



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM BIOLOGIA



Caracterização dos Assovios e Modelagem de Nicho Ecológico do golfinho-rotador (*Stenella longirostris* Gray, 1828) na Região da Bacia de Santos, Brasil, Oceano Atlântico Sul.

Discente: Drielle Sâmela Costa da Cruz.

Orientador: Guilherme de Oliveira

Coorientador: Marcos Roberto Rossi dos Santos.

Cruz das Almas-BA

Maio de 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM BIOLOGIA



Caracterização dos Assovios e Modelagem de Nicho Ecológico do golfinho-rotador (*Stenella longirostris* Gray, 1828) na Região da Bacia de Santos, Brasil, Oceano Atlântico Sul.

Trabalho de Conclusão de Curso II, requisitado como fim avaliativo para o curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

Cruz das Almas-BA

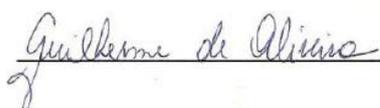
Maio de 2021

TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Drielle Sâmela Costa da Cruz

“Caracterização dos Assovios e Modelagem de Nicho Ecológico do golfinho-rotador (*Stenella longirostris* Gray, 1828) na Região da Baía de Santos, Brasil, Oceano Atlântico Sul”

BANCA EXAMINADORA



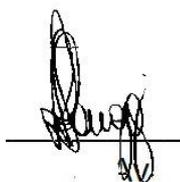
Prof. Dr. Guilherme de Oliveira
orientador

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)



Prof. Dr. Marcos Roberto Rossi dos Santos
co-orientador

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)



Prof. Dr. Leila de Lourdes Longo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)



Prof. MSc. Arielson dos Santos Protázio
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

CRUZ DAS ALMAS

Maio-2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM BIOLOGIA



*“Terra
Por mais distante o errante navegante
Quem jamais te esqueceria”*

-Caetano Veloso



Agradecimentos

Enfim, o dia mais esperado e temido da graduação chegou! E eu não poderia chegar até aqui sem a ajuda de uma rede de apoio realmente incrível.

Por isso, quero começar dedicando esse trabalho as mulheres mais importantes da minha vida: Julia Sandra, Julia Maria e Tereza Cristina. Poderia discorrer sobre vocês por todas as páginas desse texto e ele falaria sobre força, coragem, resiliência e amor. Sou grata ao universo, por me permitir crescer cercada pelo afeto e proteção de três mulheres tão admiráveis. Ubuntu!

Agradeço aos mestres que, com seus ensinamentos, se tornaram fonte inesgotável de inspiração na minha formação profissional como Bióloga. Em especial, a Guilherme de Oliveira por ter me orientado durante o TCC, de forma que pude enxergar o meu potencial de escrita para compartilhar o que aprendi. E a Marcos Rossi, por ter me apresentado o fantástico mundo marinho e dos cetáceos.

A empresa Socioambiental Consultores Associados Ltda, onde pude trabalhar no Projeto de Monitoramento de Cetáceos na BS e desenvolver o presente estudo com base nos dados concedidos.

Aos meus colegas de laboratório por serem incentivadores, co-orientadores e escuta ativa sempre que necessário. Sinto muitas saudades da presença de vocês Ruh, Victor, Cláudia, Gio, Evelin, Gabizão, Isa e Hugo.

Não poderia deixar de citar pessoas com que morei e se tornaram verdadeiros irmãos como Neto, Lucas e Samara, vocês são inesquecíveis! A Jad pelo companheirismo, amor e cuidado, que me fortalecem diariamente. Também aos amigos que encontrei aqui, em especial Pedro e Lívia e aos que já caminhavam comigo como Igonnn, muito amor por vocês.

Enfim, meu muito obrigada a todos que, de alguma forma, me incentivaram de a seguir em frente. Esses anos em Cruz das Almas, foram memoráveis, fui abraçada por um tantão de gente, que não caberia aqui.

Gratidão!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Golfinho-rotador (<i>Stenella longirostris</i>). Fonte: Projeto Golfinho Rotador, 2015.....	14
Figura 2. Mapa da distribuição mundial do golfinho-rotador (<i>Stenella longirostris</i>). Fonte: IUCN, 2012.....	15
Figura 3. Mapa da localização da Bacia de Santos, região de estudo do presente trabalho. Fonte: PETROBRAS, 2015.....	21
Figura 4. Embarcação <i>Sea Route</i> , utilizada para a coleta de dados do PMC. Fonte: PETROBRAS, 2018.....	22
Figura 5. Observadores na torre de observação, localizada no pondo mais alto da embarcação <i>Sea Route</i> , durante os campos de Avistagem e MAP do PMC. Fonte: PETROBRAS, 2018.....	23
Figura 6. Cabo de reboque com os hidrofones, utilizados para a obtenção dos dados acústicos do PMC. Fonte: PETROBRAS, 2015.....	23
Figura 7. Observadores na estação de MAP da embarcação. Fonte: PETROBRAS, 2015.....	24
Figura 8. Espectrograma extraído do Raven 1.5 demonstrando o contorno do assovio e cada variável extraída representada por números: (1) frequência inicial, (2) frequência final, (3) frequência mínima, (4) frequência máxima, (5) amplitude, (6) duração, (7) número de pontos de inflexão, (8) número de degraus e (9) número de harmônicos.....	28
Figura 9. Variação das seis variáveis acústicas, selecionadas através da análise fatorial, ao longo dos 837 assovios analisados do golfinho-rotador na Bacia de Santos, em 13 pontos de avistamento acústico diferentes. O padrão está apresentado nos dois principais fatores discriminantes da análise de discriminante.	34
Figura 10. Médias (círculos) e intervalos de confiança ao nível de 95% (barras) das variáveis acústicas: a) Frequência inicial; b) Frequência final; c) Frequência mínima; d) Frequência máxima; e) Duração; f) Número de inflexões; g) Número de degraus; h) número de harmônicos; i) amplitude, utilizadas para comparação deste estudo com dados já publicados dos assovios do golfinho-rotador (<i>Stenella longirostris</i>). A área de alcance do retângulo tracejado facilita a observação da sobreposição dos intervalos de confiança e indica resultados significativamente iguais ao deste estudo.....	37

Figura 11. Padrão espacial de adequabilidade climática para o golfinho-rotador (*Stenella longirostris*), na Bacia de Santos. Os pontos vazios são as ocorrências da espécie utilizadas para o modelo de nicho e os pontos roxos são os locais onde foram aferidos os parâmetros acústicos dos assovios.43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Cargas, proporções da variância explicada e proporções da variância explicada cumulativa dos nove fatores resultantes da análise fatorial para as nove variáveis acústicas dos 837 assovios analisados do golfinho-rotador, na Bacia de Santos. Os fatores que não foram necessários para o incremento da proporção da variância cumulativa de 0,9 (*i.e* 90%) estão sinalizados em vermelho. Os fatores estão apresentados na ordem decrescente do valor da carga.....33

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre as nove variáveis (F.I. = Frequência inicial; F.F. = Frequência final; F.Min. = Frequência mínima; F.Máx. = Frequência máxima; Dur. = Duração; Amp. = Amplitude; N.inf. = Número de inflecções; N.deg. = Número de degraus; e N.harm. = Número de harmônicos) e os nove fatores resultantes da análise fatorial dessas nove variáveis extraídas dos 836 assovios do golfinho-rotador, na Bacia de Santos. Os maiores coeficientes apresentados na ordem decrescente dos valores das cargas dos fatores (Tabela 1) estão sinalizados em negrito, bem como as variáveis acústicas selecionadas.....33

Tabela 3. Estatísticas descritivas (mínima, máxima, média, desvio-padrão e coeficientes de variação) dos 9 parâmetros extraídos de 836 assovios de golfinho-rotador e comparação entre diferentes estudos realizados anteriormente. Os assovios emitidos na Bacia de Santos, variaram em frequência, com mínima de 2,67 kHz e máxima de 32,52 kHz. A média da frequência final foi, maior que a frequência inicial. Observa-se que os parâmetros referentes à modulação do sinal (nº de degraus e nº de PI) e a duração foram os que apresentaram maiores coeficientes de variação, dentro da mesma população.....33

Tabela 4. Variáveis ambientais utilizadas como preditoras do modelo de nicho do golfinho-rotador, *Stenella longirostris*, na Bacia de Santos. As variáveis destacadas em itálico e negrito foram as variáveis selecionadas como as menos correlacionadas para construir o modelo de nicho, após a Análise Fatorial. São mostrados também, para cada variável, a fonte, a unidade de medida, a resolução original e a porcentagem de contribuição para o modelo de nicho.....42

Tabela 5. Coeficientes de regressão padronizados dos fatores bióticos (número de indivíduos avistados) e abióticos (adequabilidade ambiental) para cada variável resposta (variáveis acústicas) dos assovios do golfinho-rotador, na Bacia de Santos. Também são mostrados a variância explicada pelo modelo (R^2) e o valor de significância (p) do modelo geral. O coeficiente com nível de significância menor que 0,05 está destacado em negrito e itálico.....44

RESUMO

DA CRUZ, D. S. C. Bacharel em Biologia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, maio de 2021. Caracterização dos Assovios e Modelagem de Nicho Ecológico do golfinho-rotador (*Stenella longirostris* Gray, 1828) na Região da Bacia de Santos, Brasil, Oceano Atlântico Sul.

Orientador: Guilherme de Oliveira.

Co-orientador: Marcos Roberto Rossi-Santos.

O golfinho-rotador (*Stenella longirostris*) é um mamífero marinho, que pertencente a ordem Cetacea. Devido a influência da atividade humana sobre o ambiente aquático, faz-se necessário aumentar a gama de conhecimento sobre os cetáceos. Este estudo teve o objetivo de descrever o sinal acústico e estimar a distribuição potencial do golfinho-rotador da região da Bacia de Santos. Para isso utilizou-se os dados coletados durante o Projeto de Monitoramento de Cetáceos (PMC), a partir de um arranjo de hidrofones APC 42-1021 rebocado por uma embarcação, associado à confirmação visual da espécie. Foram identificados 836 assovios, 12 horas e 49 minutos de registros acústicos, dos quais foram extraídos 9 parâmetros acústicos: frequências inicial e final, mínima e máxima (kHz), amplitude de frequência (kHz), duração (s), nº de pontos de inflexão, nº de degraus, presença/ausência de harmônicos. Também foram utilizados 46 pontos de ocorrência para realizar o modelo de nicho a partir de cinco variáveis ambientais: i) Batimetria; ii) Inclinação da batimetria; iii) Amplitude anual da salinidade; iv) Amplitude anual da temperatura; e v) Média anual da concentração de clorofila-a, coletadas através do banco de dados público Bio-Oracle e MARSPEC. Foi observado que os parâmetros de duração e amplitude apresentaram valores mais altos, quando comparados com outros estudos, ocorrendo assim variação geográfica do sinais. O Talude continental se mostrou mais adequado ambientalmente para a população de golfinho-rotador na BS e a amplitude dos assovios se mostrou significativamente relacionada com o modelo de adequabilidade ambiental.

Palavras-chave: Bioacústica, mamíferos marinhos, conservação.

ABSTRACT

DA CRUZ, D. S. C. Biologist's Bachelor, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, may of 2021. Characterization of Whistles and Modeling of the Ecological Niche of the Spinner Dolphin (*Stenella longirostris* Gray, 1828) in the Bacia de Santos, Brazil, Atlantic South Ocean.

Advisor: Guilherme de Oliveira.

Co- advisor: Marcos Roberto Rossi-Santos.

The spinner dolphin (*Stenella longirostris*) is a marine mammal, which belongs to the order Cetacea. Due to the influence of human activity on the aquatic environment, it is necessary to increase the range of knowledge about cetaceans. This study aimed to describe the acoustic signal and estimate the potential distribution of the spinner dolphin in the Bacia de Santos region. For this, the data collected during the Cetacean Monitoring Project (PMC) was used, based on an arrangement of APC 42-1021 hydrophones towed by a vessel, associated with the visual confirmation of the species. 836 whistles, 12 hours and 49 minutes of acoustic records were identified, from which 9 acoustic parameters were extracted: initial and final, minimum and maximum frequencies (kHz), frequency amplitude (kHz), duration (s), number of inflection, number of steps, presence / absence of harmonics. 46 occurrence points were also used to create the niche model based on five environmental variables: i) Bathymetry; ii) Inclination of the bathymetry; iii) Annual amplitude of salinity; iv) Annual temperature range; and v) Average annual chlorophyll-a concentration, collected through the public database Bio-Oracle and MARSPEC. It was observed that the parameters of duration and amplitude showed higher values, when compared with other studies, thus occurring geographic variation of the signals. The continental slope proved to be more environmentally friendly for the spinner dolphin population in BS and the amplitude of the whistles was significantly related to the environmental suitability model.

Key-words: Bioacoustics, marine mammals, conservation.

Sumário

I. Introdução.....	12
I.a. Cetáceos e principais ameaças	12
I.b. Golfinho-rotador (<i>Stenella longirostris</i>)	14
I.c. Ecologia da paisagem acústica.....	16
I.d. Bioacústica do golfinho-rotador.....	17
I.e. Modelos de nicho ecológico	19
II. Material e Métodos.....	21
II.a. Área de estudo.....	22
II.b. Coleta de dados.....	23
II.c. Descrição das etapas do processamento de dados.....	26
II.d. Análises acústicas.....	27
II.e. Análises exploratórias das variáveis acústicas	29
II.f. Análise de variação geográfica.....	30
II.g. Dados de ocorrência e ambientais.....	31
II.h. Modelo de nicho ecológico	32
II.i. Relação entre as variáveis acústicas e os fatores bióticos e abióticos do ambiente.....	33
III. Resultados.....	33
III.a. Análises exploratórias	33
III.b. Caracterização dos assovios emitidos pelo golfinho-rotador.....	35
III.d. Distribuição do golfinho-rotador na Bacia de Santos.....	43
III.e. Relação entre as variáveis acústicas e os fatores bióticos e abióticos do ambiente.....	46
IV. Discussão	46
IV.a. Caracterização dos assovios emitidos pelo golfinho-rotador.....	46
IV.b. Análise de variação geográfica.....	48
IV.c. Distribuição do golfinho-rotador.....	50
IV.d. Influência de fatores bióticos e abióticos do meio ambiente nos assovios do golfinho-rotador	52
V. Conclusões.....	53
VI. Referências Bibliográficas.....	54

I. Introdução

I.a. Cetáceos e principais ameaças

Os cetáceos representam uma ordem dentro do grupo dos mamíferos aquáticos e dependem unicamente do ambiente marinho para a sua sobrevivência (RICHARDSON *et al.* 1995). Eles compartilham a característica evolutiva de ter um corpo hidrodinâmico e nadadeiras para um deslocamento mais eficiente no meio aquático (LODI & BOROBIA, 2013).

No Brasil, a ordem atualmente possui 45 espécies que se dividem em duas subordens (LODI & BOROBIA, 2013). A primeira ordem são os Odontoceti, representados pelos golfinhos, cachalotes e orcas, que são caracterizados por possuírem dentes (homodontes) e orifício respiratório com uma abertura externa (PARENTE *et al.* 2017). A segunda ordem são os Mysticeti, formada pelas baleias. São grandes cetáceos que possuem barbatanas, ou cerdas bucais, ao invés de dentes. Essas estruturas são enraizadas na parte superior da boca e são responsáveis por filtrar e reter o alimento da água (PARENTE *et al.* 2017). Assim como os Odontoceti, os Mysticeti também possuem orifício respiratório, porém, com duas aberturas externas (PINEDO *et al.* 1992; POUGH *et al.* 2008).

Esses mamíferos possuem importantes funções ecológicas, sendo conhecidos como sentinelas, por atuarem como bioindicadores da saúde e conservação dos ecossistemas marinhos (WELLS *et al.* 2004). Além disso, são indispensáveis para a regulação e manutenção de populações de níveis tróficos abaixo delas (*e.g.*, as baleias que se alimentam de organismos planctônicos) (ROMAN *et al.* 2014). Por fim, os mamíferos aquáticos estão ligados diretamente ao aumento da produtividade oceânica, pois com a ingestão de alimentos e excreção de biomassa, eles auxiliam na produção, regulação e circulação de nutrientes em seu habitat (LODI & BOROBIA, 2013).

Mesmo com a vasta importância representada pelo grupo, os cetáceos vêm sofrendo diversas perturbações advindas de atividades antrópicas (HEENEHAN *et*

al. 2017). As principais fontes desses impactos consistem em colisão com embarcações, emalhes acidentais, ou capturas intencionais com artefatos de pesca, que afetam diretamente a demografia da população (READ *et al.* 2006; VAN WAEREBEEK *et al.* 2007). Além disso, a poluição química gerada pelo derramamento de diversos produtos químicos no mar, pode levar a bioacumulação de contaminantes pelos cetáceos, interferindo assim em sua reprodução e no sistema imunológico (O'HARA & O'SHEA, 2001). A poluição por resíduos sólidos pode levar a ingestão ou enroscamento com o lixo marinho, causando lesões físicas e até a morte desses indivíduos (PARENTE *et al.* 2017).

Esses impactos antropogênicos causam interferências na locomoção (MILLER *et al.* 2014), no tempo de descanso (LUSSEAU, 2003), nos padrões de comunicação (PAPALE *et al.* 2015), nos padrões de forrageamento (WILLIAMS *et al.* 2006; WARE *et al.* 2015), no tempo de vigiância e no uso do habitat pelos indivíduos de cetáceos (TYACK, 2008). Em nível populacional, essas atividades causam mudanças no crescimento e estrutura populacional, podendo levar essas populações a extinção (NRC, 2005; HEENEHAN *et al.* 2017).

