vantagens, com possibilidade de uso noturno, um maior número de detecções em relação ao visual quando em Beaufort mais altos, e um maior número de detecções em geral. Em conjunto com o visual, o monitoramento acústico pode fornecer informações sobre os animais que estão muito distantes para serem identificados

(OSWALD et al., 2003). Além das condições climáticas e capacidade de detectar animais submersos, não disponíveis visualmente, o PAM também pode cobrir uma área maior com menos operadores, já que o hidrofone monitora uma área de 360°, e em geral tem um alcance de detecção maior do que o visual (PETROBRAS, 2018).

Os métodos visual e acústico atualmente estão entre os mais utilizados para monitorar cetáceos (VALLARTA HERNÁNDEZ, 2009). O PAM pode ser combinado a outros métodos de monitoramento, como o visual, preenchendo lacunas de tempo sem esforço, fornecendo, além de dados de identificação, dados de saúde do ecossistema e padrão de paisagem sonora (SPENCE, 2018). E vem se tornando cada vez mais importante no estudo de mamíferos marinhos enquanto novas tecnologias de monitoramento acústico passivo vem sendo desenvolvidas e testadas (KNOLL et al, 2016; YACK, 2013), as vezes em conjunto com pesquisas visuais, tanto em plataformas dedicadas quanto em plataformas de oportunidade (EVANS; HAMMOND, 2004). Nos últimos anos cresceu o interesse em superar limitações do monitoramento visual, assim um aumento do uso do PAM (VERFUSS, 2018) para detectar mamíferos marinhos ativos vocalmente, e podem operar de meses a anos continuamente, podendo fornecer até mesmo dados quase em tempo real (BAUMGARTNER et al., 2019; VERFUSS, 2018).

O crescente desenvolvimento de equipamentos eletrônicos baratos, computadores e análise numérica, facilitou o uso de PAM mesmo com orçamentos menores (ANDRÉ et al., 2011; VALLARTA HERNÁNDEZ, 2009), que pode fornecer mais informações sobre distribuição e abundância que o método visual (YACK, 2013). E tem se tornado essencial para detectar cetáceos embaixo da água ao produzir grandes quantidades de dados de boa qualidade de forma rápida (SPENCE, 2018; VERFUSS, 2018). Com melhorias recentes, o PAM pode se tornar cada vez mais útil no futuro, conforme os métodos de processamento e análise melhoram (SPENCE, 2018).

6 CONCLUSÃO

Segundo nossos dados e o teste usado, não foi encontrada a diferença esperada no número de registros entre os métodos visuais e acústicos. Porém o monitoramento acústico é complementar ao visual e, dependendo do objetivo, pode ser implementado sozinho. As suas desvantagens, como a dificuldade para identificação das espécies não avistadas, podem ser superadas com o desenvolvimento de algoritmos de classificação e identificação como já descrito em Amorim et al. 2019. Suas vantagens, como o aumento do número de registros, a possibilidade de uso em momentos em que não é possível utilizar outro método, e a capacidade de monitoramento subaquático são insuperáveis por outros métodos atuais. Com mais pesquisas e aprimoramento da técnica, é possível futuramente que o leque de possibilidades do monitoramento acústico aumente. E este vem se mostrando um ótimo método para entendimento da ecologia dos cetáceos, e para coletar uma grande quantidade de dados, podendo ajudar a suprir o déficit de informações existente atualmente para muitas espécies.

REFERÊNCIAS

- ACEVES-BUENO, Eréndira et al. The accuracy of citizen science data: a quantitative review. **The Bulletin of the Ecological Society of America**, v. 98, n. 4, p. 278-290, 2017.
- AGUAYO-LOBO, Anelio. Los cetáceos y sus perspectivas de conservación. **Estudios Oceanológicos**, v. 18, p. 35-43, 1999.
- AKAMATSU, Tomonari et al. Comparison between visual and passive acoustic detection of finless porpoises in the Yangtze River, China. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 109, n. 4, p. 1723-1727, 2001.
- AMORIM, Thiago Orion Simões et al. Integrative bioacoustics discrimination of eight delphinid species in the western South Atlantic Ocean. **PLoS one**, v. 14, n. 6, p. e0217977, 2019.
- ANDRÉ, Michel et al. Listening to the deep: live monitoring of ocean noise and cetacean acoustic signals. **Marine pollution bulletin**, v. 63, n. 1-4, p. 18-26, 2011.
- ANDRIOLO, Artur et al. Marine Mammal Bioacoustics Using Towed Array Systems in the Western South Atlantic Ocean. In: **Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America**. Springer, Cham, 2018. p. 113-147.
- AU, Whitlow WL. Hearing in whales and dolphins: An overview. In: **Hearing by whales and dolphins**. Springer, New York, NY, 2000. p. 1-42.
- BALLANCE, Lisa T. Cetacean ecology. In: PERRIN, William F.; WÜRSIG, Bernd; THEWISSEN, J. G. M. (Ed.). **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2009.
- BALMER, Brian C. et al. Advances in cetacean telemetry: A review of single-pin transmitter attachment techniques on small cetaceans and development of a new satellite-linked transmitter design. **Marine Mammal Science**, v. 30, n. 2, p. 656-673, 2014.
- BANNISTER, John L. Baleen whales (mysticetes). In: PERRIN, William F.; WÜRSIG, Bernd; THEWISSEN, J. G. M. (Ed.). **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2009.
- BARLOW, Jay; GISINER, Robert. Mitigating, monitoring and assessing the effects of anthropogenic sound on beaked whales. **Journal of Cetacean Research and Management**, v. 7, n. 3, p. 239-249, 2006.
- BARLOW, Jay; TAYLOR, Barbara L. Estimates of sperm whale abundance in the northeastern temperate Pacific from a combined acoustic and visual survey. **Marine Mammal Science**, v. 21, n. 3, p. 429-445, 2005.
- BAUMGARTNER, Mark F. et al. Persistent near real-time passive acoustic monitoring for baleen whales from a moored buoy: system description and evaluation. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 9, p. 1476-1489, 2019.
- BJØRGE, Arne. How persistent are marine mammal habitats in an ocean of variability?. In: **Marine Mammals**. Springer, Boston, MA, 2002. p. 63-91.
- BONNEY, Rick et al. Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. **BioScience**, v. 59, n. 11, p. 977-984, 2009.
- BUCKLAND, Stephen T. et al. Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations. 2001.