Além disso, a poluição sonora associada a diversas fontes de ruído, tais como: o tráfego de embarcações, atividades de pesquisas sísmicas, sondas de perfuração e atividades de exploração de petróleo *offshore* (ROSSI-SANTOS, 2015) causam interferências no comportamento e na vocalização dos cetáceos (DELFOUR, 2017; HEENEHAN *et al.* 2016; HEENEHAN *et al.* 2017). Essas interferências são classificadas como: afugentamento (SCHICK & URBAN, 2000), ou atração por ruídos (RICHARDSON *et al.* 1995), estresse (ROLLAND *et al.* 2012) e dependendo da persistência e intensidade do ruído, perda temporária, ou permanente, da audição (SOUTHALL *et al.* 2007).

A intensa exploração dos oceanos pela população humana está causando o desaparecimento de muitas espécies, evidenciando a urgente necessidade de adoção de medidas conservacionistas como prioritárias, para conseguir impedir que o ecossistema marinho entre em colapso (PATRIZZI, 2018). Pensando na redução da perda da biodiversidade, algumas iniciativas são imprescindíveis para o

desenvolvimento e implementação de áreas prioritárias.

Como a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável pelas Nações Unidas, que foi declarada no dia 5 de dezembro de 2017 e ocorrerá entre 2021 e 2030, com o intuito de proporcionar uma oportunidade única, para que as nações trabalhem juntas com a ciência, em prol do desenvolvimento sustentável do oceano (IOC-UNESCO, 2019). Além disso, as águas jurisdicionais marinhas brasileiras são consideradas Santuário de Baleias e Golfinhos pelo Decreto Nº 6.698, de 17 de dezembro de 2008 e é proibida internacionalmente, a caça e o molestamento dos cetáceos em águas nacionais por meio da Lei nº 7.643, de 18 de dezembro de 1987.

Diante do cenário apresentado, mostram-se necessárias mensurações acerca da existência e magnitude dos impactos antropogênicos em nível populacional das espécies (HEENEHAN *et al.* 2017). Esses efeitos podem ser difíceis de serem estimados, pois, para isso são necessários estudos em longo prazo (*e.g.*, para cetáceos, uma série temporal adequada e consistente devem ser superiores a 10 anos de dados) (TAYLOR *et al.* 2007). Além do mais, existe a necessidade do emprego de diversas técnicas e métodos complementares para obtenção de diferentes tipos de respostas acerca de uma determinada população (ROSSI-SANTOS & DE OLIVEIRA, 2016; HEENEHAN *et al.* 2017).

I.b. Golfinho-rotador (*Stenella longirostris*)

O gênero *Stenella* (Gray, 1866) está inserido na família Delphinidae (PERRIN, 2021). Esse gênero possui uma ampla distribuição mundial em águas tropicais, subtropicais e temperadas, e se dispersam sob águas costeiras ou águas oceânicas sobre a plataforma continental (BAZUÁ-DURAN & AU, 2002; MORENO *et al.* 2005).

Além da sua distribuição significativa, o gênero também é um dos mais representativos da família Delphinidae, possuindo cinco espécies não monofiléticas (AMARAL *et al.* 2012; PERRIN 2001): o golfinho-rotador *Stenella*

longirostris (GRAY, 1828) (Figura 1), o golfinho-listrado *Stenella coeruleoalba* (MEYEN, 1833) e o golfinho-pintado-pantropical *Stenella attenuata* (GRAY 1846) que ocorrem nos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (Figura 2) (MORENO *et al.* 2005). Enquanto o golfinho-pintado-do-Atlântico *Stenella frontalis* (Cuvier, 1829) e o golfinho-clymene *Stenella clymene*, (Gray, 1850) habitam somente as águas do oceano Atlântico (MORENO *et al.* 2005).

Sabe-se que a variação na distribuição e divergência genética entre as populações dentro da mesma espécie estão ligadas diretamente a diferença nas características do meio em que ela está inserida, como a abundância de recursos disponíveis e nível de isolamento do habitat (ANDREWS *et al.* 2010; BOWLER & BENTON 2005). Para os cetáceos, essa variação intraespecífica também pode estar associada aos padrões de formação de grupo social (tamanho e estabilidade dos grupos), o sexo e o parentesco dos indivíduos dentro dos grupos, além das faixas de dispersão que esses grupos abrangem (ANDREWS *et al.* 2010).

O golfinho-rotador, citado anteriormente, é o objeto de estudo do presente trabalho. É uma espécie que apresenta um complexo comportamento de saltos (LODI & BOROBIA, 2013). Essa característica o difere dos outros cetáceos, pois podem dar até sete voltas em torno do próprio corpo (PERRIN, 2009; LODI & BOROBIA, 2013). Esse comportamento pode estar associado a um estado de alerta dos indivíduos e contribui para a socialização dos mesmos (PERRIN, 2009).



Figura 1. Golfinho-rotador (*Stenella longirostris*). Fonte: PROJETO GOLFINHO ROTADOR, 2015).

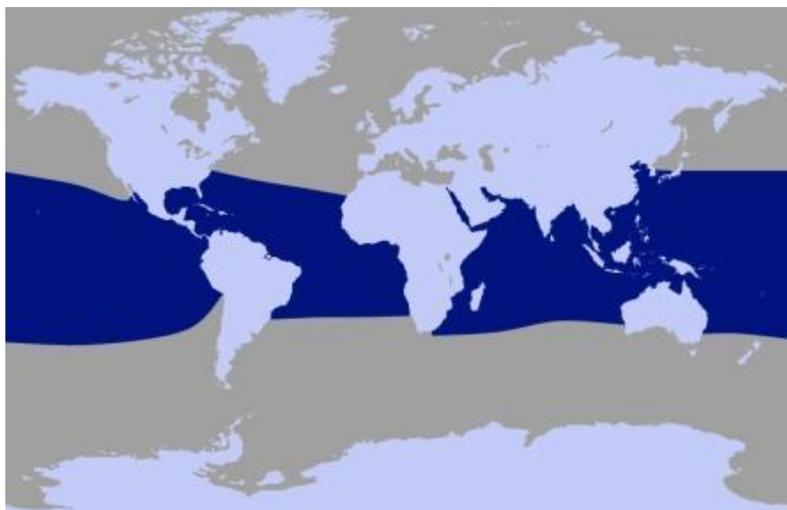


Figura 2. Mapa da distribuição mundial do golfinho-rotador (*Stenella longirostris*). Fonte: IUCN, 2012.

I.c. Ecologia da paisagem acústica

A "paisagem" pode ser definida como um espaço ecológico funcional, que resulta de interações entre processos naturais e os resultados das interferências humanas (FARINA & BELGRANO, 2006). O som é uma propriedade adicional da paisagem, formando um ambiente acústico em que as espécies dividem para coexistir acusticamente (VAN OPZEELAND & BOEBEL, 2018).

Seguindo essa definição de paisagem, a ecologia da paisagem sonora pode ser conceituada como a reunião de sons, resultante das interações de algumas características do meio (PIJANOWSKI *et al.* 2011). Essas características são: os diferentes sons bióticos (bifonia, *e.g.*, sons de vocalização), sons emitidos por fontes abióticas (geofonia, *e.g.*, ondas do mar, vento) e sons antropogênicos (antrofonia, *e.g.*, sons de buzina, tráfego aéreo), com isso cada ambiente irá possuir um contexto acústico singular em várias escalas de tempo e espaço (KRAUSE, 1987; PIJANOWSKI *et al.* 2011).

O oceano é essencialmente ruidoso, formado por ruídos predominantes ou sons de fundo, que refletem sons de toda paisagem circundante e ruídos intermitentes ou de primeiro plano, que por sua vez são sons locais que "vem e vão"

(BRANDLEY & STERN, 2008). A variabilidade dessas características pode fornecer informações adicionais importantes sobre o ambiente natural e seus processos acústicos (ROSSI-SANTOS, 2015).

Vale ressaltar que a introdução de fatores antropogênicos ao ambiente acústico natural gera ruídos indesejáveis que podem levar ao mascaramento de pistas sonoras importantes (ROSSI-SANTOS, 2015). Esse fator leva os indivíduos a competirem pelo espaço acústico e compensar essa modificação em seu habitat com adaptações vocais comportamentais, como alteração de frequência, duração e amplitude dos sinais, além de mudar o período em que vocalizam (ROSSI-SANTOS, 2015).

Esses sinais acústicos podem ser captados à distância, diminuindo com isso os custos ligados ao encontro direto entre indivíduos (WILKINS *et al.* 2013). A estrutura acústica desses sinais como parâmetros de modulação e frequência, pode ser moldada devido a diferentes tipos de pressão de seleção locais (*e.g.*, ruído do ambiente), para aumentar a eficiência de sua transmissão (JANIK, 2009; GAMBA & GIACOMA, 2010).

Os estudos relacionados a ecologia da paisagem sonora podem elucidar como os humanos afetam os ecossistemas (PIJANOWSKI *et al.* 2011). Essa linha de pesquisa em conjunto com a bioacústica busca entender melhor os mecanismos do comportamento sonoro dos animais (ROSSI-SANTOS & DE OLIVEIRA, 2016).

I.d. Bioacústica do golfinho-rotador

Devido ao uso limitado da visão no ambiente marinho, principalmente em áreas costeiras e regiões estuarinas, a comunicação através de sons apresenta funções comportamentais e de interações que são vitais aos mamíferos aquáticos (TYACK, 2008). Esses sons codificam informações sobre a espécie, identidade, localização e comportamento do emissor (WILKINS *et al.* 2013).

Os sinais vocalizados pelos odontocetos possuem uma amplitude sonora maior que a dos mysticetos. Os mysticetos emitem sons basicamente de baixa

frequência, conhecidos como gritos e cantos (FRANKEL, 2009). Enquanto os golfinhos, odontocetos, podem vocalizar através de clicks de ecolocalização, sons pulsados e sons tonais, representados pelos assovios (FRANKEL, 2009). Assovios, por definição, são sons biológicos tonais de curta duração, com média de frequência fundamental entre 2 e 30 kHz e geralmente acompanhados por harmônicos que estendem além da faixa ultrassônica (acima de 20 kHz) (LAMMERS *et al.* 2003). Esses assovios variam conforme o estado comportamental do animal no momento da emissão sonora (BAZÚA-DURÁN & AU, 2002; JACOBINA 2000; TYACK, 2008).

Em geral, os golfinhos-rotadores utilizam a vocalização para a organização e coesão de grupo, orientação na navegação, localização de presas durante o forrageamento, reconhecimento individual e identificação de parentesco (TYACK, 2000; BAZÚA-DURÁN & AU, 2002; JANIK, 2009). Essas interações entre diferentes grupos possuem uma dinâmica social de fissão-fusão, ou seja, grupos grandes de indivíduos que se fundem e se separam de forma bastante fluida (OREMUS *et al.* 2007). Esse comportamento confere aos golfinhos-rotadores a capacidade de compartilhar características acústicas entre si, variando conforme a quantidade de tempo que passam juntos (BAZÚA-DURÁN & AU, 2004).

Os sons emitidos pelos golfinhos-rotadores têm sido estudados através da bioacústica para diversos fins, entre eles: descrição sonora da espécie (ROSSI-SANTOS *et al.* 2008), extração automática dos parâmetros acústicos para identificar espécies (OSWALD *et al.* 2007; ROCH *et al.* 2011; LIN & CHOU, 2013; OSWALD *et al.* 2003; OSWALD *et al.* 2004; BAUMANN-PICKERING *et al.* 2010; GRUDEN *et al.* 2016), análise de variação geográfica intraespecífica e interespecífica (MORON *et al.* 2015; BAZÚA-DURÁN & AU, 2002; BAZÚA-DURÁN & AU, 2004; CAMARGO *et al.* 2006; VAUGHN-HIRSHORN *et al.* 2012; LIN *et al.* 2013), análise do comportamento ligado ao repertório sonoro (BENOIT-BIRD *et al.* 2009; HENDERSON *et al.* 2012), e como ele atua na orientação dos indivíduos (LAMMERS & AU, 2003).

Até agora, as análises dos assovios dos golfinhos-rotadores foram realizadas nas Ilhas Havaianas (WANG *et al.* 1995; DRISCOLL, 1995; BAZÚA-

DURÁN & AU, 2002, 2004; LAMMERS, 2004; LAMMERS & AU, 2003), Caribe (STEINER, 1981), no Brasil (CAMARGO *et al.* 2006; ROSSI-SANTOS *et al.* 2008; MORON *et al.* 2015), Oceano Pacífico Tropical Oriental (OSWALD *et al.* 2003; OSWALD *et al.* 2007) e Ilha de Comores (BONATO *et al.* 2015). Essas análises consistem na extração, sobretudo, de parâmetros de frequência em função do tempo (espectrogramas), também chamado de "contorno do sinal" (DREHER, 1961).

A bioacústica fornece informações sobre como as atividades antropogênicas e de degradação contínua do ambiente marinho (*e.g.*, a poluição sonora) interagem com os cetáceos (TYACK, 2008). Essas degradações afetam a comunicação desses indivíduos e refletem potenciais impactos na sua biologia (CERCHIO *et al.* 2014; ROSSI-SANTOS, 2015; TYACK, 2008). Dessa forma, a descrição dos sinais acústicos, pode ser uma ferramenta importante para verificar a existência de variação geográfica e particularidades locais das populações (BONATO *et al.* 2015).

I.e. Modelos de nicho ecológico

Além dos fatores inerentes aos estudos da bioacústica, informações acerca da ecologia da paisagem, levando em consideração o espaço geográfico no qual as espécies ocorrem, também possuem importância para a conservação (ROSSI-SANTOS & DE OLIVEIRA, 2016). Essa representação em escala de mapas é mais trabalhosa para os organismos marinhos por causa da dificuldade de obtenção de dados sobre a localização das espécies e devido ao esforço limitado de amostragem em muitas áreas marinhas (KASCHNER *et al.* 2006; TYBERGHEIN *et al.* 2012). Assim, os estudos geograficamente explícitos podem permitir o monitoramento de populações de cetáceos (ROSSI-SANTOS & DE OLIVEIRA, 2016), auxiliando em estratégia para a conservação dessas populações.

Nesse contexto, o modelo de nicho ecológico é uma importante ferramenta utilizada pela biologia da conservação, pois permite descrever e gerar previsões sobre a distribuição e abundância de populações em função de variáveis ambientais (*e.g.*, temperatura, batimetria e distância da costa) (BARRAGÁN-BARRERA, 2019). Além disso, os modelos de nicho preveem como essas variáveis interagem com

parâmetros acústicos, buscando assim, entender a real distribuição ou potencial geográfico dessas espécies em uma determinada área (ROSSI-SANTOS & DE OLIVEIRA, 2016). Esses fatores podem auxiliar na identificação de áreas prioritárias para a conservação, minimizando o déficit Wallaceano (*i.e* lacunas de conhecimento sobre a distribuição geográfica das espécies) (BARRAGÁN-BARRERA *et al.* 2019; ROSSI-SANTOS & DE OLIVEIRA, 2016).

No Oceano Atlântico, a maioria dos estudos sobre distribuição de cetáceos e preferências de habitat concentram-se no Atlântico Norte (*e.g*, BAUMGARTNER *et al.* 2001; CAÑADAS *et al.* 2002; DAVIS *et al.* 1998; DAVIS *et al.* 2002; JEFFERSON, 1996). Já no Oceano Atlântico Sul, a maioria dos estudos foi baseado em registros de ocorrência de encalhes, capturas acidentais ou avistamentos (DO AMARAL *et al.* 2015; LUCENA *et al.* 1998; MORENO *et al.* 2005; OTT & DANILEWICZ, 1996; PINEDO E CASTELO, 1980; SECCHI & SICILIANO, 1995; SICILIANO, 1994; SIMÕES-LOPES & XIMÉNEZ, 1993; XIMÉNEZ & PRADERI, 1992; ZERBINI & KOTAS, 1998).

Além de potencialidades no presente, sobre a probabilidade de adequação ambiental para uma espécie em uma determinada área (CARVALHO *et al.* 2011), os modelos de nicho ecológico também podem trazer informações potenciais para o futuro, acerca das influências das mudanças climáticas na distribuição das espécies (RODRIGUEZ *et al.* 2007). Essas mudanças no clima estão intimamente correlacionadas com as ações humanas, podendo levar a mudanças na distribuição das espécies, tornando assim mais desafiadoras as ações de conservação (MONLLOR-HURTADO *et al.* 2017; PERRY *et al.* 2005; POLOCZANSKA *et al.* 2016). Haja vista que as áreas marinhas protegidas são fixas e não levam em consideração cenários climáticos futuros (PATRIZZI, 2018).

Devido a influência da atividade humana sobre o clima e conseqüentemente no ambiente aquático, faz-se necessário aumentar a gama de conhecimento sobre a distribuição de cetáceos. Esse conhecimento esclarece, assim, o papel que essas influências antrópicas exercem no meio em que habitam, tornando possível a criação de medidas de conservação. O golfinho-rotador é classificado como “Least

Concern” (menor preocupação) na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) (BRAULIK & REEVES, 2018). Porém, sua sobrevivência poderá ser afetada futuramente pela constante degradação do ambiente marinho, necessitando assim estabelecer bases referenciais para obtenção de um maior conhecimento sobre a espécie e seu habitat.

Assim, o presente estudo tem por objetivo analisar os assovios e a distribuição do golfinho-rotador na região da Bacia de Santos. Especificamente, buscou-se: caracterizar os assovios emitidos pelo golfinho-rotador na Bacia de Santos e verificar a existência de variação geográfica no sinal acústico; determinar quais áreas possuem maior adequabilidade ambiental para a espécie na região de estudo. Por fim, também foi objetivo desse trabalho, evidenciar se os fatores bióticos e abióticos do ambiente interferem nos padrões de vocalização da espécie.

II. Material e Métodos

O presente estudo utilizou os dados provenientes do Projeto de Monitoramento de Cetáceos (PMC). O PMC foi idealizado pela Petrobras e vem sendo executado pela Socioambiental Consultores Associados desde julho de 2015 para atender a demanda do processo de licenciamento ambiental da Coordenadoria de Petróleo e Gás (CGPEG-IBAMA). O objetivo do PMC é estabelecer bases para o monitoramento em longo prazo de cetáceos e observar possíveis impactos das atividades de petróleo e gás sobre eles.

Para alcançar os objetivos é utilizada uma base metodológica ampla conforme o previsto no Projeto Executivo (PETROBRAS, 2015). Sendo o Monitoramento Acústico Passivo (MAP), Avistagem, Telemetria, Avistagem Aérea e Biópsia. Essas atividades geram dados para análises sobre cetáceos e atividades antrópicas na Bacia de Santos.

Os dados do MAP foram utilizados para realização da análise acústica. Além disso, todos os pontos geográficos obtidos dos grupos avistados dos golfinhos-rotadores foram utilizados para desenvolver o modelo de nicho. As etapas descritas

nos itens “B” e “C” compõe um breve resumo sobre o protocolo descrito no Projeto Executivo elaborado pela Socioambiental em 2015 e pode ser visto mais detalhadamente no documento físico (PETROBRÁS, 2015).

II.a. Área de estudo

A Bacia de Santos (BS) (Figura 3) está situada na região Sudeste da margem continental brasileira, dentro dos paralelos 23° e 28° Sul. A delimitação está localizada entre o Norte com a Bacia de Campos pelo Alto de Cabo Frio (RJ) e ao Sul com a Bacia de Pelotas pela Plataforma de Florianópolis (SC) (MOREIRA *et al.* 2007). A BS se estende ao longo do litoral dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina, compondo assim uma área de aproximadamente 352.000 km² (CHANG *et al.* 2008).

Essa área é considerada a maior bacia sedimentar *offshore* do Brasil e vem sofrendo influência de ação antropogênica desde 1970. Nesse período ocorreram os primeiros estudos exploratórios sobre exploração e produção petrolífera no local (CHANG *et al.* 2008). Essas atividades vêm ocorrendo até os dias atuais, sendo executada pela Petrobras (ROSSI-SANTOS, 2015).

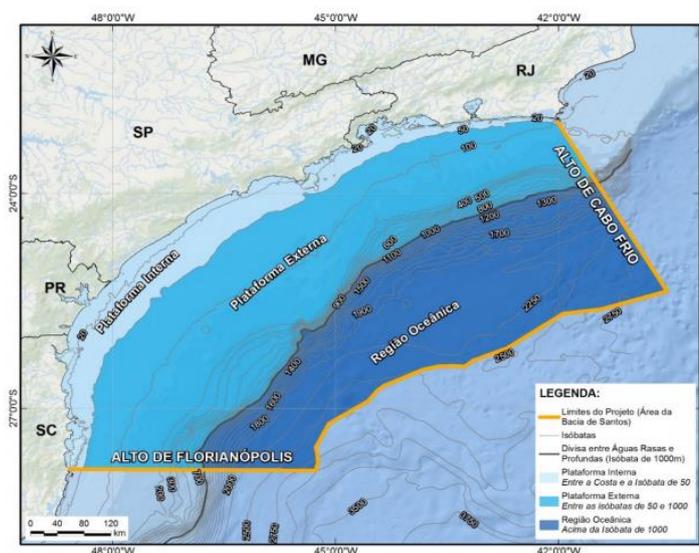


Figura 3. Mapa da localização da Bacia de Santos, região de estudo do presente trabalho. Fonte: PETROBRAS, 2015.

II.b. Coleta de dados

O MAP foi realizado em conjunto com as Campanhas de Avistagem durante cruzeiros em uma embarcação do tipo *mini supply*, de 23,7 metros de comprimento e seis metros de boca. Essa embarcação possui acomodações para 12 pesquisadores e seis tripulantes, com autonomia para até 45 dias de mar. O casco é composto por placas de ferro e possui dois motores Cummins de 325 HP cada (Figura 4). A área de estudo foi percorrida utilizando o método de transecções lineares com amostragem de distâncias (*Distance Sampling*) (BUCKLAND *et al.* 2001, THOMAS *et al.* 2010), abrangendo tanto águas profundas quanto águas rasas.



Figura 4. Embarcação *Sea Route*, utilizada para a coleta de dados do PMC. Fonte: PETROBRAS, 2018.

O esforço amostral dos cruzeiros embarcados foi realizado duas vezes por ano (uma por semestre). As amostras foram coletadas durante todo o período de luz e boas condições climáticas. Foram utilizados três observadores simultâneos posicionados na torre de observação, com auxílio de binóculos (7x50 e 15x50) onde realizavam a confirmação visual da espécie da campanha de Avistagem (Figura 5).



Figura 5. Observadores na torre de observação, localizada no pondo mais alto da embarcação *Sea Route*, durante os campos de Avistagem e MAP do PMC. Fonte: PETROBRAS, 2018.

Já para a obtenção dos dados acústicos no MAP, foi utilizado um sistema de processamento de dados ligado a um cabo de reboque de 500m com dois pares de hidrofones (Figura 6). Esses hidrofones eram lançados ao mar durante o início do esforço e recolhidos no final. Sendo um par para a detecção de eventos acústicos de alta frequência, de até 170 kHz, e outro para os eventos acústicos de baixa a média frequência, de um kHz até 48 kHz. No presente estudo foram utilizados os dados coletados através do APC International (modelo 42-1021) que capta frequências de baixas a médias com resposta de frequência entre 20 Hz e 100 kHz.



Figura 6. Cabo de reboque com os hidrofones, utilizados para a obtenção dos dados acústicos do PMC. Fonte: PETROBRAS, 2015.

Os hidrofones foram conectados a um sistema de processamento que compõem a Estação de MAP, localizada na ponte de comando da embarcação (Figura 7). Nessa ponte, a equipe com dois operadores se revezaram no monitoramento de três telas de computador, para a plotagem da fonte sonora e determinação da distância dos animais em relação à embarcação em tempo real, utilizado o programa computacional PamGuard (GILLESPIE *et al.* 2008). Para a detecção, a localização e a classificação de cliques de odontocetos (subsistema de alta frequência), foi utilizado o Ishmael, um programa computacional espectrográfico e o WhatTrack, um programa computacional de mapeamento com interface de GPS que realizou a localização dos sinais biológicos captados, todos em tempo real.



Figura 7. Observadores na estação de MAP da embarcação. Fonte: PETROBRAS, 2015.

As informações coletadas na estação de MAP foram preenchidas em uma planilha de detecção que possui informações relacionadas ao registro acústico: nome do operador, hora inicial e final da coleta, posição geográfica inicial e final,

profundidade inicial e final, condições ambientais (direção e intensidade do vento, tamanho das ondas, precipitação e o estado do mar na Escala Beaufort), velocidade e direção do navio, tipo de sinal acústico e o nível taxonômico mais próximo que operador pode identificar com base nas características dos sinais acústicos.

II.c. Descrição das etapas do processamento de dados

Após a realização de cada campanha, os dados acústicos coletados foram enviados da SOCIOAMBIENTAL para o Laboratório de Ecologia Acústica e Comportamento Animal (LEAC) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), onde foram realizadas as seguintes etapas:

I) Validação: conferência dos dados coletados, buscando confirmar a existência de sinais de cetáceos, nos arquivos de áudio que correspondem aos registros de detecções acústicas feitas em campo. Esta validação foi feita utilizando fone de ouvido para monitoramento aural e o programa computacional RAVEN 1.5® (Cornell Laboratory of Ornithology, Universidade de Cornell, Ithaca, Nova York) para gerar e visualizar os espectrogramas. Na validação confirmou-se o horário inicial e final da detecção, os tipos de sinais presentes, a identificação do táxon correspondente aos sinais detectados e a classificação da detecção. Também foi verificado se houve avistagem de cetáceos registrada pelos observadores durante a detecção acústica, e no caso positivo, confirmou o grupo taxonômico identificado pela avistagem.

II) Classificação quali-quantitativa: classifica as detecções de acordo com a quantidade e qualidade dos sinais de cetáceos registrados. Para os assovios, foi adotada uma escala, descrita no manual do programa computacional WhalTrack 2.6, composto pela taxa de ocorrência (quantidade de sinais) e a força do sinal. Esta escala é um indicativo da qualidade da detecção para aplicação das metodologias propostas para análise de dados.

III) Triagem: organização e seleção dos dados e arquivos associados, que confirmam as detecções acústicas de cetáceos, registradas em campo. Os dados

foram organizados em pastas: a pasta dos dados de MAP contém as pastas de cada campanha de Avistagem e MAP (e.g, PMC_BS_1, PMC_BS_2, PMC_BS_3) e cada dia das respectivas campanhas nomeadas pela data (e.g, 20160513, 20160514, 20160515), onde ficam as detecções acústicas nomeadas de acordo com o código da detecção (e.g, A1, A2, A3). Na pasta das detecções foram armazenados os arquivos de áudio (WAVE) que contém a detecção conforme foi verificado na etapa de validação.

Após o processamento dos registros acústicos das espécies coletadas no PMC, incluindo os do golfinho-rotador, os dados foram armazenados em uma base de arquivos denominada sonoteca, que está presente no site do Sis_PMC (no repositório também é possível encontrar os dados das outras bases metodológicas empregadas no projeto). A manutenção e alimentação contínua da sonoteca ajudarão a aprofundar a compreensão acerca das características vocais das espécies e auxiliará na personalização dos classificadores a serem utilizados durante as transecções para a detecção através do MAP.

II.d. Análises acústicas

Após a realização das três realizadas no processamento, os dados acústicos foram abertos no programa computacional RAVEN 1.5® (Cornell Laboratory of Ornithology, Universidade de Cornell, Ithaca, Nova York), sob a forma de espectrogramas (gráfico que permite visualizar o contorno sonoro, relacionando a frequência, eixo y, em função do tempo, eixo x).

No referido espectrograma, foi utilizada a configuração de janela Default 1.3 Power, Fast Fourier Transform (FFT) de 1024 pontos, com tamanho de janela de 120 segundos e em apenas uma janela para cada detecção acústica (ou grupo) da espécie de interesse. Desta forma, foi possível visualizar e extrair as características acústicas dos assovios para cumprir a meta de descrição do repertório acústico do golfinho-rotador.

Assim, para desempenhar essa etapa, foram selecionados os assovios com bom contorno visual, utilizando-se dos seguintes critérios: (1) contorno do sinal bem visível; (2) ser possível indicar onde começa e termina o evento, ou seja, clareza na frequência inicial e final no sinal respectivamente; (3) assovios sem sobreposição com outros sinais; e (4) boa relação sinal-ruído, quando o sinal de interesse se sobrepõe ao ruído da paisagem acústica, possibilitando a extração de todos os parâmetros selecionados (BAZÚA-DURÁN & AU, 2002; CAMARGO *et al.* 2006). Também foram excluídas da análise detecções em que a espécie foi avistada em grupos mistos, para que não fossem selecionados assovios de outras espécies (BONATO *et al.* 2015). Para assovios sucessivos separados por menos de 1s, foram seguidos os critérios de BAZÚA-DURÁN & AU (2002), se permanecessem as dúvidas quanto a esses assovios, eles deveriam ser desconsiderados.

A seleção dos assovios foi realizada manualmente e simultaneamente a extração de variáveis. Essas variáveis foram escolhidas por serem fáceis de mensurar através de espectrogramas e por serem frequentemente analisadas em outros estudos de caracterização de assovios (sons tonais) do golfinho-rotador e demais espécie de delfinídeos. Esse fator facilitou a análise de variação entre regiões, através da comparação entre estudos.

Nove parâmetros acústicos foram analisados (Figura 8):

- frequência inicial (kHz)- valor de frequência em que o assovio inicia;
- frequência final (kHz)- valor de frequência em que o assovio termina;
- frequência mínima (kHz)- menor valor de frequência atingida pelo assovio ao longo da sua duração;
- frequência máxima (kHz)- maior valor de frequência atingida pelo assovio ao longo da sua duração;
- amplitude (kHz)- equivale a variação de frequência e está relacionada com a intensidade do assovio;
- duração (s)- tempo percorrido pelo assovio através do eixo x;

- número de pontos de inflexão- quantidade de vezes em que ocorre a mudança na inclinação do contorno e direção do assovio, ao longo da sua duração;
- número de harmônicos- quantidade de vezes em que aparecem esses componentes integrais do sinal acústico, que possuem a mesma duração e com frequência múltipla em relação ao contorno do assovio principal;
- número de degraus- quantidade de vezes em que ocorre uma variação abrupta na frequência em determinado tempo do sinal, gerando uma quebra no contorno do assovio.

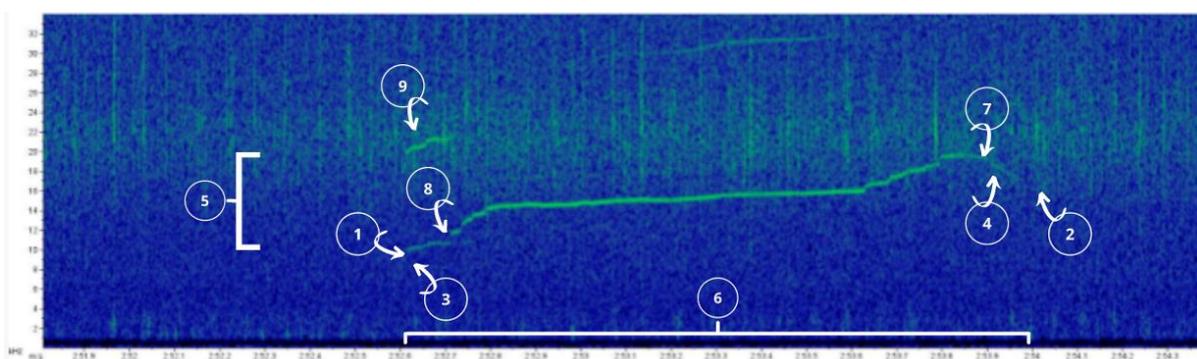


Figura 8. Espectrograma extraído do Raven 1.5 demonstrando o contorno do assovio e cada variável extraída representada por números. Onde (1) é frequência inicial, (2) frequência final, (3) frequência mínima, (4) frequência máxima, (5) amplitude, (6) duração, (7) número de pontos de inflexão, (8) número de degraus e (9) número de harmônicos.

II.e. Análises exploratórias das variáveis acústicas

Para verificar se existiam variáveis redundantes para explicar a variabilidade dos assovios do golfinho-rotador na BS, foi realizada uma análise fatorial com rotação Varimax (JACKSON, 2014). Para a exclusão dos fatores redundantes foram utilizados dois critérios concomitantes: retirar os fatores com as menores cargas (i), após o alcance de 90% da proporção acumulada da variância explicada (ii) (CAMARGO *et al.* 2006) (Tabela 1).

Em seguida, as variáveis foram selecionadas através da matriz de correlação entre as nove variáveis acústicas e os nove fatores, seguindo a ordem decrescente dos valores da carga de cada fator (Tabela 2). Assim, as variáveis selecionadas após a análise fatorial são aquelas mais independentes entre si e que conseguem explicar a maior parte de toda a variabilidade dos assovios da espécie.

Ainda como análise exploratória, foi realizada uma análise discriminante (WILLIAMS, 1983) para verificar se existe a formação de grupos de acordo com o padrão acústico dos assovios. Nessa análise foram utilizados dados dos 13 pontos de ocorrência (ver no item G) onde houve detecção acústica do golfinho-rotador e as variáveis escolhidas pela análise fatorial (Figura 8).

II.f. Análise de variação geográfica.

Para determinar se os assovios do golfinho-rotador possuíam variação geográfica, foram selecionados dez estudos em que foram utilizadas variáveis em comum com o presente estudo para comparação entre elas, são eles: i) STEINER (1981); ii) WANG *et al.* (1995); iii) DRISCOLL (1995); iv) BAZÚA-DURÁN & AU (2002); v) LAMMERS *et al.* (2003); vi) OSWALD *et al.* (2003); vii) CAMARGO *et al.* (2006); viii) OSWALD *et al.* (2007); ix) BONATO *et al.* (2015); e x) MORON *et al.* (2015).

Em seguida, foi calculado o intervalo de confiança ao nível de 95% (IC) para as nove variáveis acústicas extraídas no presente estudo (item E) e para os parâmetros disponibilizados pelos trabalhos citados anteriormente, utilizando os dados de média (μ), desvio padrão (DP) e o número de assovios (N). Para determinar qual população seria mais semelhante a população da BS (de acordo com cada variável), foi observada a sobreposição e a não sobreposição entre os ICs.

Dessa forma, as sobreposições, ou não sobreposições, indicam se não existe ou se existe diferença estatística, respectivamente, entre os valores das

variáveis encontradas nesse estudo com os estudos já publicados, com um nível de significância menor que 0,05 ($p < 0,05$).

II.g. Dados de ocorrência e ambientais.

Os dados de ocorrência georreferenciados dos grupos do golfinho-rotador foram coletados através dos cruzeiros embarcados do PMC nas coletas de MAP, telemetria e das avistagens aéreas e embarcadas, utilizando as planilhas disponíveis no Sis_PMC. Os dados foram filtrados, para ficarem em uma distância mínima de 9 km entre si, para abranger a faixa de distância que as camadas ambientais possuíam, totalizando 46 pontos de ocorrência.