- BUCKLAND, Stephen T.; YORK, Anne E. Abundance estimation. In: PERRIN, William F.; WÜRSIG, Bernd; THEWISSEN, J. G. M. (Ed.). **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2009.
- BUCKUP, L.; THOMÉ, J. W. I campanha oceanográfica do Museu Rio-Grandense de Ciências Naturais. A viagem do “Pescal II” em julho de 1959. **Iheringia (Zoologia)**, v. 20, p. 1-42, 1962.
- BURHAM, R. E. et al. The combined use of visual and acoustic data collection techniques for winter killer whale (*Orcinus orca*) observations. **Global ecology and conservation**, v. 8, p. 24-30, 2016.
- CHANG, Hung Kiang et al. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2 suppl, p. 29-46, 2008.
- CLARK, Christopher W.; BROWN, Moira W.; CORKERON, Peter. Visual and acoustic surveys for North Atlantic right whales, *Eubalaena glacialis*, in Cape Cod Bay, Massachusetts, 2001–2005: Management implications. **Marine mammal science**, v. 26, n. 4, p. 837-854, 2010.
- COMMITTEE ON TAXONOMY. 2019. List of marine mammal species and subspecies. **Society for Marine Mammalogy**, www.marinemammalscience.org, consulted on 08/11/2019.”
- CONRAD, Cathy C.; HILCHEY, Krista G. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. **Environmental monitoring and assessment**, v. 176, n. 1-4, p. 273-291, 2011.
- CRANFORD, Ted W. In search of impulse sound sources in odontocetes. In: **Hearing by whales and dolphins**. Springer, New York, NY, 2000. p. 109-155.
- CYPRIANO-SOUZA, Ana Lúcia et al. Rare or cryptic? The first report of an Omura's whale (*Balaenoptera omurai*) in the South Atlantic Ocean. **Marine Mammal Science**, v. 33, n. 1, p. 80-95, 2017.
- DE CALAZANS, Danilo Koetz. *Estudos Oceanográficos: Do instrumental ao prático*. Editora Textos, 2011.
- DI TULLIO, Juliana Couto et al. Diversity and distribution patterns of cetaceans in the subtropical southwestern Atlantic outer continental shelf and slope. **PLoS one**, v. 11, n. 5, p. e0155841, 2016.
- DICKINSON, Janis L.; ZUCKERBERG, Benjamin; BONTER, David N. Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 41, p. 149-172, 2010.
- DUDZINSKI, Kathleen M.; THOMAS, Jeanette A.; GREGG, Justin D. Communication in marine mammals. In: PERRIN, William F.; WÜRSIG, Bernd; THEWISSEN, J. G. M. (Ed.). **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2009.
- EVANS, Peter GH; HAMMOND, Philip S. Monitoring cetaceans in European waters. **Mammal review**, v. 34, n. 1-2, p. 131-156, 2004.
- FAIS, Andrea et al. Abundance and distribution of sperm whales in the Canary Islands: Can sperm whales in the archipelago sustain the current level of ship-strike mortalities?. **PLoS One**, v. 11, n. 3, p. e0150660, 2016.

- FÉLIX, Geórgia de Brito Vidal. **Ocorrência e caracterização de golfinhos no litoral norte do Espírito Santo e sua relação com a atividade pesqueira**. 2014. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical). Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus.
- FOX, Kieran CR; MUTHUKRISHNA, Michael; SHULTZ, Susanne. The social and cultural roots of whale and dolphin brains. **Nature ecology & evolution**, v. 1, n. 11, p. 1699, 2017.
- FRANKEL, A. S. et al. Spatial distribution, habitat utilization, and social interactions of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, off Hawai'i, determined using acoustic and visual techniques. **Canadian Journal of Zoology**, v. 73, n. 6, p. 1134-1146, 1995.
- GEISE, Lena.; BOROBIA, Monica. Sobre a ocorrência de cetáceos no litoral do Estado do Rio de Janeiro entre 1968 e 1984. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 4, n. 4, p. 341-346, 1987.
- GENDRON, Diane et al. Long-term individual sighting history database: an effective tool to monitor satellite tag effects on cetaceans. **Endangered Species Research**, v. 26, n. 3, p. 235-241, 2015.
- GORDON, Jonathan; TYACK, Peter L. Sound and cetaceans. In: **Marine Mammals**. Springer, Boston, MA, 2002. p. 139-196.
- HAIMOVICI, Manuel et al. Biomass and fishing potential yield of demersal resources from the outer shelf and upper slope of southern Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 37, n. 3, p. 395-408, 2009.
- HAMMOND, Philip S. Assessment of marine mammal population size and status. In: **Marine Mammals**. Springer, Boston, MA, 2002. p. 269-291.
- HEENEHAN, Heather L. et al. Passive acoustic monitoring of coastally associated Hawaiian spinner dolphins, *Stenella longirostris*, ground-truthed through visual surveys. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 140, n. 1, p. 206-215, 2016.
- HOOKER, Sacha K. Toothed Whales, Overview. In: PERRIN, William F.; WÜRSIG, Bernd; THEWISSEN, J. G. M. (Ed.). **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2009.
- INSTITUTO Brasileiro Do Meio Ambiente E Dos Recursos Naturais Renováveis. Protocolo de conduta para encalhes de mamíferos aquáticos: Rede de Encalhes de Mamíferos Aquáticos do Nordeste. 2005
- IUCN. **The IUCN red list of threatened species**. Available in: <<https://www.iucnredlist.org/>>. Accessed on: November 29, 2019.
- JEFFERSON, Thomas A.; WEBBER, Marc A.; PITMAN, Robert L. **Marine mammals of the world: a comprehensive guide to their identification**. Elsevier, 2011.
- JEWELL, R. et al. Global analysis of cetacean line-transect surveys: detecting trends in cetacean density. **Marine Ecology Progress Series**, v. 453, p. 227-240, 2012.
- KELLOGG, Winthrop N. Echo ranging in the porpoise. **Science**, v. 128, n. 3330, p. 982-988, 1958.
- KIMURA, Satoko et al. Comparison of stationary acoustic monitoring and visual observation of finless porpoises. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, n. 1, p. 547-553, 2009.