Já os parâmetros ambientais, foram selecionados com bases em estudos realizados anteriormente e incluem variáveis dinâmicas e estáticas (BAUMGARTNER *et al.* 2001; CAÑADAS *et al.* 2002; DAVIS *et al.* 2002, DO AMARAL *et al.* 2015; TOBEÑA *et al.* 2016; GOMEZ *et al.* 2017; BARRAGÁN-BARRERA, 2019). As variáveis estáticas são: (i) batimetria, (ii) distância até a costa, (iii) inclinação da batimetria; e as variáveis dinâmicas são: (i) média anual da concentração da clorofila-a, (ii) amplitude anual da concentração da clorofila-a, (iii) média anual da atenuação difusa, (iv) média anual da salinidade da superfície do mar, (v) amplitude anual da salinidade da superfície do mar, (vi) média anual da temperatura da superfície do mar e (vii) amplitude anual da superfície do mar (Tabela 4).

As variáveis ambientais citadas acima foram coletadas através do banco de dados público Bio-Oracle (Oceans Rasters para Análise de Clima e Meio Ambiente) (TYBERGHEIN *et al.* 2012) e MARSPEC (Ocean Climate Layers from Marine Spatial Ecology) (SBROCCO & BARBER, 2013). Todas as camadas foram cortadas para abranger a área de estudo e ajustadas para uma resolução comum de 9 km por célula de grade usando o pacote raster (FICK & HIJMANS, 2017) em R 3.4.2 (R Core Team, 2018). Essa resolução foi escolhida, pois as camadas disponibilizadas no Bio-Oracle possuíam a resolução espacial mínima de 9 km.

Para definir quais as variáveis ambientais dentre as 10 utilizadas por BARRAGÁN-BARRERA *et al.* (2019) que explicam melhor os dados sem serem redundantes, foi utilizada uma análise fatorial com rotação Varimax (Jackson, 2014). Dessa forma, foram selecionadas cinco variáveis ambientais: i) Batimetria; ii) Inclinação da batimetria; iii) Amplitude anual da salinidade; iv) Amplitude anual da temperatura; e v) Média anual da concentração de clorofila-a. Esses dados irão compor o modelo de nicho ecológico, que irá determinar qual é a área com maior adequabilidade ambiental para a espécie na BS.

II.h. Modelo de nicho ecológico

O modelo de nicho ecológico para o golfinho-rotador na BS foi feito seguindo protocolo descrito em BARRAGÁN-BARRERA *et al.* (2019). Para construir o modelo, as áreas de maior adequabilidade ambiental e distribuição das espécies na área de estudo foi utilizado o algoritmo Maxent versão 1.1-4 (MEROW *et al.* 2013).

As configurações do modelo Maxent foram definidas por meio da função ENMevaluate do pacote ENMeval (MUSCARELLA *et al.* 2014). Essa função possibilita combinar diversos valores dos multiplicadores padronizados (para esse estudo variando de 0,5 a 5 em intervalos de 0,5) para todas as classes de fatores. O modelo com o valor mais baixo do Critério de Informação de Akaike corrigido para pequenos tamanhos de amostras (AICc) reflete a qualidade de ajuste e a complexidade do modelo (MUSCARELLA *et al.* 2014). Foi utilizado o bloco como método de particionamento de dados, que divide os dados em quatro blocos com base em linhas de latitude e longitude para dividir as localidades de ocorrência da maneira mais igual possível (MUSCARELLA *et al.* 2014).

Por fim, para a validação do modelo, foram adotados os valores da área sob a curva do operador-receptor (ROC) (AUC) como indicadores da habilidade preditiva do modelo (PHILLIPS *et al.* 2006). Onde AUC mais próximo do valor um seria o modelo perfeito e AUC igual a 0,5 indicaria que o modelo teve desempenho não melhor do que aleatório.

II.i. Relação entre as variáveis acústicas e os fatores bióticos e abióticos do ambiente.

Para avaliar como os fatores ambientais poderiam contribuir para explicar as variáveis acústicas do golfinho-rotador foi estabelecido um modelo de regressão múltipla, onde as variáveis acústicas foram utilizadas como variáveis respostas. O tamanho do grupo foi utilizado como variável preditora, representando os fatores bióticos do ambiente. Além disso, os valores de adequabilidade ambiental, aferida do modelo de nicho, também foram utilizados como variável preditora, representando os fatores abióticos do ambiente. Dessa forma, nesse modelo de regressão múltipla foi possível evidenciar quais tipos de fatores, bióticos ou abióticos, são importantes nos parâmetros acústicos do golfinho-rotador.

III. Resultados

Foram feitos 56 avistamentos do golfinho-rotador ao longo de 10 campanhas do PMC realizadas semestralmente. Desses avistamentos, 13 possuíam coleta acústica de MAP e um total de 46 pontos de ocorrência foram utilizados para avaliar o padrão de distribuição da espécie na região. Após a etapa de triagem dos dados, foram totalizadas 12 horas e 49 minutos de registros acústicos para a população da BS, da qual foi possível extrair 836 assovios com bom contorno e relação ruído-sinal para realizar a descrição do sinal.

III.a. Análises exploratórias

A Análise Fatorial demonstrou que os três últimos fatores são redundantes para explicar a variação nos dados acústicos (Tabela 1). Sendo assim, foram selecionados por meio da matriz de correlação (Tabela 2), seis principais variáveis que descrevem a variação dos assovios do golfinho-rotador, com o menor nível de sobreposição. Essas seis variáveis, mais independentes entre si, explicam mais de 94% da variação dos assovios.

Tabela 1. Cargas, proporções da variância explicada e proporções da variância explicada cumulativa dos nove fatores resultantes da análise fatorial para as nove variáveis acústicas dos 837 assovios analisados do golfinho-rotador, na Bacia de Santos. Os fatores que não foram necessários para o incremento da proporção da variância cumulativa de 0,9 (*i.e* 90%) estão sinalizados em vermelho. Os fatores estão apresentados na ordem decrescente do valor da carga.

	Fator 1	Fator 2	Fator 4	Fator 3	Fator 6	Fator 5	Fator 7	Fator 8	Fator 9
Carga	1,68	1,12	0,52	0,52	0,44	0,38	0,17	0,15	0
Variância explicada	0,34	0,22	0,1	0,1	0,09	0,08	0,03	0,03	0
Variância explicada cumulativa	0,34	0,56	0,67	0,77	0,86	0,94	0,97	1	1

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre as nove variáveis (F.I. = Frequência inicial; F.F. = Frequência final; F.Min. = Frequência mínima; F.Máx. = Frequência máxima; Dur. = Duração; Amp. = Amplitude; N.inf. = Número de inflecções; N.deg. = Número de degraus; e N.harm. = Número de harmônicos) e os nove fatores resultantes da análise fatorial dessas nove variáveis extraídas dos 836 assovios do golfinho-rotador, na Bacia de Santos. Os maiores coeficientes apresentados na ordem decrescente dos valores das cargas dos fatores (Tabela 1) estão sinalizados em negrito, bem como as variáveis acústicas selecionadas.

	Fator 1	Fator 2	Fator 4	Fator 3	Fator 6	Fator 5	Fator 7	Fator 8	Fator 9
F.I.	0,02	0,13	0,01	-0,07	0,08	0,52	0,02	-0,02	0,00
F.F.	0,13	0,12	0,15	-0,42	0,16	-0,22	0,15	-0,03	0,00
F.Min.	-0,01	0,94	-0,01	0,01	-0,02	0,02	0,01	-0,01	0,00
F.Máx.	0,80	0,11	0,03	-0,05	0,08	0,06	0,16	-0,15	0,00
Dur.	0,09	-0,12	0,00	0,09	0,52	0,08	-0,03	0,04	0,00
Amp.	0,92	-0,10	0,02	0,00	0,01	-0,05	-0,10	0,12	0,00
N.inf.	-0,03	0,12	0,10	0,50	0,15	-0,13	0,02	0,00	0,00
N.deg.	-0,02	0,01	0,48	0,00	0,05	0,01	-0,10	-0,05	0,00
N.harm.	0,05	-0,15	0,45	0,08	-0,10	0,02	0,06	0,11	0,00

A Análise de Agrupamento, realizada por meio da Análise Discriminante (Figura 9), não demonstrou a existência de um padrão de agrupamento acústico entre as amostras. Sendo assim, foi observado que existe uma alta homogeneidade

quanto a variação dos sinais em toda região de estudo, não existindo a formação de grupos de acordo com os parâmetros acústicos.

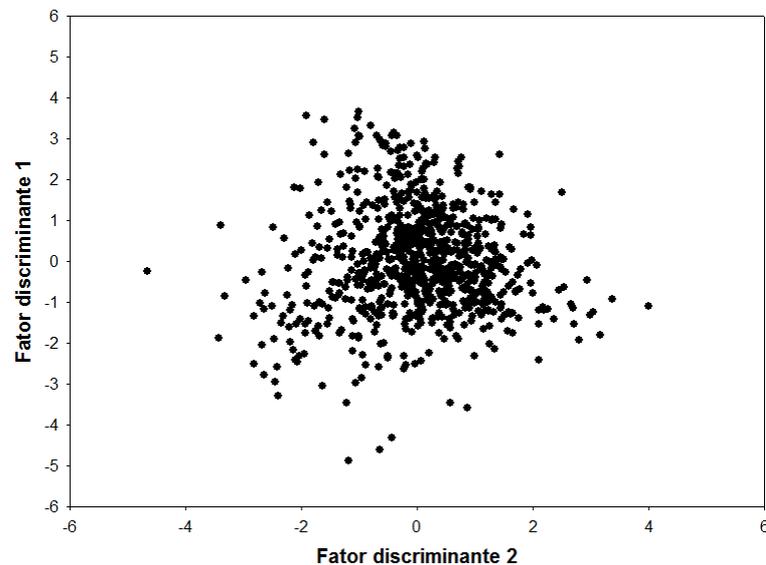


Figura 9. Variação das seis variáveis acústicas, selecionadas através da análise fatorial, ao longo dos 837 assovios analisados do golfinho-rotador na Bacia de Santos, em 13 pontos de avistamento acústico diferentes. O padrão está apresentado nos dois principais fatores discriminantes da análise de discriminante.

III.b. Caracterização dos assovios emitidos pelo golfinho-rotador

A variação total da frequência dos assovios foi de 2,67 e 32,14 kHz para a frequência inicial e a frequência final entre 4,56 e 29,14 kHz, com a média da frequência inicial (11,73 kHz) menor que a frequência final (14,93 kHz). Já a frequência mínima apresentou valores mínimos e máximos iguais a 2,23 e 21,96 kHz, respectivamente. A frequência máxima apresentou valores mínimos e máximos de 9,22 e 32,52 kHz, respectivamente. Além disso, a amplitude, oscilou entre 1,23 e 23,19 kHz e a duração apresentou valores entre 0,09 e 2,57s. Um resumo da estatística descritiva máxima, mínima, média, desvio padrão e coeficiente de variação de todos os parâmetros extraídos estão presentes na Tabela 3.

Já a descrição dos parâmetros modulares mostrou que 73,80% (n= 617) dos assovios possuem pontos de inflexão, variando entre zero e 12 pontos de inflexão.

No entanto 37,56% (n=314) dos assovios possuíam degraus, com mínima e máxima variando entre zero e 10 degraus, respectivamente. Quanto ao número de harmônicos, esses apareceram em 48,92% (n= 409) dos assovios, oscilando entre zero e cinco harmônicos.

Tabela 3. Estatísticas descritivas (mínima, máxima, média, desvio-padrão e coeficientes de variação) dos 9 parâmetros extraídos de 836 assovios de golfinho-rotador e comparação entre diferentes estudos realizados anteriormente. Os assovios emitidos na Baía de Santos, variaram em frequência, com mínima de 2,667 kHz e máxima de 32,52 kHz. A média da frequência final foi, maior que a frequência inicial. Observa-se que os parâmetros referentes à modulação do sinal (nº de degraus e nº de PI) e a duração foram os que apresentaram maiores coeficientes de variação, dentro da mesma população.

		F.Ini. (kHz)	F.Fin. (kHz)	F. Mín. (kHz)	F. Máx. (kHz)	Dur. (s)	Ampli. (kHz)	N.Inf.	N.Degr.	N.Harm.	Nº de assovios
Presente estudo	Mínimo	2,67	4,56	2,23	9,22	0,09	1,23	0	0	0	836
	Média	11,73	14,93	9,75	17,71	0,89	7,99	2,19	0,97	0,69	
	Máximo	32,14	29,14	21,96	32,52	2,57	23,19	12	10	5	
	Desv.pad	4,43	4,14	2,68	3,42	0,49	3,73	1,84	1,64	0,84	
	C.V	0,38	0,28	0,27	0,19	0,55	0,47	0,84	1,69	1,23	
MORON (2015)	Mínimo	3,713	1,409	3,326	5,698	0,036	0,484	0	0	<i>nd</i>	1100
	Média	11,749	13,61	10,179	15,964	0,672	4,729	1	1	<i>nd</i>	
	Máximo	25,71	26,3	23,303	26,485	2,56	20,04	16	22	<i>nd</i>	
	Desv.pad	64,09	4,062	3,195	4,103	0,454	3,638	2	3,543	<i>nd</i>	
BONATO <i>et al.</i> (2015)	Mínimo	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	953
	Média	12,25	16,06	10,25	19,63	0,88	<i>nd</i>	0,41	0,77	<i>nd</i>	
	Máximo	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
	Desv.pad	4,5	4,68	2,49	3,75	0,34	<i>nd</i>	0,69	1,39	<i>nd</i>	
OSWALD <i>et al.</i> (2007)	Mínimo	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	259
	Média	11,85	12,94	9,99	15,09	0,61	<i>nd</i>	1,89	0,83	<i>nd</i>	
	Máximo	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
	Desv.pad	4,42	4,33	3,18	4,57	0,42	<i>nd</i>	3,53	1,64	<i>nd</i>	
CAMARGO <i>et al.</i> (2006)	Mínimo	2,06	2,03	2,03	3,3	0,125	0	0	0	0	702
	Média	10,78	12,74	9,03	14,48	0,5	5,44	1,16	0,86	0,63	
	Máximo	23,08	22,52	19,36	23,08	1,8	16,6	6	12	3	
	Desv.pad	4,08	4,02	2,79	3,87	0,4	3,44	12	1,72	0,67	
OSWALD <i>et al.</i> (2003)	Mínimo	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	112
	Média	10,4	12,4	9,1	13,7	0,6	4,6	1,9	0,7	<i>nd</i>	
	Máximo	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	

	Desv.pad	3,4	3,6	2,5	3,5	0,4	3,4	4,1	1,4	<i>nd</i>	
LAMMERS <i>et al.</i> (2003)	Mínimo	<i>nd</i>	167								
	Média	<i>nd</i>	<i>nd</i>	10,1	17,4	0,66	7,3	<i>nd</i>	<i>nd</i>	1,83	
	Máximo	<i>nd</i>									
	Desv.pad	<i>nd</i>	<i>nd</i>	2,5	3	0,33	3,9	<i>nd</i>	<i>nd</i>	0,87	
BAZUÁ- DURAN & AU (2002).	Mínimo	2,58	2,29	1,99	2,66	0,028	0,39	0	0	<i>nd</i>	961
	Média	12,02	14,91	10,68	16,5	0,449	5,82	3,05	2,97	<i>nd</i>	
	Máximo	22,9	24	18,34	24	2,256	16,93	29	8	<i>nd</i>	
	Desv.pad	3,66	3,8	2,68	3,54	0,372	3,67	3,05	3,32	<i>nd</i>	
DISCOLL (1995)	Mínimo	4,64	4	4	5,6	0,04	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	965
	Média	11,8	14,46	10,19	16,8	0,661	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
	Máximo	21,44	23,04	21,22	23,04	1,87	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
	Desv.pad	3,66	3,91	2,4	3,17	0,0334	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
WANG <i>et al.</i> (1995)	Mínimo	3,91	7,19	3,91	8,75	0,1	<i>nd</i>	0	<i>nd</i>	<i>nd</i>	271
	Média	10,61	14,05	9,03	15,2	0,75	<i>nd</i>	1,07	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
	Máximo	18,92	22,46	14,38	22,46	1,82	<i>nd</i>	9	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
	Desv.pad	3,44	2,37	2,24	1,66	0,33	<i>nd</i>	1,19	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
STEINER (1981)	Mínimo	<i>nd</i>	2088								
	Média	9,76	13,17	8,76	14,32	0,43	<i>nd</i>	0,55	<i>nd</i>	<i>nd</i>	
	Máximo	<i>nd</i>									
	Desv.pad	3,51	3,1	2,62	2,76	0,33	<i>nd</i>	0,97	<i>nd</i>	<i>nd</i>	

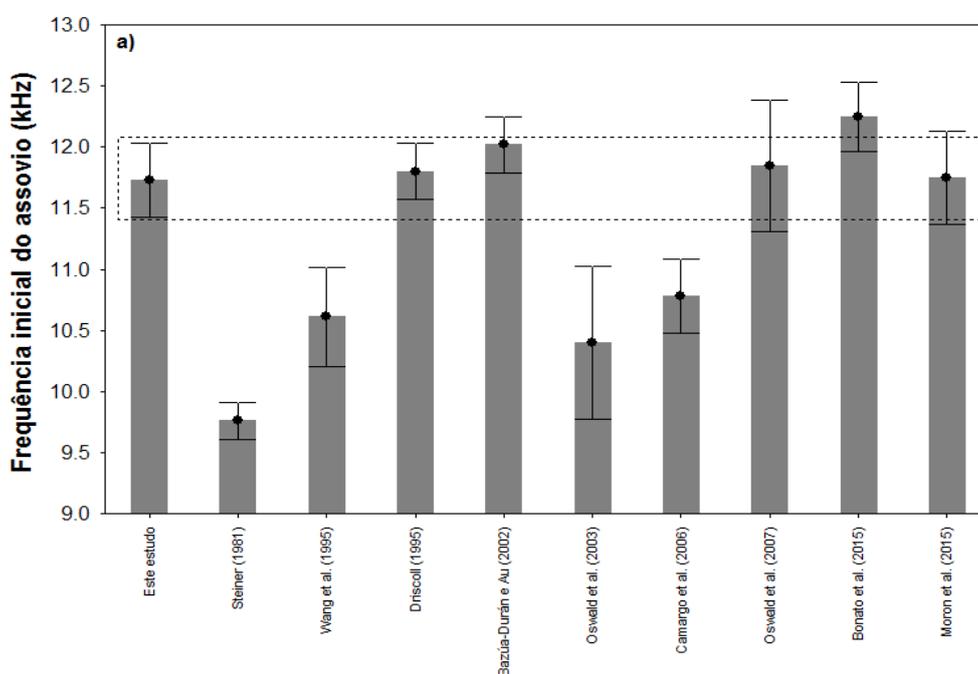
**nd* corresponde aos resultados não descritos.

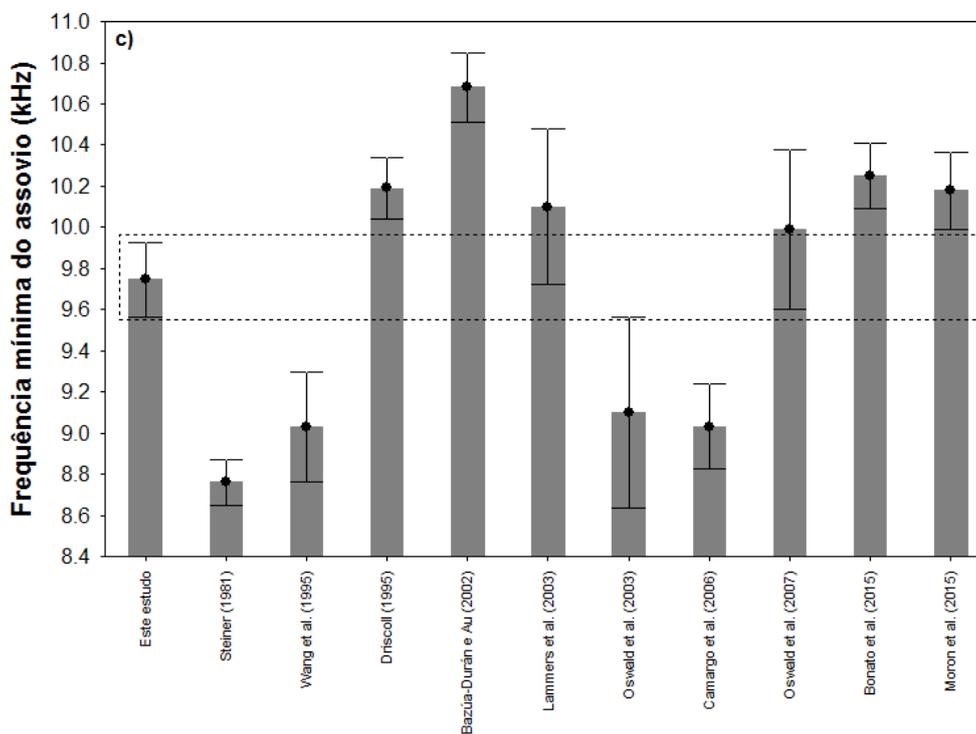
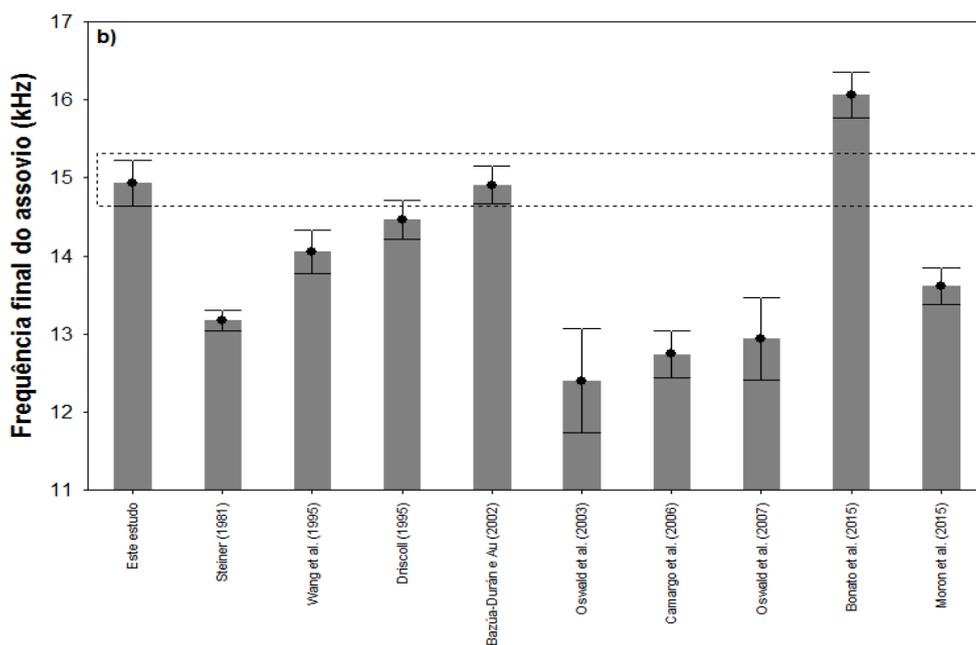
III.c. Análise de variação geográfica

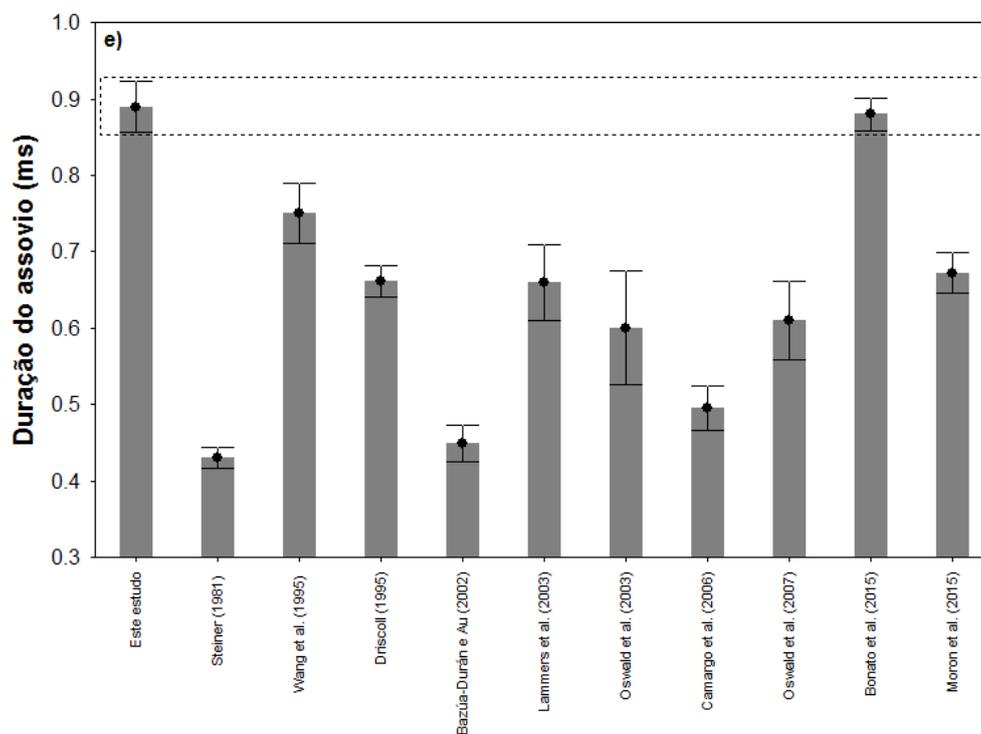
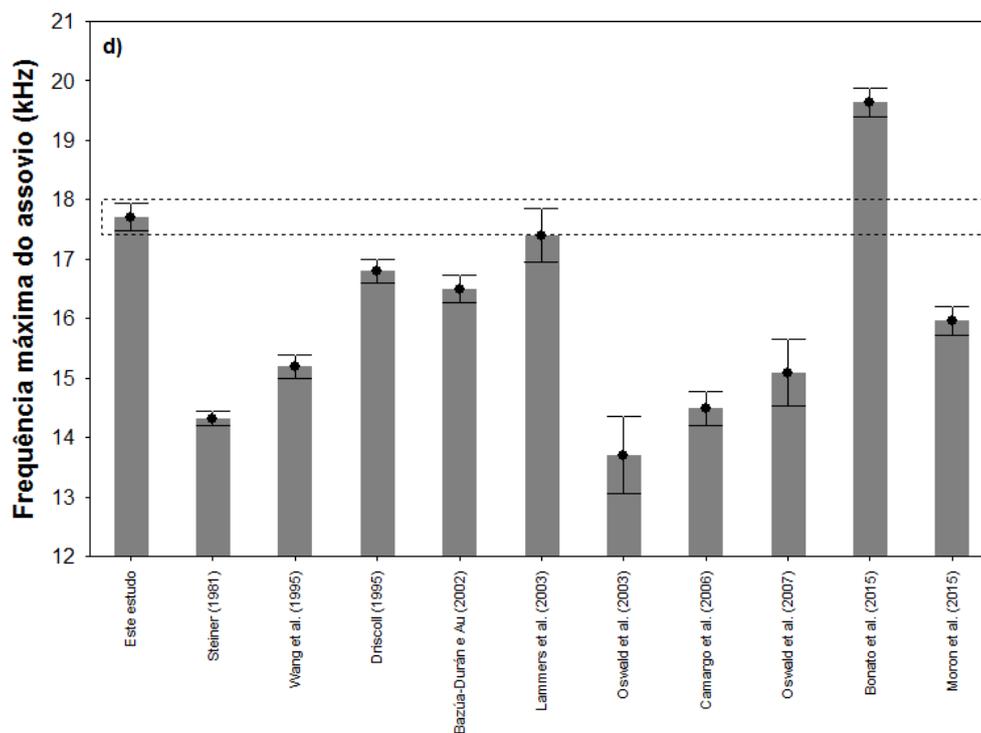
Existe bastante similaridade entre os resultados descritos no presente estudo com a população do Oceano Índico - Grande Comore para duração (Figura 10-e) e Oceano Pacífico - Oahu/Havaí para a amplitude do assovio (Figura 10-i). Para esses dois parâmetros, comparado aos outros estudos, o presente estudo apresentou uma média maior. Também pôde ser notada uma sobreposição dos IC para a frequência máxima dos assovios (Figura 10-d) entre as populações do Oceano Pacífico - Oahu/Havaí e do presente estudo.

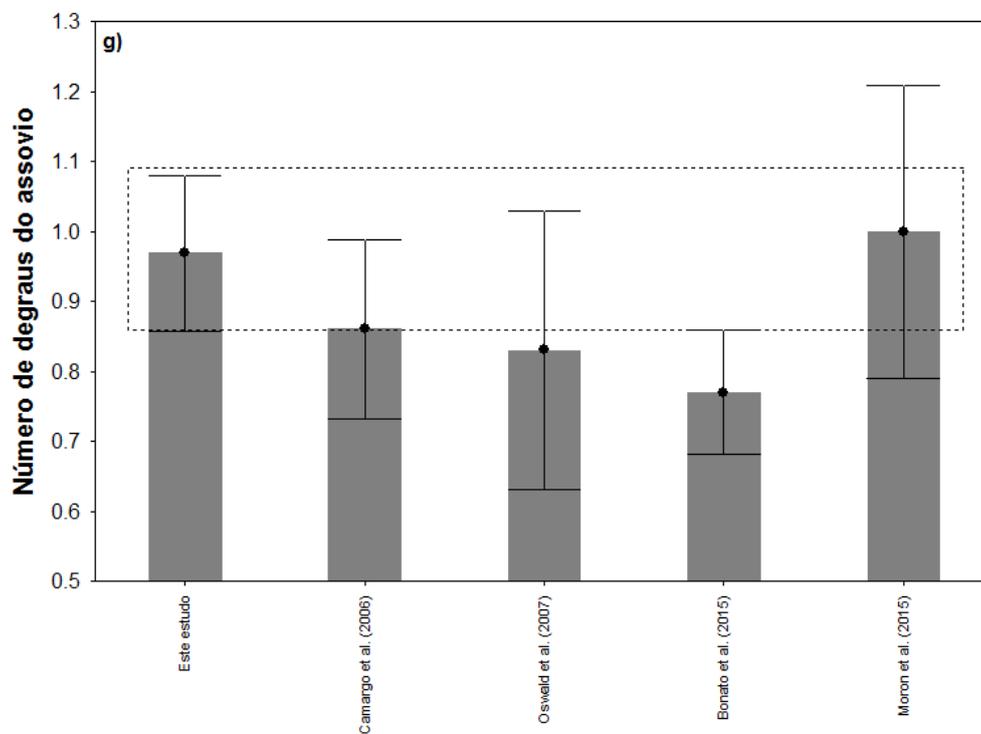
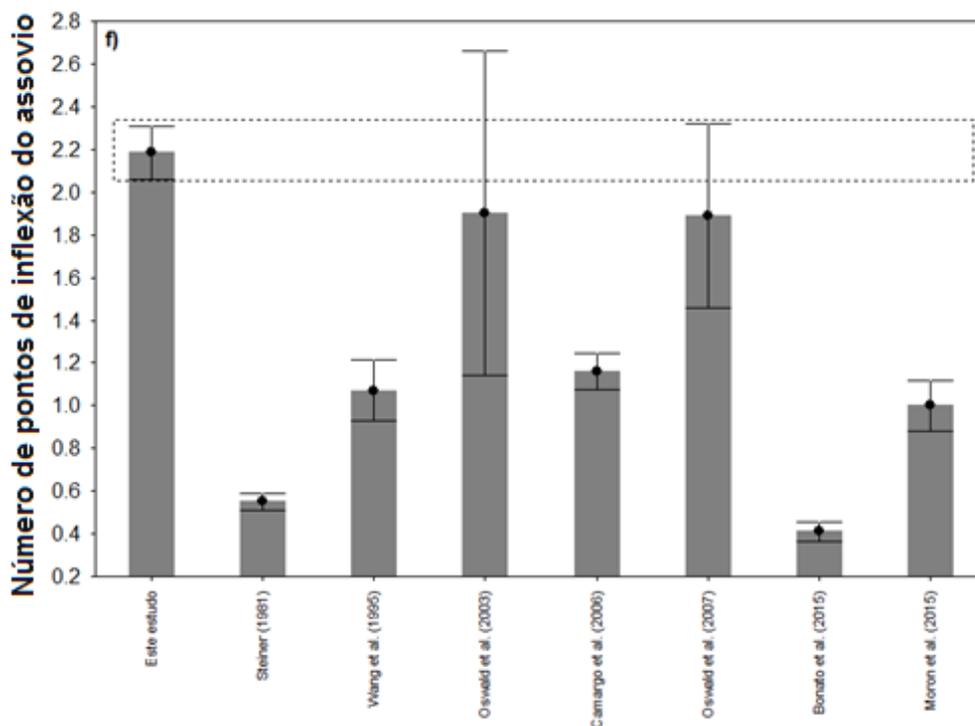
Quanto ao número de harmônicos (Figura 10-h), a população do presente estudo se mostrou mais semelhante a população do Oceano Atlântico a nordeste do Brasil - Arquipélago de Fernando de Noronha. Excluindo a população de Fernando de Noronha, o presente estudo apresentou média do número de harmônicos menor que os outros estudos comparados. Os demais parâmetros apresentaram média

dentro dos valores encontrados na literatura e o conjunto das variáveis mostraram maior similaridade com os resultados encontrados nas populações do Oceano Pacífico Tropical Oriental com quatro variáveis correlacionadas: frequência inicial (figura 10-a), frequência mínima (figura 10-c), número de pontos de inflexões (figura 10-f) e número de degraus (figura 10-g), respectivamente.