- KING, Stephanie L.; JANIK, Vincent M. Bottlenose dolphins can use learned vocal labels to address each other. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 32, p. 13216-13221, 2013.
- KNOLL, Michaela et al. Protection of Marine Mammals. In: **The Effects of Noise on Aquatic Life II**. Springer, New York, NY, 2016. p. 547-554.
- LEÃO, C. J. L. et al. **Foraminíferos recuperados em sedimentos quaternários da plataforma e talude superior da porção norte da bacia de pelotas, estado de Santa Catarina, Brasil**. XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Reunión sobre el Cuaternário de América del Sur., 2009.
- LODI, Liliane; BOROBIA, Monica. **Baleias, botos e golfinhos do Brasil: guia de identificação**. Technical Books Editora, 2013.
- LODI, Liliane; TARDIN, Rodrigo. Citizen science contributes to the understanding of the occurrence and distribution of cetaceans in southeastern Brazil—A case study. **Ocean & Coastal Management**, v. 158, p. 45-55, 2018.
- MACHADO, Leandro Gonçalves et al. Característica Morfo-Tectônica Do Alto De Florianópolis Que Segmenta As Bacias De Santos E Pelotas, Margem Continental Sudeste Brasileira. In: **IV Simpósio Brasileiro de Geofísica**. European Association of Geoscientists & Engineers, 2010. p. cp-197-00125.
- MARINO, Lori et al. Cetaceans have complex brains for complex cognition. **PLoS biology**, v. 5, n. 5, p. e139, 2007.
- MARQUES, Tiago A. et al. Estimating cetacean population density using fixed passive acoustic sensors: An example with Blainville's beaked whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, n. 4, p. 1982-1994, 2009.
- MATANO, R., PALMA, E. D., & PIOLA, A. R. (2010). The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation.
- MCDONALD, Mark A.; MOORE, Sue E. Calls recorded from North Pacific right whales (*Eubalaena japonica*) in the eastern Bering Sea. **Journal of Cetacean Research and Management**, v. 4, n. 3, p. 261-266, 2002.
- MELLINGER, David K. et al. An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. **Oceanography**, v. 20, n. 4, p. 36-45, 2007.
- MELLINGER, David; BARLOW, Jay. Future directions for acoustic marine mammal surveys: stock assessment and habitat use: report of a workshop held in La Jolla, California, 20-22 November 2002. 2003.
- MOHRIAK, W. U. (2003). Bacias sedimentares da margem continental Brasileira. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**, 3, 87-165.
- MORAES, C. G.; BARRETO, A. S.; SPERB, R. M. Sistema de Informações Geográficas para dados de encalhes e avistagens de Cetáceos.
- MOREIRA, Jobel Lourenço Pinheiro et al. bacia de Santos. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, n. 2, p. 531-549, 2007.
- MORETTI, Diego. et al. A dive counting density estimation method for Blainville's beaked whale (*Mesoplodon densirostris*) using a bottom-mounted hydrophone field as applied to a

Mid-Frequency Active (MFA) sonar operation. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 11, p. 1036-1042, 2010.

NIELSEN, Bjarke Klit; MØHL, Bertel. Hull-mounted hydrophones for passive acoustic detection and tracking of sperm whales (*Physeter macrocephalus*). **Applied Acoustics**, v. 67, n. 11-12, p. 1175-1186, 2006.