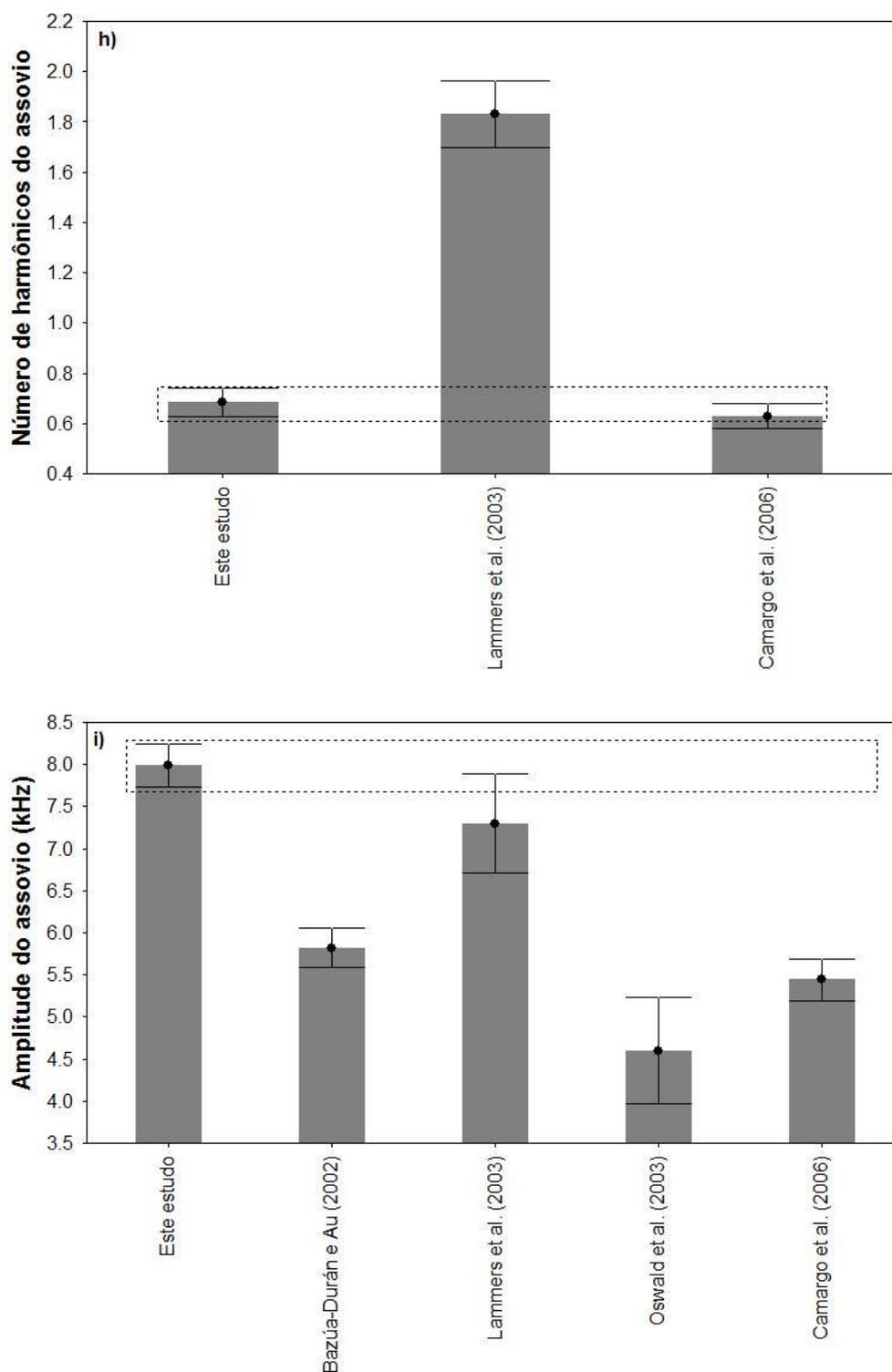


Figura 10. Médias (círculos) e intervalos de confiança ao nível de 95% (barras) das variáveis acústicas: a) Frequência inicial; b) Frequência final; c) Frequência mínima; d) Frequência máxima; e) Duração; f) Número de inflexões; g) Número de degraus; h) número de

harmônicos; i) amplitude, utilizadas para comparação deste estudo com dados já publicados dos assovios do golfinho-rotador (*Stenella longirostris*). A área de alcance do retângulo tracejado facilita a observação da sobreposição dos intervalos de confiança e indica resultados significativamente iguais ao deste estudo.

III.d. Distribuição do golfinho-rotador na Baía de Santos

O modelo de nicho ecológico do golfinho-rotador apresentou uma maior adequabilidade ambiental para a espécie no Talude Continental da BS uma área caracterizada por sua alta produtividade primária (Figura 11). As variáveis utilizadas na ordem decrescente de contribuição foram a Batimetria, Inclinação da batimetria, Média anual da concentração da clorofila-a, Amplitude anual da salinidade da superfície do mar e Amplitude anual da temperatura da superfície do mar, mostrada na Tabela 4.

A menor adequabilidade foi representada nas áreas da Plataforma Continental Interna, Plataforma Continental Externa e Região Oceânica (Figura 11). A distribuição da espécie foi mais representativa ao longo do Talude Continental, com um ponto onde houve detecção acústica ocorrendo na área da Plataforma Continental Externa.

Tabela 4. Variáveis ambientais utilizadas como preditoras do modelo de nicho do golfinho-rotador, *Stenella longirostris*, na Baía de Santos. As variáveis destacadas em itálico e negrito foram as variáveis selecionadas como as menos correlacionadas para construir o modelo de nicho, após a Análise Fatorial. São mostrados também, para cada variável, a fonte, a unidade de medida, a resolução original e a porcentagem de contribuição para o modelo de nicho.

Variáveis	Fonte	Unidade	Resolução original	Contribuição da variável (%)
<i>Batimetria</i>	MARSPEC	m	1 km	32,44
Distância até a costa	MARSPEC	km	1 km	—
<i>Inclinação da batimetria</i>	MARSPEC	graus	1 km	22,74
<i>Média anual da concentração da clorofila-a</i>	Bio-Oracle	mg/m ³	9 km	31,86
Amplitude anual da concentração da clorofila-a	Bio-Oracle	mg/m ³	9 km	—
Média anual da atenuação difusa	Bio-Oracle	m ⁻¹	9 km	—
Média anual da salinidade da	MARSPEC	psu	1 km	—

superfície do mar				
<i>Amplitude anual da salinidade da superfície do mar</i>	MARSPEC	psu	1km	2,29
Média anual da temperatura da superfície do mar	MARSPEC	°C	1km	–
<i>Amplitude anual da temperatura da superfície do mar</i>	MARSPEC	°C	1km	10,66

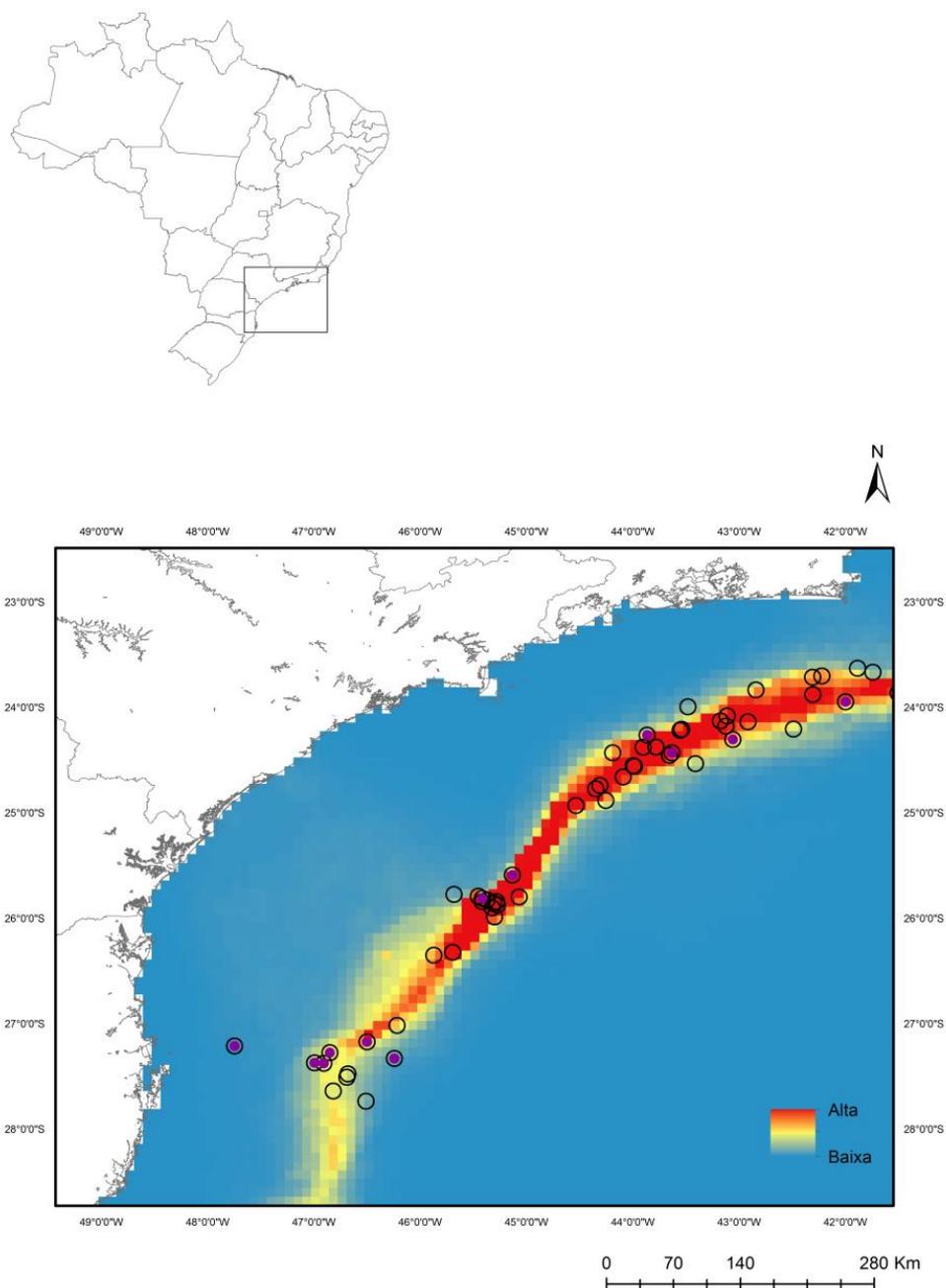


Figura 11. Padrão espacial de adequabilidade climática para o golfinho-rotador (*Stenella longirostris*), na Baía de Santos. Os pontos vazios são as ocorrências da espécie utilizadas para o modelo de nicho e os pontos roxos são os locais onde foram aferidos os parâmetros acústicos dos assovios.

III.e. Relação entre as variáveis acústicas e os fatores bióticos e abióticos do ambiente.

A amplitude do assovio foi a única variável acústica que apresentou uma correlação significativa com os valores de adequabilidade ambiental (Tabela 5). Essa correlação se mostrou negativa, indicando que essa variável aumenta em condições de baixa adequabilidade ambiental e diminui quando os níveis de adequabilidade estão mais altos.

Tabela 5. Coeficientes de regressão padronizados dos fatores bióticos (número de indivíduos avistados) e abióticos (adequabilidade ambiental) para cada variável resposta (variáveis acústicas) dos assovios do golfinho-rotador, na Baía de Santos. Também são mostrados a variância explicada pelo modelo (R^2) e o valor de significância (p) do modelo geral. O coeficiente com nível de significância menor que 0,05 está destacado em negrito e itálico.

Variável acústica	Biótico	Abiótico	R^2	p
Frequência inicial	-0,09	-0,09	0,14	0,95
Frequência mínima	0,19	0,46	0,21	0,38
Duração	0,29	-0,01	0,08	0,70
Amplitude	-0,14	-0,66	0,42	0,11
Número de inflexões	0,16	0,27	0,08	0,70
Número de degraus	-0,14	-0,44	0,19	0,42

IV. Discussão

IV.a. Caracterização dos assovios emitidos pelo golfinho-rotador

Os assovios reúnem um conjunto de características que sugerem que esse sinal funciona adequadamente na comunicação em longas distâncias e frequentemente em grupos com grande número de indivíduos (OSWALD & BARLOW, 2008), como o golfinho-rotador que geralmente está inserido em grupos dinâmicos e numerosos. Suas funções incluem a identificação de indivíduos, coesão entre animais dispersos e coordenação do grupo durante o forrageamento e viagem

(OSWALD & BARLOW, 2008). Além de serem omnidirecionais e possuírem uma faixa de propagação maior que os clicks e pulsos (OSWALD & BARLOW, 2008) e possuir elementos direcionais que oferecem informações acerca da localização e direção do emissor do sinal (LAMMERS & AU, 2003).

Assim, como demonstrado em Steiner (1981), Wang *et al.* (1995), Oswald *et al.* (2003) e Camargo *et al.* (2006), todas as variáveis referentes ao contorno do assovio (número de degraus, pontos de inflexão e harmônicos) no presente estudo, possuem um coeficiente de variação maior do que os parâmetros relacionados ao tempo e frequência do assovio, respectivamente. Existe o destaque para a frequência máxima que apresentou a menor variação (CV= 0,19). Essa alta variabilidade entre as variáveis de contorno dentro de uma mesma população pode ser resultado da modulação de cada indivíduo, auxiliando na transmissão de informações sobre identidade ou contexto ambiental que ele está inserido (STEINER, 1981; BAZÚA-DURÁN & AU 2004; AZEVEDO & VAN SLUYS, 2005; CAMARGO *et al.* 2005). Esse padrão também foi encontrado para outras espécies, como o golfinho-comum (*Delphinus delphis*), o golfinho-pintado-pantropical (*Stenella attenuata*) e o golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) (PAPALE *et al.* 2014; PAPALE *et al.* 2015).

Como demonstrado em Lammers *et al.* (2003), foi percebido no presente estudo que os assovios acompanhados de harmônicos foram mais altos que os assovios sem essa estrutura. Os golfinhos poderiam estar se afastando do gravador não permitindo captar esse sinal, ou modularam a sua ocorrência. Além disso, assovios que possuem mais de um harmônico obtiveram amplitude de frequência fundamental maiores. Esse fator sugere que essa estrutura harmônica pode estar presente nos assovios devido ao controle de modulação da amplitude do sinal no momento da emissão (LAMMERS *et al.* 2003). Pois, com o aumento da amplitude do sinal e, conseqüente, perda de um som puro, as distorções harmônicas são emitidas para direcionar de forma mais eficiente a frequência do contorno dos assovios (LAMMERS *et al.* 2003).

Segundo Wang *et al.* (1995), a frequência máxima dos assovios possui uma relação linear com o tamanho corporal dos indivíduos adultos, segundo a equação: $MaF=21.452-3.2537BL$ (MaF: frequência máxima em kHz e BL: tamanho corporal em m). Seguindo a fórmula proposta e considerando que o tamanho adulto dos golfinhos-rotadores varia entre 1,29 e 2,35m (PERRIN, 2009), a frequência máxima deve variar entre 13,8 e 17,3 kHz. A média encontrada no presente estudo foi de 17,71 kHz, ou seja, acima do esperado pela correlação. Esse resultado pode ser uma resposta aos ruídos existentes na região da BS, que faz com que os golfinhos sinalizem em frequências mais altas para melhorar a relação sinal-ruído, impedindo assim o mascaramento dos sinais pelo ruído e fazendo com que eles tenham um maior alcance (JANIK, 2000).

A exploração de petróleo é a terceira maior fonte de som no mar (BRANDLEY & STERN, 2008) e essa é uma das atividades realizadas na BS. Rossi-Santos (2015) em seu trabalho sobre a ecologia da paisagem sonora, incluindo plataformas de petróleo e gás, no Sul Oceano Atlântico, mostrou que essas plataformas produzem ruídos que variam em sua faixa de frequência mínima e máxima de zero a 48 kHz, respectivamente. Isso contribui com a poluição sonora e causa um mascaramento nos sinais emitidos pelos cetáceos que vocalizam dentro dessa faixa de frequência.

Lammers *et al.* (2003) relatam que a frequência fundamental dos assovios dos golfinhos-rotadores, geralmente se estende até a faixa ultrassônica. Com isso, pôde ser observado que em 26,91% (n = 225) dos assovios dos golfinhos-rotadores registrados na BS possuíram frequência máxima superior a 20 kHz. Demonstrando assim, a necessidade de o gravador utilizado para a obtenção dos dados poder abranger uma faixa de frequência maior, para que o repertório vocal dos golfinhos seja representado de uma forma melhor.

IV.b. Análise de variação geográfica

Ao fazer comparações entre diferentes estudos é necessário levar em consideração que existe algumas discrepâncias nos métodos e equipamentos que

podem modificar o processo de vocalização natural, como a presença de um barco (CAMARGO *et al.* 2006). O presente estudo foi realizado durante o MAP, porém com a presença de uma embarcação com motor, o que, dependendo da distância, pode alterar o comportamento dos indivíduos por conta do ruído. Porém, em alguns estudos, como o de Camargo *et al.* (2006), foram feitos com os animais em mergulho livre, o que pode ter causado menos interferência em seu comportamento e conseqüentemente menor influência na vocalização deles.

Outro fator, que contribui para as diferenças atribuídas entre os valores de frequência do presente estudo e os demais comparados, é a diferença no limite superior da faixa de frequência do gravador utilizado para captar os registros acústicos (BAZUÁ-DURAN & AU 2002). Para esta pesquisa foi utilizado um limite de frequência de 45 kHz, na maioria dos outros estudos foram utilizados limites entre zero e 24 kHz. Existe a exceção, dentre todos com os quais comparamos nossos resultados, de Wang *et al.* (1995), que utilizou um limite superior de 16 kHz. Dessa forma, Wang *et al.* (1995) apresenta médias de frequência mais baixas, quando comparada com outros resultados.

Ainda há as diferenças na análise e seleção dos assovios, bem como, no tempo de amostragem, o que são fatores relevantes para explicar a diferença entre os resultados das nossas variáveis com os resultados de outros estudos publicados (BAZUÁ-DURAN & AU 2002). As atividades que os indivíduos estão desempenhando, bem como, o tamanho do grupo no momento da gravação, também podem atuar na transmissão sonora, alterando assim as variáveis acústicas, principalmente a duração do sinal.

Bazúa-Durán (2004) concluiu que a diferença na fluidez dos grupos pode ser o fator mais importante quando se investiga as diferenças geográficas nos assovios dos golfinhos. Sendo assim, as diferenças encontradas na duração do sinal podem estar associadas ao registro de diferentes indivíduos, inseridos em diferentes tamanhos de grupo e engajados em diferentes atividades como: socialização, viagem e descanso (BAZUÁ-DURAN & AU 2002). Esse fator mostra a importância de se relacionar o estudo acústico com os dados comportamentais que estão

ocorrendo no momento do registro. Bonato *et al.* (2015) demonstraram em seu estudo, que os assovios emitidos em diferentes atividades comportamentais mostraram diferenças significativas, dependendo do tipo de comportamento. Porém, no presente estudo não foram inferidas informações acerca do comportamento, impossibilitando a comparação dos sinais emitidos com comportamentos específicos.