OLESON, Erin M. et al. Blue whale visual and acoustic encounter rates in the Southern California Bight. **Marine Mammal Science**, v. 23, n. 3, p. 574-597, 2007.

OSWALD, Julie N.; RANKIN, Shannon; BARLOW, Jay. The effect of recording and analysis bandwidth on acoustic identification of delphinid species. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 116, n. 5, p. 3178-3185, 2004.

PARENTE, Cristiano Leite; ARAÚJO, Janaína Pauline de; ARAÚJO, Maria Elisabeth de. Diversity of cetaceans as tool in monitoring environmental impacts of seismic surveys. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 1, p. 0-0, 2007.

PERRIN, William F. Problems of marine mammal conservation in Southeast Asia. **Fisheries science**, v. 68, n. sup1, p. 238-243, 2002.

PERRIN, William F.; GERACI, Joseph R. Stranding. In: PERRIN, William F.; WÜRSIG, Bernd; THEWISSEN, J. G. M. (Ed.). **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, 2009.

PETROBRÁS. Projeto de monitoramento de cetáceos na Bacia de Santos - PMC-BS: 2º relatório anual – Ciclos 1 a 6. EeP, Volume Único, 2018

PÍRIZ, Rosina. Ocurrencia de cetáceos en el Océano Atlántico Sudoccidental y el Océano Austral y su relación con variables ambientales. 2019.

PYĆ, Cynthia D.; GEOFFROY, Maxime; KNUDSEN, Frank R. A Summary Comparison of Active Acoustic Detections and Visual Observations of Marine Mammals in the Canadian Beaufort Sea. In: **The Effects of Noise on Aquatic Life II**. Springer, New York, NY, 2016. p. 879-884.

PIOLA, Alberto R. et al. Subtropical shelf front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 105, n. C3, p. 6565-6578, 2000.

RANKIN, Shannon et al. A visual sighting and acoustic detections of minke whales, *Balaenoptera acutorostrata* (Cetacea: Balaenopteridae), in nearshore Hawaiian waters. **Pacific Science**, v. 61, n. 3, p. 395-399, 2007.

RATNARAJAH, Lavenia et al. The biogeochemical role of baleen whales and krill in Southern Ocean nutrient cycling. **PloS one**, v. 9, n. 12, p. e114067, 2014.

RAYMENT, William et al. Listening for a needle in a haystack: passive acoustic detection of dolphins at very low densities. **Endangered Species Research**, v. 14, n. 2, p. 149-156, 2011.

RAYMENT, William; DAWSON, Steve; SLOOTEN, Liz. Trialling an automated passive acoustic detector (T-POD) with Hector's dolphins (*Cephalorhynchus hectori*). **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 89, n. 5, p. 1015-1022, 2009.

READ, A. J. Telemetry. In: Perrin, W. F., Würsig, B., & Thewissen, J. G. M. (Eds.). (2009). **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press.

REEVES, Randall R. (Ed.). **Dolphins, whales and porpoises: 2002-2010 conservation action plan for the world's cetaceans**. IUCN, 2003.

RICHMAN, Nadia I. et al. To see or not to see: investigating detectability of Ganges River dolphins using a combined visual-acoustic survey. **PloS one**, v. 9, n. 5, p. e96811, 2014.

RISCH, Denise et al. Seasonal migrations of North Atlantic minke whales: novel insights from large-scale passive acoustic monitoring networks. **Movement ecology**, v. 2, n. 1, p. 24, 2014.

ROBERGE, Jean-Michel; ANGELSTAM, P. E. R. Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. **Conservation biology**, v. 18, n. 1, p. 76-85, 2004.

SANTOS, Manuel Eduardo dos et al. Whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Sado Estuary, Portugal: characteristics, production rates, and long-term contour stability. **Aquatic Mammals**, v. 31, p. 453-462, 2005.

SANTOS, Marcos César de Oliveira. et al. Cetacean movements in coastal waters of the southwestern Atlantic ocean. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 2, 2019.