Os estados comportamentais estão intimamente relacionados com os dados acústicos dos golfinhos. As atividades antropogênicas, que produzem ruído no ambiente marinho, são capazes de alterar sua paisagem sonora, atuando também como um fator que altera a ecologia acústica dos cetáceos, evitando o mascaramento do sinal e interferindo no comportamento dos indivíduos (WELLS *et al.* 2004). Na BS foi percebido um aumento das médias dos parâmetros de duração e amplitude dos assovios do golfinho-rotador, quando comparados com outros estudos. Dessa forma, há um indício que as atividades antropogênicas nessa região estão influenciando na ecologia acústica da população de golfinho-rotador na BS. Contudo, ainda há a necessidade de mais estudos sobre as características do habitat e comportamento individual, para entender melhor como esses indivíduos alteram a estrutura acústica dos assovios na região.

IV.c. Distribuição do golfinho-rotador

Assim como em Barragán-Barrera *et al.* (2019), as variáveis dinâmicas e estáticas do presente estudo tiveram valores de teste de AUC maiores que 0,85 (0,876) para a espécie, indicando um desempenho do modelo melhor do que o esperado ao acaso.

Sabe-se que o Talude Continental, região que mostrou uma alta adequabilidade para a espécie, é uma região com alta produtividade primária, e é de conhecimento que os organismos tendem a se movimentar nessa direção em busca de recursos ambientais. Porém, esse deslocamento pode ser afetado por atividades antrópicas (BAUMGARTNER *et al.* 2001; MACLEOD *et al.* 2008). O que não parece ser o caso de região de estudo, pois os indivíduos estão distribuídos, em sua

maioria, ao longo da área de maior adequabilidade. A movimentação dos grupos dos golfinhos-rotadores também pode ser atribuída as variações sazonais nas correntes marítimas que ocorrem na região, como a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas, levando a movimentação da espécie para direções em águas mais quentes e tropicais da região (PETROBRAS, 2019).

Barragán-Barrera *et al.* (2019) mostraram em seu estudo uma sobreposição entre os nichos do golfinho-rotador e o golfinho-pintado-pantropical na Bacia do Caribe. Essa sobreposição de nicho ocorreu devido à alta produtividade dos ecossistemas costeiros-marinhos, que fornecem uma alta disponibilidade de recursos alimentares para as comunidades costeiras e oceânicas. MORENO *et al.* (2005), por sua vez, confirma a sobreposição espacial entre as duas espécies citadas anteriormente e golfinho-clímene, na região do Oceano Atlântico Sul, devido sua preferência por águas quentes e profundas. Já na BS foi observado a ocorrência de grupos mistos do golfinho-rotador com o golfinho-pintado-pantropical, mas não foram feitas análises acerca da adequação de nicho para a última espécie. Porém, estudos realizados anteriormente mostram que essas espécies possuem hábitos semelhantes, mas o golfinho-rotador tolera uma maior faixa de variação de temperatura (DO AMARAL *et al.* 2015).

Assim sendo, a temperatura e profundidade da água são características essenciais para definir os nichos ecológicos dos cetáceos. No entanto, a principal influência na distribuição geográfica é dada pela temperatura, devido aos eventos de ressurgência, que estão relacionados com a produtividade primária local (ANDRADE *et al.* 2003, DO AMARAL *et al.* 2015; BARRAGÁN-BARRERA *et al.* 2019). Outra variável importante é a batimetria, pois influencia na movimentação vertical e horizontal de peixes mesopelágicos, que fazem parte a dieta dos rotadores (BENOIT-BIRD & AU, 2003; BARRAGÁN-BARRERA *et al.* 2019).

Pode-se observar que a distribuição das presas é um fator determinante para a ocupação de uma determinada área, sendo intimamente influenciada pela temperatura. Por conta dessa influência é necessária uma maior atenção nas mudanças climáticas, pois, o aumento da temperatura pode afetar os ecossistemas

e a produtividade de regiões marinhas e costeiras, resultando em uma perda de biodiversidade (BARRAGÁN-BARRERA *et al.* 2019). Esse fator pode alterar padrões de comportamento, fazendo com que as espécies passem mais tempo envolvidas com a navegação a procura de alimentos nas águas oceânicas (BARRAGÁN-BARRERA *et al.* 2019). Como visto na BS, os golfinhos não apresentaram distribuição na região oceânica, demonstrando que os impactos antropogênicos da área ainda não afetaram o deslocamento da espécie.

TYACK (2008) mostra que outro fator relacionado com a distribuição dos indivíduos em determinada área são os estímulos acústicos de distúrbios humanos. Isso faz com que esses animais abandonem o habitat adequado, ou reduzam a capacidade dos animais de usar o habitat. ALLEN & READ (2000) mostraram que golfinhos se afastam de habitats de forrageamento quando o tráfego de navios é mais intenso. Com isso, mesmo não ocorrendo atualmente um impacto sobre o padrão no comportamento de distribuição da espécie, o mesmo pode ser gerado futuramente, devido ao intenso tráfego de embarcação na região. Esse fator mostra a necessidade de um maior monitoramento em longo prazo na região da BS.

IV.d. Influência de fatores bióticos e abióticos do meio ambiente nos assovios do golfinho-rotador

A velocidade da propagação sonora no mar é o comportamento acústico mais importante, pois, as variáveis acústicas vão interagir para que os sinais emitidos possam chegar com maior eficiência no receptor de interesse. Desse modo, essa velocidade é influenciada por três fatores físicos principais no ambiente marinho, seguindo a ordem de importância, a temperatura, a salinidade e profundidade (BRANDLEY & STERN, 2008).

Para entender como essas variáveis afetam a velocidade do som é necessário entender o perfil da velocidade do som (BRANDLEY & STERN, 2008). Em regiões de superfície, por exemplo, onde ocorre o aquecimento solar nas águas superficiais, as dinâmicas do oceano (como as ondas) vão promover uma mistura

das águas, fazendo com que a temperatura se torne constante com a profundidade dessa camada, havendo pouca mudança na velocidade sonora (BRANDLEY & STERN, 2008). Abaixo da superfície, mais precisamente na região da termoclina sazonal, a temperatura vai caindo e a velocidade do som também, já abaixo dessa camada, a temperatura se torna constante e a velocidade do som aumenta com a profundidade (pressão) (BRANDLEY & STERN, 2008).

As correlações entre parâmetros ambientais e acústicos pode ser resultado da pressão de seleção ambiental atuando nos sinais e a correlação entre essas variáveis atuará no sentido de maximizar a transmissão sonora (BONATO *et al.* 2015). Na BS, a amplitude se mostrou correlacionada com os fatores abióticos aferidos no modelo de nicho. Isto reforça a ideia de que os parâmetros de frequência (como a amplitude) podem ser úteis para observar adaptações locais, pois refletem o uso do habitat local (PAPALE *et al.* 2014). Confirmando assim, a “Hipótese de Adaptação Acústica” que pressupõe que as diferenças na estrutura do habitat influenciam a evolução do sinal acústico, pois, causam efeitos na transmissão sonora (WILKINS *et al.* 2013).

V. Conclusões

Foi possível observar o padrão de distribuição de grupos acusticamente ativos de *S. longirostris* na BS - Oceano Atlântico Sul, sendo realizada a caracterização dos seus assovios. Os valores estão dentro do que é mostrado na literatura a respeito da espécie, destacando os parâmetros de duração e amplitude que apresentaram valores mais altos, comparados com outros estudos.

As causas relacionadas com a distinção das variáveis de duração e frequência com outros estudos podem estar relacionadas com a variação geográfica, antropogenização da área e estado comportamental. Isso mostra que compreender esses padrões para as espécies de cetáceos é fundamental para avaliar melhor os possíveis impactos das atividades humanas sobre a população do golfinho-rotador na BS.

O Talude continental se mostrou mais adequado ambientalmente para a população de golfinho-rotador na BS. Essa é uma região com alta produtividade de recursos alimentares.

A amplitude dos assovios se mostrou significativamente relacionada com o modelo de adequabilidade ambiental, corroborando com a “Hipótese de Adaptação Acústica”. Essa variável aumenta em condições de baixa adequabilidade e diminui quando os níveis de adequabilidade estão mais altos.

VI. Referências Bibliográficas

ALLEN, M. C. & READ, A. J. Habitat selection of foraging bottlenose dolphins in relation to boat density near Clearwater, Florida. **Marine Mammal Science** 16:815–824, 2000.

AMARAL, A. R.; JACKSON, J. A.; MÖLLER, L. M.; BEHEREGARAY, L. B. & COELHO, M. Species tree of a recent radiation: the subfamily Delphininae (Cetacea, Mammalia). **Mol. Phylogenet. Evol.** 64, 243–253, 2012.

ANDRADE, C. A.; BARTON, E. D. & MOOERS, C. N. K. Evidence for an Eastward Flow along the Central and South American Caribbean Coast. **J. Geophys. Res.** 108, C6–C3185, 2003.

ANDREWS, K.; KARCZMARSKI, L.; AU, W. W.; RICKARDS, S.; VANDERLIP, C.; BOWEN, B.; GRAU, E. & TOONEN, R. Rolling stones and stable homes: Social structure, habitat diversity and population genetics of the Hawaiian spinner dolphin (*Stenella longirostris*). **Mol. Ecology**. 19. 732-48, 2010.

AZEVEDO, A. F. & VAN SLUYS, M. Whistles of tucuxi dolphins *Sotalia fluviatilis* in Brazil: Comparisons among populations. **J. Acoust. Soc. Am.** 1173, 1456–146, 2005.

BARRAGÁN-BARRERA, D. C.; DO AMARAL, K. B.; CHÁVEZ-CARREÑO, P. A.; FARÍAS-CURTIDOR, N., *et al.* Ecological niche modeling of three species

of *Stenella dolphins* in the Caribbean Basin, with application to the Seaflower Biosphere Reserve. **Front. Mar. Sci.**, 6 (10), pp. 1-17, 2019.

BAUMANN-PICKERING, S.; WIGGINS, S. M.; HILDEBRAND J. A.; ROCH, M. A. & SCHNITZLER, H-U. Discriminating features of echolocation clicks of melon-headed whales (*Peponocephala electra*), bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), and Gray's spinner dolphins (*Stenella longirostris longirostris*). **J. Acoust. Soc. Am.** 128:2212–2224, 2010.

BAUMGARTNER, M. F.; MULLIN, K. D.; MAY, L. N. & LEMING, T. D. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fish. Bull.* (Wash. DC) 99, 219–239, 2001.

BAZÚA-DURÁN, C. & W. W. L. AU Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawai'ian Islands. **J. Acoust. Soc. Am.** 116(6): 13, 2004.

BAZÚA-DURÁN, C. & W. W. L. AU. The whistles of Hawaiian Spinner dolphins. **J. Acoust. Soc. Am.** 112(6): 9, 2002.

BAZÚA-DURÁN, C. Differences in the whistle characteristics and repertoire of Bottlenose and Spinner Dolphins. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 76(2): 386-392, 2004.

BENOIT-BIRD, K. J. & AU, W. W. L. Prey dynamics affect foraging by a pelagic predator (*Stenella longirostris*) over a range of spatial and temporal scales. **Behav. Ecol. Sociobiol.** 53, 364–373, 2003.

BENOIT-BIRD, K. J. & AU, W. W. L. Phonation behavior of cooperatively foraging spinner dolphins. **J. Acoust. Soc. Am.** 124, 539–546, 2009.

BONATO, M.; PAPALE, E.; PINGITORE, G.; RICCA, S.; ATTOUMANE, A.; OULEDI, A. & GIACOMA, C. Whistle characteristics of the spinner dolphin population in the Comoros Archipelago. **J. Acoust. Soc. Am.** 138:3262–3271, 2015.

BOWLER, D. E. & BENTON, T. G. Causes and consequences of animal dispersal

strategies: relating individual behaviour to spatial dynamics. **Biological Reviews**, 80, 205–225, 2005.

BRADLEY, D. L. & STERN, R. Underwater sound and the marine mammal acoustic environment, A Guide to Fundamental Principles. Prepared for the U. S. **Marine Mammal Commission**, 2008.

BRAULIK, G. & REEVES, R. 2018. *Stenella longirostris* (versão da errata publicada em 2019). A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN 2018: e.T20733A156927622. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/20733/50375784>>. Acessado em março de 2021.

BUCKLAND, S. T.; ANDERSON, D. R.; BURNHAM, K. P.; LAAKE, J. L.; BORCHERS, D. L. & THOMAS, L. Introduction to Distance Sampling. Oxford University Press, Oxford, 2001.

CAMARGO, F. S.; ROLLO, J. M. M.; GIAMPAOLI, V. & BELLINI, C. Whistle variability in South Atlantic spinner dolphins from the Fernando de Noronha Archipelago off Brazil. **J. Acoust. Soc. Am.** 120(6): 9. CCARO, 2006.

CAÑADAS, A.; SAGARMINAGA, R. & GARCÍA-TISCAR, S. Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. **Deep-Sea Res.** 49, 2053–2073, 2002.

CARVALHO, S. B.; BRITO, J. C.; CRESPO, E. G.; WATTS, M. E. & POSSINGHAM, H. P. Conservation planning under climate change: toward accounting for uncertainty in predicted species distributions to increase confidence in conservation investments in space and time. **Biol. Conserv.** 144, 2020–2030, 2011.

CERCHIO, S.; STRINDBERG, S.; COLLINS, T.; BENNETT, C. & ROSENBAUM, H. Seismics surveys negatively affect humpback whales in gincactivityoff northern Angola. **PloSone.**, 9 (3), e86464, 2014.

CHANG, H. K.; ASSINE, M. L.; CORRÊA, F. S.; TINEN, J. S.; VIDAL, A. C. & KOIKE, L. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. *Revista Brasileira de Geociências*, 38 (2- suplemento): 29-46, 2008.

DAVIS, R. W.; FARGION, G. S.; MAY, N.; LEMIG, T. D.; BAUMGARTNER, M.; EVANS, W. E.; HANSEN, L. J. & MULLIN, K. Physical habitat of the cetaceans along the continental slope in the north central and western Gulf of Mexico. **Mar. Mamm. Sci.** 14, 490–507, 1998.

DAVIS, R. W.; ORTEGA-ORTIZ, J. G.; RIBIC, C. A.; EVANS, W. E.; BIGGS, D. C.; RESSLER, P. H.; CADY, R. B.; LEBEN, R. R.; MULLIN, K. D. & WÜRSIG, B. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep-Sea* 49, 121–142, 2002.

DELFOUR, F. Hawaiian spinner dolphins and the growing dolphin watching activity in Oahu. **Journal of Marine Biol. Ass. U.K** 87:109-112, 2017.

DO AMARAL, K. B.; ALVARES, D. J.; HEINZELMANN, L.; BORGES-MARTINS, M.; SICILIANO, S. & MORENO, I. B. Ecological niche modeling of *Stenella dolphins* (Cetartiodactyla: Delphinidae) in the southwestern Atlantic Ocean. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**; 472: 166–179, 2015.

DREHER, J. J. Linguistic aspects of porpoise sounds. **J. Acoust. Soc. Am.** 33: 1799-1800, 1961.

DRISCOLL, A. D. The whistles of Hawaiian spinner dolphins, *Stenella longirostris*. Master's thesis, University of California at Santa Cruz, 1995.

FARINA, A. & BELGRANO, A. The eco-field hypothesis: toward a cognitive landscape. **Landscape Ecology** 21:5–17, 2006.

FICK, S. E. & HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology** 37 (12): 4302-4315, 2017.

FRANKEL, A. S. Sound Production. **Encyclopedia of Marine Mammals**. Press, 1056-1071, 2009.

GAMBA, M. & GIACOMA, C. Key issues in the study of primate acoustic signals, an update. **J. Anthropol. Sci.** 88, 215–220, 2010.

GERRODETTE, T. & FORCADA, J. Nonrecovery of two spotted and spinner dolphin populations in the eastern tropical Pacific Ocean. **Marine Ecology Progress Series**, 291, 1–21, 2005.

GILLESPIE, D.; CAILLAT, M.; GORDON, J. & WHITE, P. Automatic detection and classification of odontocete whistles. **J. Acoust. Soc. Am.** 134(3): 2427, 2013.

GOMEZ, C.; LAWSON, J.; KOUWENBERG, A.-L.; MOORS-MURPHY, H.; BUREN, A.; FUENTESYACO, C., *et al.* Predicted distribution of whales at risk: identifying priority areas to enhance cetacean monitoring in the Northwest Atlantic Ocean. *Endang. Species Res.* 32, 437–458, 2017.

GOWANS, S.; WURSIG, B. & KARZMARSKI, L. The social structure and strategies of delphinids: Predictions based on an ecological framework. In: **Advances in Marine Biolog (ed Sims DW)**. Elsevier Ltd, Amsterdam, The Netherlands. pp. 195–294, 2008.

GRUDEN, P.; WHITE, P. R.; OSWALD, J. N.; BARKLEY, Y.; CERCHIO, S.; LAMMERS, M. & BAUMANN-PICKERING, S. Differences in oscillatory whistles produced by spinner (*Stenella longirostris*) and pantropical spotted (*Stenella attenuata*) dolphins. **Marine Mammal Science**, 32, 520–534, 2016.

HEENEHAN, H. L.; VAN PARIJS, S. M.; BEJDER, L.; TYNE, J. A. & JOHNSTON, D. W. (2016). Using acoustics to prioritize management decisions to protect coastal dolphins: a case study using Hawaiian spinner dolphins. **Marine Policy**, 75, pp. 84-90, 2016.

HEENEHAN, H. L.; VAN PARIJS, S. M.; BEJDER, L.; TYNE, J. A. & JOHNSTON, D. W. (2017). Differential effects of human activity on Hawaiian spinner dolphins in their resting bays. **Global Ecology and Conservation**, 10, pp. 60-69, 2017.

IOC-UNESCO. 2019. A ciência que precisamos para o oceano que queremos. Disponível em: http://decada.ciencianomar.mctic.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Ciencia_precisamos_oceano_que_queremos.pdf

Acessado em março de 2021.

IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza). *Stenella longirostris*. A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN. Versão 2021-1. 2012.