SANTOS, Marcos César de Oliveira et al. Cetacean records along São Paulo state coast, southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 2, p. 123-142, 2010.

SANTOS, V. C. **Banco de dados ambientais da baía de pelotas: uma ferramenta para elaboração de estudos de impacto ambiental**. Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, RS, 2009.

SAYIGH, Laela S.; TYACK, Peter L.; WELLS, Randall S. Recording underwater sounds of free-ranging dolphins while underway in a small boat. **Marine Mammal Science**, v. 9, n. 2, p. 209-213, 1993.

SCHALL, Elena et al. Visual and passive acoustic observations of blue whale trios from two distinct populations. **Marine Mammal Science**, 2019.

SCHORR, Gregory S. et al. First long-term behavioral records from Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*) reveal record-breaking dives. **PloS one**, v. 9, n. 3, p. e92633, 2014.

SICILIANO, Salvatore. Uma aborgagem biogeográfica dos cetáceos da costa brasileira. 2001.

SILVERTOWN, Jonathan. A new dawn for citizen science. **Trends in ecology & evolution**, v. 24, n. 9, p. 467-471, 2009.

SOLDEVILLA, Melissa S. et al. Risso's and Pacific white-sided dolphin habitat modeling from passive acoustic monitoring. **Marine Ecology Progress Series**, v. 423, p. 247-260, 2011.

SOUSA-LIMA, Renata S. et al. A Review and Inventory of Fixed Autonomous Recorders for Passive Acoustic Monitoring of Marine Mammals. **Aquatic Mammals**, v. 39, n. 1, 2013.

SOUSA-LIMA, Renata S. et al. Acoustic ecology of humpback whales in Brazilian waters investigated with basic and sophisticated passive acoustic technologies over 17 years. **Western Indian Ocean Journal of Marine Science**, p. 23-40, 2018.

SPENCE, Heather Ruth. Bioacoustic monitoring: Urgent challenges and opportunities on the MesoAmerican Reef System. In: **OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston**. IEEE, 2018. p. 1-6.

STIMPERT, Alison K. et al. Common humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) sound types for passive acoustic monitoring. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 129, n. 1, p. 476-482, 2011.

THOMPSON, W. L., WHITE, G. C., & GOWAN, C. (1998). **Monitoring vertebrate populations**. Elsevier.

VALLARTA HERNANDEZ, Jonathan. **The significance of passive acoustic array-configurations on sperm whale range estimation when using the hyperbolic algorithm**. 2009. Tese de Doutorado. Heriot-Watt University.

VAN PARIJS, Sofie M. et al. Management and research applications of real-time and archival passive acoustic sensors over varying temporal and spatial scales. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 21-36, 2009.

VERFUSS, Ursula K. et al. Geographical and seasonal variation of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) presence in the German Baltic Sea revealed by passive acoustic monitoring. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 87, n. 1, p. 165-176, 2007.

VON BENDA-BECKMANN, Alexander M. et al. Detection of Blainville's beaked whales with towed arrays. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 11, p. 1027-1035, 2010.

WARD, Jessica A. et al. Passive acoustic density estimation of sperm whales in the Tongue of the Ocean, Bahamas. **Marine Mammal Science**, v. 28, n. 4, p. E444-E455, 2012.

WHITEHEAD, Hal. Estimates of the current global population size and historical trajectory for sperm whales. **Marine Ecology Progress Series**, v. 242, p. 295-304, 2002.

YACK, Tina M. **The development of automated detection techniques for passive acoustic monitoring as a tool for studying beaked whale distribution and habitat preferences in the California current ecosystem**. 2013. Tese de Doutorado. Sciences.

ZERBINI, Alexandre N. **Distribuição e abundância relativa de cetáceos na Zona Econômica Exclusiva da região sudeste-sul do Brasil**. 2004.

ZIMMER, Walter MX. **Passive acoustic monitoring of cetaceans**. Cambridge University Press, 2011.