JACKSON, J. E. Varimax Rotation. **Wiley StatsRef: Statistics**. 2014.

JACOBINA, A. M. S. Os Cetáceos. Dissertação de mestrado. Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde. Brasília. 2000.

JANIK, V. M. Source levels and the estimated active space of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistles in the Moray Firth, Scotland. **J. Com. Physiol. A**. 186: 673-680, 2000.

JANIK, V. M. Acoustic communication in delphinids. **Adv. Study Behav.** 40, 123–157, 2009.

JEFFERSON, T. A. Estimates of abundance of cetaceans in offshore waters of the northwestern Gulf of Mexico, 1992–1993. **Southwest. Nat.** 41 (3), 279–287, 1996.

KASCHNER, K.; WATSON, R.; TRITES, A. & PAULY, D. Mapping world-wide distributions of marine mammal species using a relative environmental suitability (RES) model. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 316, 285–310, 2006.

KRAUSE B. Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. **Whole Earth Review** 57: 14–18, 1987.

LAMMERS, M. O. Occurrence and behavior of Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) along Oahu's Leeward and South Shores. **Aquat. Mamm.** 30, 237–250, 2004.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L. & HERZING, D. L. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. **J. Acoust. Soc. Am.** 114(3): 11, 2003.

LAMMERS, M.O. & AU W.W.L. Directionality in the whistles of Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): a signal feature to cue direction of movement? **Mar. Mammal Sci.** 19, 249–264, 2003.

LIN, T. H. & CHOU, L. S. Automatic classification of delphinids based on their representative frequencies of whistles. **J. Acoust. Soc. Am.** 1003–1011, 2015.

LIN, T.-H.; CHOU, L.-S.; AKAMATSU, T.; CHAN, H.-C.; CHEN, C.-F. An automatic detection algorithm for extracting the representative frequency of cetacean tonal sounds. **J. Acoust. Soc. Am.** 134, 2477–2485, 2013.

LODI & BOROBIA. Baleias, Botos e Golfinhos do Brasil: Guia de identificação, Ed: Technical Books, 2013.

LUCENA, A.; PALUDO, D. & LANGGUTH, A. New records of Odontoceti (Cetacea) from the coast of Paraíba, Brazil. **Rev. Nordestina Biol.** 12, 19–27, 1998.

LUSSEAU, D. Effects of tour boats on the behavior of bottlenose dolphins: Using Markov chains to model anthropogenic impacts. **Conserv. Biol.** 17, 1785–1793, 2003.

MACLEOD, C. D.; MANDLEBERG, L.; SCHWEDER, C.; BANNON, S. M. & PIERCE, G. J. A comparison of approaches for modelling the occurrence of marine animals. **Hydrobiologia** 612, 21–32, 2008.

MEROW, C.; SMITH, M. & SILANDER, J. A. A practical guide to Maxent: what it does, and why inputs and settings matter. **Ecography**, 36, 1– 12, 2013.

MILLER, P. J.; ANTUNES, R. N.; WENSVEEN, P. J.; SAMARRA, F. I.; ALVES, A. C.; TYACK, P. L.; KVADSHEIM, P. H.; KLEIVANE, L.; LAM, F.-P.A. & AINSLIE, M. A. Dose–response relationships for the onset of avoidance of sonar by free-ranging killer whales. **J. Acoust. Soc. America** 135, 975–993, 2014.

MONLLOR-HURTADO, A.; PENNINO, M. G. & SANCHEZ-LIZASO, J. L. Shift in tuna catches due to ocean warming. **PLoS ONE** 12 (6), e0178196, 2017.

MOREIRA, J. L. P.; MADEIRA, C. V.; GIL, J. A. & MACHADO, A. P. M. Bacia de Santos: Boletim de Geociências da Petrobras, Vol. 15, No. 2. Rio de Janeiro. 2007.

MORENO, I. B.; ZERBINI, A. N.; DANILEWICZ, D.; SANTOS, M. C. O.; SIMÕES-LOPES, P. C.; LAÍLSON-BRITO J. R. & J., AZEVEDO, A. F. Distribution and habitat characteristics of dolphins of the genus *Stenella* (Cetacea: Delphinidae) in the southwest Atlantic Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 300, 229–240. Morin, P.A., Archer, F.I., Foote, A, 2005.

MORON, J. R.; AMORIM, T. O. S; SUCUNZA, F.; DE CASTRO, F. R.; ROSSI-SANTOS, M. & ANDRIOLO, A. Spinner dolphin whistle in the Southwest Atlantic Ocean: Is there a geographic variation? **J. Acoust. Soc. America** 138, 2495, 2015.

MUSCARELLA, R.; GUARDIA, M. S.; BORIA, R. A. KASS, J. M; URIART, M. & ANDERSON, R. P. ENMeval: an R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. – **Methods Ecol. Evol.** 5: 1198– 1205, 2014.

NORRIS, K. S.; WURSIG, B.; WELLS, R. S. & WURSIG, M. The Hawaiian Spinner Dolphin. Univ. of California, Berkeley, 1994.

NRC. Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining when Noise Causes Biologically Significant Effects. National Academies Press, Washington, D.C, 2005.

O'HARA, T. M. & O'SHEA, T. J. Toxicology. In: CRC Handbook of Marine Mammal Medicine (Eds.: Dierauf, L.A. & Gulland, F.M.D.). **CRC Press, Boca Raton**. 471-520, 2001.

OREMUS, M.; POOLE, M. M.; STEEL, D. & BAKER, C. S. Isolation and interchange among insular spinner dolphin communities in the South Pacific revealed by individual identification and genetic diversity. **Marine Ecology-Progress Series**, 336, 275–289, 2007.

OSWALD, J. N.; BARLOW, J. & NORRIS, T. F. Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean. **Marine Mammal Sci.** 19, 20–37, 2003.

OSWALD, J. N.; RANKIN S.; BARLOW J. & LAMMERS, M. O. A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles. **J. Acoust Soc. Am.** 122: 587–595, 2007.

OSWALD, J. N.; RANKIN, S. & BARLOW, J. The effect of recording and analysis bandwidth on acoustic identification of delphinid species. **J. Acoust. Soc. Am.** 116, 3178–3185, 2004.

OSWALD, J. N., RANKIN, S. & BARLOW, J. To whistle or not to whistle? Geographic variation in the whistling behavior of small odontocetes. **Aquat. Mamm.** 34, 288—302, 2008.

OTT, P. & DANILEWICZ, D. Southward range extension of *Steno bredanensis* in the southwest Atlantic and new records of *Stenella coeruleoalba* for Brazilian waters. **Aquat. Mamm.** 22, 185–189, 1996.

PAPALE, E.; AZZOLIN, M.; CASCÃO, I.; GANNIER, A.; LAMMERS, M. O.; OSWALD, J. N.; PEREZ-GIL, M.; SILVA, M. & GIACOMA, C. The acoustic structure of whistles as a tool for identifying evolutionary units in dolphins. **J. Acoust. Soc. Am.** 135, 2241, 2014.

PAPALE, E.; GAMBÀ, M.; PEREZ-GIL, M.; MARTIN, V. M. & GIACOMA, C. Dolphins adjust species-specific frequency parameters to compensate for increasing background noise. **PLoS ONE** 10, e0121711, 2015.

PARENTE, C. L.; ARAÚJO, J. P.; MONTEIRO-NETO, C. & REIS, E. C. Mamíferos marinhos no Brasil: aspectos gerais, ameaças, pesquisa e conservação. In: Reis, E.C., Curbelo-Fernandez, M.P., editoras. Mamíferos, quelônios e aves: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. Habitats**, v. 7. p. 15-33, 2017.

PATRIZZI, N. S & DOBROVOLSKI, R. Integrating climate change and human impacts into marine spatial planning: A case study of threatened starfish species in Brazil. *Ocean and Coastal Management* 161, 177–188, 2018.

PERRIN, W. F. *Stenella frontalis*. **Mamm Species** 702:6, 2001.

PERRIN, W. F. Spinner Dolphin *Stenella longirostris*. *Encyclopedia of marine mammals- Elsevier* 1100-1103, 2009.

Perrin, W.F. (2021). World Cetacea Database. *Stenella* Gray, 1866. Disponível em <<http://www.marinespecies.org/cetacea/aphia.php?p=taxdetails&id=137024>> Acessado em maio de 2021.

PERRY, A. L.; LOW, P. J.; ELLIS, J .R.; REYNOLDS, J. D. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308 (5730), 1912–1915, 2005.

Petrobras. Projeto de monitoramento de cetáceos na Bacia de Santos – PMC. Projeto executivo, Volume Único, 2015.

PHILLIPS, J. P; ANDERSON, R. P. & SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecol. Model.** 190: 231– 259, 2006.

PIJANOWSKI, B. C.; VILLANUEVA-RIVERA, L. J.; DUMYAHN, S. L.; FARINA, A.; KRAUSE, B. L.; NAPOLETANO, B. M.; GAGE, S. H. & PIERETTI, N. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **Bioscience** 61(3):203–216, 2011.

PINEDO, M. C.; F W. ROSAS & MARMONTEL. Cetáceos e Pinípedes do Brasil-Uma revisão dos registros e guia para identificação das espécies. 1992.

PINEDO, M.C. & CASTELLO, H. P. Primeiros registros dos golfinhos, *Stenella coeruleoalba*, *Stenella cf. plagiodon* e *Steno bredanensis* para o sul do Brasil, com notas osteológicas. **Bol. Inst. Ocean.** 29, 313–317, 1980.

POLOCZANSKA, E. S.; BURROWS, M. T.; BROWN, C. J.; MOLINOS, J. C.; HALPERN, B. S., *et al.* Response of marine organisms to climate change across oceans. **Front. Mar. Sci.** 3, 62, 2016.

POUGH, F. H.; HEISER, J. B. & JANIS, C. A vida dos vertebrados. 4. ed. Atheneu, São Paulo, 684p, 2008.

PROJETO GOLFINHO-ROTADOR FERNANDO DE NORONHA. (1990). Disponível em: <<http://golfinhorotador.org.br/os-gofinhos/rotadores-de-noronha/>>. Acesso em dezembro de 2020.

READ, A. J.; DRINKER, P. & NORTHRIDGE, S. Bycatch of Marine Mammals in U.S. and Global Fisheries. **Conservation Biology**, 20: 163-169, 2006.

REILLY, S. B. Seasonal changes in distribution and habitat differences among dolphins in the Eastern Tropical Pacific. **Marine Ecology Progress Series**, 66, 1–11, 1990.

RICHARDSON, W. J.; GREENE, C. R. J.; MALME, C.I & THOMSON, D.H. Marine mammals and noise. San Diego: **Academic Press**, 1995.

ROCH, M. A.; BRANDES, T. S.; PATEL, B.; BARKLEY, Y.; BAUMANN-PICKERING, S. & SOLDEVILLA, M. S. Automated extraction of odontocete whistle contours. **J. Acoust. Soc. Am.** 130, 2212–2223, 2011.

RODRIGUEZ, J. P.; BROTONS, L.; BUSTAMANTE, J. & SEOANE, J. The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. **Divers. Distrib.** 13, 243–251, 2007.

ROLLAND, R. M.; PARKS, S. E.; HUNT, K. E.; CASTELLOTE M.; CORKERON, P. J.; NOWACEK, D. P.; WASSER, S. K. & KRAUS, S. D. Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B: **Biological Sciences***, 279 (1737): 2363-2368, 2012.

ROMAN, J.; ESTES, J. A.; MORISSETE, L.; SMITH, C.; COSTA, D.; MCCARTHY, J.; NATION, J. B.; NICOL, S.; PERSHING, A. & SMETACEK, V. Whales as marine ecosystem engineers. *Frontiers in Ecology and Environment*, 12(7): 377- 385, 2014.

ROSSI-SANTOS, M. R. Oil industry and noise pollution in the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) soundscape ecology of the southwestern Atlantic breeding ground. *Journal of Coastal Research*, 31(1): 184–195, 2015.

ROSSI-SANTOS, M. R., & DE OLIVEIRA, G. Combining Cetacean Soundscape Ecology and Niche Modeling to Contribute in the Mapping of the Brazilian Continental Shelf. *Journal of Coastal Research*, 141–166, 2016.

ROSSI-SANTOS, M. R.; SILVA-JR, J. M.; SILVA, F. L. & MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Descriptive parameters of pulsed calls for the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, in the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 88(6), 1093–1097, 2008.

SBROCCO, E. J. & BARBER, P. H. MARSPEC: ocean climate layers for marine spatial ecology. *Ecological Society of America* Pages 979-979.

SCHICK, R. S. & URBAN, D. L. Spatial components of bowhead whale (*Balaena mysticetus*) distribution in the Alaskan Beaufort Sea. *Canadian, Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57: 2193-2200, 2000.

SECCHI, E. & SICILIANO, S. Comments on the southern range of the spinner dolphin (*Stenella longirostris*) in the western South Atlantic. *Aquat. Mamm.* 21, 105-105, 1995.

SIMÕES-LOPES, P. C. & XIMÉNEZ, A. Annotated list of the cetaceans of Santa Catarina coastal waters, southern Brazil. **Biotemas** 6, 67–92, 1993.

SOUTHALL B. L.; BOWLES A. E.; ELLISON W. T.; FINNERAN J. J.; GENTRY, R. L.; GREENE JR., C. R.; KASTAK, D.; KETTEN, D. R.; MILLER, J. H.; NACHTIGALL, P. E.; RICHARDSON, J. W.; THOMAS, J. A. & TYACK, P. L. Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations. **Aquatic Mammals** 33(4): 411-414, 2007.

STEINER, W. W. Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five Western North Atlantic dolphin species. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 9, 241–246, 1981.

TAYLOR, B.L.; MARTINEZ, M.; GERRODETTE, T.; BARLOW, J. & HROVAT, Y.N. Lessons from monitoring trends in abundance of marine mammals. **Marine Mammal Science**, 23: 157–175, 2007.

THOMAS, L.; BUCKLAND, S.T.; REXSTAD, E.A.; LAAKE, J.L.; STRINDBERG, S.; HEDLEY, S.L.; BISHOP, J.R.B.; MARQUES, T.A. & BURNHAM, K.P. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. **Journal of Applied Ecology**, 47: 5-14, 2010.

TOBEÑA, M.; PRIETO, R.; MACHETE, M. & SILVA, M. A. Modeling the potential distribution and richness of cetaceans in the Azores from Fisheries Observer Program data. **Front. Mar. Sci.** 3:202, 2016.

TYACK, P. L. Convergence of calls as animals form social bonds, active compensation for noisy communication channels, and the evolution of vocal learning in mammals. **Journal of Comparative Psychology** 122: 319–331, 2008.

TYACK, P. L. Functional aspects of cetacean communication. In J.Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack; Hal Whitehead, eds. *Cetacean societies: Field studies of dolphins and whales*. The University of Chicago Press, Chicago, IL, 270–307, 2000.

TYBERGHEIN, L.; VERBRUGGEN, H.; PAULY, K.; TROUPIN, C.; MINEUR, F. & DE CLERCK, O. Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modelling. **Glob. Ecol. Biogeogr.** 21, 272–281, 2012.

VAN OPZEELAND I. & BOEBEL O. Marine soundscape planning: Seeking acoustic niches for anthropogenic sound. **Journal of Ecoacoustics**. 2: #5GSNT8, 2018.

VAN-WAEREBEEK, K.; BAKER, A. N.; FÉLIX, F.; GEDAMKE, J.; IÑIGUEZ, M.; SANINO, G. P.; SECCHI, E., SUTARIA, D., VAN HELDEN, A. & WANG, Y. Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, 6(1): 43-69, 2007.

VAUGHN-HIRSHORN, R. L.; HODGE, K. B.; WÜRSIG, B.; SAPPENFIELD, R. H.; LAMMERS, M. O. & DUDZINSKI, K. M. Characterizing dusky dolphin sounds from Argentina and New Zealand. **J. Acoust. Soc. Am.** 132 (1): 498–506, 2012.

WANG, D.; WURSIG, B. & Evans, W. Comparisons of whistles among seven odontocete species. *Sensory Systems of Aquatic Mammals*, Ed. by R. A. Kastelein, J. A. Thomas, and P. E. Nachtigall De Spil, Woerden, The Netherlands, pp. 299–323, 1995.

WARE, H. E.; MCCLURE, C. J. W.; CARLISLE, J. D. & BARBER, J. R. A phantom road experiment reveals traffic noise is an invisible source of habitat degradation. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 2015.

WELLS, R. S.; RHINEHART, H. L. & HANSEI L. J. Bottlenose Dolphins as Marine Ecosystem Sentinels: Developing a Health Monitoring System, In: *Ec.* 2004

WILKINS, M. R.; SEDDON, N., & SAFRAN, R. J. Evolutionary divergence in acoustic signals: Causes and consequences. **Trends Ecol. Evol.** 28, 156–166, 2013.

WILLIAMS, B. K. Some observations of the use of discriminant analysis in ecology. **Ecology** 64, 1283-1291, 1983.

WILLIAMS, R.; LUSSEAU, D. & HAMMOND, P. S. Estimating relative energetic costs of human disturbance to killer whales (*Orcinus orca*). **Biol. Cons.** 133, 301–311, 2006.

XIMÉNEZ, A. & PRADERI, R. Nuevos aportes sobre el conocimiento de delfines del género *Stenella* para el Atlántico sudoccidental. In: Oporto, J.A., Brieva, L.M., Praderi, R. (Eds.), Anales 3ra Reunión de Trabajo de Especialistas en Mamíferos Acuáticos de América del Sur CIMMA, Montevideo, p. 72-7, 1992.

ZERBINI, A. N. & KOTAS, J. E. A note on cetacea bycatch in pelagic drifnets of southern Brazil. **Rep. Int. Whaling Comm.** 48, 519–524, 1998.